



# CONTART 2018

## LA CONVENCION DE LA EDIFICACION

Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Zaragoza  
Escuela Universitaria Politécnica de La Almunia (eds.)



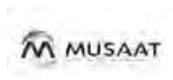
CONTART 2018.

LA CONVENCIÓN DE LA EDIFICACIÓN

ZARAGOZA 2018

La coordinación quiere dar las gracias a todos aquellos que han contribuido con su trabajo en este Congreso Nacional y han dado su autorización para su publicación. Los organizadores y coordinadores no son responsables de los contenidos, redacción y formato no establecidos ni tampoco de las opiniones expresadas en los trabajos. Además, los autores han declarado que los contenidos de sus publicaciones son originales y cuando ha correspondido, que han contado con la debida autorización para incluir, adaptar o usar los textos, las tablas o las imágenes que se incluyen en sus trabajos.

Todos los trabajos han sido revisados y aceptados por el sistema de “pares”. El comité de revisión fue seleccionado por el comité científico del Congreso entre los expertos en esta materia.



ISBN: 978-84-09-02362-2.

Depósito legal: Z 896-2018.

Edita: Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Zaragoza.

Escuela Universitaria Politécnica de La Almunia.

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra sólo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley.

Los editores no se hacen responsables del material aportado por los distintos autores.

SE RECOGEN EN ESTE LIBRO las comunicaciones aceptadas y expuestas en la Convención CONTART 2018 celebrada en Zaragoza entre los días 30 de mayo y 1 de junio. Celebramos en esta ocasión la séptima edición de la Convención de la Arquitectura Técnica, en la que una vez más se pone de manifiesto nuestro peso en la sociedad y las capacidades y logros de nuestra profesión.

Uno de esos logros es la proyección cada vez mayor en los ámbitos de investigación, y prueba de ello son el gran número de comunicaciones presentadas a la Convención y su gran calidad técnica, lo que evidencia un interés creciente por la labor investigadora e innovadora por parte de los profesionales de la arquitectura técnica.

Se presentan en esta edición unas áreas temáticas novedosas, que pretenden recoger futuras tendencias que seguro estarán presentes en la evolución del sector de la edificación y que estarán recogidas en el trabajo docente e investigador que realizan un gran número de nuestros compañeros.

De cara a futuro, nuestra profesión debe avanzar y seguir profundizando en todos los campos de conocimiento para los que estamos formados y en las nuevas áreas de conocimiento que se van a desarrollar. Desde la revisión de los antiguos usos tradicionales en la edificación a las nuevas tecnologías que se incorporan a nuestros sistemas de trabajo, la diversidad de aspectos y nichos de investigación es enorme, y es nuestro deber estar en todas ellas. Espero sinceramente que esta edición sirva de impulso a muchos que están interesados por la investigación y que se sigan recogiendo frutos de esta labor en las próximas ediciones de CONTART.



*Víctor Martos Pérez.  
Presidente de CONTART 2018 Zaragoza.  
La Convención de la Edificación.*



## ÁREA I.

# EDIFICACIÓN 4.0, DIGITALIZACIÓN E INNOVACIÓN EN CONSTRUCCIÓN



## INTERNET OF THINGS Y OPEN SOURCE PLATFORMS COMO HERRAMIENTAS DE APOYO PARA LA CONSTRUCCIÓN 4.0

MARTÍN-GARÍN, ALEXANDER<sup>1</sup>; MILLÁN-GARCÍA, JOSÉ ANTONIO<sup>2</sup>; SALA-LIZARRAGA, JOSÉ MARÍA<sup>3</sup>; HIDALGO-BETANZOS, JUAN MARÍA<sup>4</sup>; BAÏRI, ABDHERRAMAN<sup>5</sup>

<sup>1</sup> *ENEDI Research Group, Department of Thermal Engineering, Faculty of Engineering of Gipuzkoa, University of the Basque Country UPV/EHU, Plaza Europa 1, 20018 Donostia-San Sebastián, Spain., Donostia-San Sebastián, España*

*E-mail: alexander.martin@ehu.eus, Web: <http://www.ehu.eus/enedi/>*

<sup>2</sup> *ENEDI Research Group, Department of Thermal Engineering, Faculty of Engineering of Gipuzkoa, University of the Basque Country UPV/EHU, Plaza Europa 1, 20018 Donostia-San Sebastián, Spain., Donostia-San Sebastián, España*

*E-mail: j.millan@ehu.eus, Web: <http://www.ehu.eus/enedi/>*

<sup>3</sup> *ENEDI Research Group, Department of Thermal Engineering, Faculty of Engineering of Bilbao, University of the Basque Country UPV/EHU, Alda Urquijo S/N, Bilbao, Spain., Bilbao, España*

*E-mail: josemariapedro.sala@ehu.eus, Web: <http://www.ehu.eus/enedi/>*

<sup>4</sup> *ENEDI Research Group, Department of Thermal Engineering, Faculty of Engineering of Gipuzkoa, University of the Basque Country UPV/EHU, Plaza Europa 1, 20018 Donostia-San Sebastián, Spain., Donostia-San Sebastián, España*

*E-mail: juanmaria.hidalgo@ehu.eus, Web: <http://www.ehu.eus/enedi/>*

<sup>5</sup> *University of Paris, Laboratoire Thermique Interfaces Environnement, LTIE-GTE EA 4415, 50, rue de Sèvres, F-92410 Ville d'Avray, France., Ville d'Avray, Francia*

*E-mail: bairi.a@gmail.com, Web: <http://ltie.u-paris10.fr/>*

**PALABRAS CLAVE:** Open Source Platforms; Internet of Things; Monitorización de edificios.

## RESUMEN

Hoy en día, las ciudades están experimentando radicales cambios operacionales. Estos nuevos modelos conocidos como Smart Cities tienen como objetivo mejorar la calidad de vida de los ciudadanos mediante el uso de datos recopilados sobre el entorno a través del uso de Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC). Esta nueva situación permite a los ciudadanos interactuar más eficientemente con los nuevos elementos inteligentes que componen las ciudades, como las infraestructuras, las construcciones y los edificios.

Además, el Internet of Things (IoT) es una de las grandes tecnologías que respalda a las Smart Cities para lograr estos objetivos. El IoT ha sido llamado como la próxima Revolución Industrial o la próxima evolución de Internet. Impactará la forma en que las empresas, los gobiernos y los consumidores interactúan con el mundo físico a través de sensores, cámaras, dispositivos de mano, teléfonos inteligentes y otros dispositivos inteligentes.

A su vez, una de las líneas de investigación que está adquiriendo gran relevancia está relacionada con las tendencias de aplicación de software y hardware abiertos. Una de estas ramas son las bien conocidas Open Source Platforms (OSP), Plataformas de Código Abierto, que permite el desarrollo de proyectos de desarrollo propio (DIY). Gracias a ello, actualmente es posible llevar a cabo proyectos y soluciones que hasta ahora difícilmente eran posibles hacer realidad.

El presente trabajo muestra una de las líneas de investigación que se está llevando a cabo desde el grupo en el ámbito de la monitorización y automatización de los edificios a través de la combinación de las OSP y el IoT. Además de mostrar las posibilidades de desarrollo existentes se presentará un caso práctico de esta tecnología que se llevó a cabo durante el proceso de monitorización energética en el edificio San Roke 32 de Donostia-San Sebastián rehabilitado bajo los criterios Passivhaus.

## 1. INTRODUCCIÓN

Tal y como indica Cisco [1], el IoT es el punto en el que hay más “objetos o cosas” conectadas a Internet que personas. La compañía indica que este punto ocurrió entre el año 2008 y el 2009 con el crecimiento exponencial del uso de smartphones y tablets. El IoT es el paradigma tecnológico destinado a aumentar la conectividad de los dispositivos cotidianos. Es por eso que en los próximos años el crecimiento y uso de este tipo de tecnología aumentará exponencialmente debido a su aplicación en múltiples campos. Tal es el crecimiento previsto que los actualmente estimados 6,4 mil millones de dispositivos de IoT en uso aumentarán a un total de entre 20,8 [2] y 50 [1] billones para 2020. El IoT gira en torno a un aumento de la comunicación máquina a máquina (M2M) y abarca dispositivos inalámbricos, sensores integrados y actuadores que ayudan a los usuarios a monitorear y controlar dispositivos de forma remota y eficiente [3]. En este nuevo paradigma, los dispositivos inteligentes recopilarán datos, transmitirán información entre sí, y procesarán información de manera colaborativa utilizando la computación en la nube y tecnologías similares. Finalmente, los usuarios, o las propias máquinas automáticamente, tomarán una decisión para actuar en función de dicha información. Este cambio de paradigma crea numerosos desafíos y oportunidades para la ingeniería [4].

Por otro lado, la filosofía o metodologías de trabajo basadas en las Open-Source tienen como objetivo común la libre distribución de conocimiento. Esto permite que dicho

conocimiento mejore al poder ser consultado por toda la comunidad y realizar aportes que aumenten su calidad. En el ámbito en el que nos ocupa, las OSP permiten el desarrollo y el hacer uso de múltiples herramientas para su aplicación en diversas líneas de investigación. Todo esto es posible gracias al soporte existente en la comunidad a través de distintos foros en los que se sigue la filosofía de distribución libre del conocimiento [5]. De esta manera, la curva de aprendizaje de herramientas Open-Source, respecto a sistemas comerciales, es mucho más rápida debido a la transparencia, accesibilidad al código e implicación de la comunidad en la mejora del mismo.

Tal como demuestra Pearce [6] las OSP son una herramienta ideal para el desarrollo de equipamiento científico de investigación, transformándose así en una herramienta claramente transdisciplinar. Otro de los aspectos a destacar es que a medida que aumenta la complejidad de los equipamientos Open-Source desarrollados, la diferencia de coste frente a un equipo comercial aumenta sustancialmente. A su vez se debe tener en consideración que en ocasiones se desean realizar equipamientos tan específicos que únicamente se pueden desarrollar con plataformas abiertas gracias a su libertad de desarrollo, aspecto que sería inviable mediante sistemas comerciales.

Existen gran cantidad de disciplinas donde se están aplicando estas herramientas y a su vez obteniendo extraordinarios resultados. Barroca et al.[7] desarrollaron un equipo para el seguimiento de la evolución de los perfiles de temperatura y humedad en el proceso de curado y endurecimiento del hormigón debido a su importancia para la calidad en la fabricación de estructuras. Claros-Marfil et al. [8] llevaron a cabo un sistema de control y adquisición de datos para mejorar el funcionamiento de una ventana activa con cámara de agua circulante. Para ello hicieron uso de una serie de sensores y actuadores implementados en un prototipo y que a través de un algoritmo de programación se conseguía mejorar la eficiencia del sistema. Todo ello con el objetivo de su aplicación como fuente de energía renovable para la edificación. Mesas-Carrascosa et al. [9] también hizo uso de la plataforma Arduino y sensores DHT22 para el seguimiento de las condiciones ambientales de la Mezquita-Catedral de Córdoba. Gracias a ello detectó claramente como las condiciones climáticas exteriores estaban afectando a las condiciones interiores. A su vez descubrió que la razón de las diferencias de comportamiento higrotérmico que se producían dentro del recinto se generaban por las mayor o menor protección en las puertas de entrada y salida al recinto y las corrientes de aire que se generaban en las mismas.

Como se puede observar, las OSP son una tecnología presente en diversas disciplinas. No cabe duda de que este tipo de plataformas se van a convertir en una herramienta indispensable para el desarrollo de todo tipo de proyectos y que por lo tanto la investigación en este ámbito resulta de gran interés para la comunidad.

En definitiva, el IoT es una herramienta imprescindible para muchos campos de trabajo e investigación. A su vez, el IoT combinado con las OSP se transforma en una poderosa tecnología que permite al usuario tanto el desarrollo propio de sistemas como la comprensión y la toma de decisiones a tiempo real sobre el entorno que lo rodea. Este aspecto, como se ha visto, se está convirtiendo fundamental en los últimos tiempos.

## 2. ESTUDIO

### 2.1 Objetivo

El objetivo de la presente investigación consiste en mostrar el gran potencial ofrecido por las herramientas IoT y OSP aplicadas al sector de la edificación. Para ello se va a proceder a desarrollar un caso de estudio que se ha llevado a cabo con dichas herramientas [10]. A parte del sistema innovador que va a ser mostrado, la esencia de la presente comunicación estriba en la capacidad que brindan dichas plataformas para el libre desarrollo físico de cualquier idea. Es decir, exponer las virtudes de estas plataformas para solventar los posibles hándicaps en múltiples entornos.

De esta manera, y a modo de ejemplo, algunos los límites detectados en experiencias previas del grupo de investigación permitieron detectar ciertas brechas, problemas y alternativas en el sector de la monitorización de los edificios. Dispositivos de monitorización con un número limitado de variables de medición, altos costes de adquisición de equipamientos, necesidad de utilizar diferentes plataformas o equipamientos para realzar mediciones o no disponer la posibilidad de consultar los datos registrados en tiempo real suelen ser algunos de los inconvenientes más comunes que se presentan en las campañas de monitorización. Estas razones han motivado el desarrollo de la presente investigación con el objetivo de solventar los desafíos existentes en el sector de la monitorización, Figura 1. Para ello y para desarrollar un sistema innovador en el ámbito de las Smart Cities, resulta esencial la combinación de las anteriormente mencionadas herramientas y tecnologías emergentes, las OSP y el IoT.



Figura 1: Necesidades de los nuevos equipos de monitorización.

## 2.2 Metodología



Figura 2: Edificio San Roke 32 de Donostia-San Sebastián, caso de estudio.

Con el objetivo de verificar el correcto funcionamiento del equipo de monitorización, se decidió implementar el sistema en una vivienda. Dicho caso de estudio se ubica en un edificio en la ciudad de Donostia-San Sebastián, Figura 2, que ha sido rehabilitado energéticamente bajo los principios del estándar Passivhaus y que pertenece a uno de los casos de estudio del Programa Europeo EuroPHit del Passivhaus Institute.

## 2.3 Desarrollo del equipo

En la actualidad existe una gran diversidad de sistemas de medición y sensores con diferentes grados de sofisticación y funcionalidad. La elección de la mejor solución dependerá de múltiples factores y de las necesidades específicas del proyecto. En este caso el proyecto debe de cumplir con los siguientes requisitos:

- Consistir en un sistema no invasivo.
- Ser un sistema de bajo coste de desarrollo.
- Que el sistema otorgue libertad de desarrollo para diseñar un equipo a medida.
- Sistema de transmisión inalámbrico.
- Seguridad mediante almacenamiento físico de los datos en caso de pérdida de conexión inalámbrica o de alimentación.
- Alta capacidad de almacenamiento de información.
- Disponer la posibilidad de poder consultar a tiempo real la información tanto in situ como online.

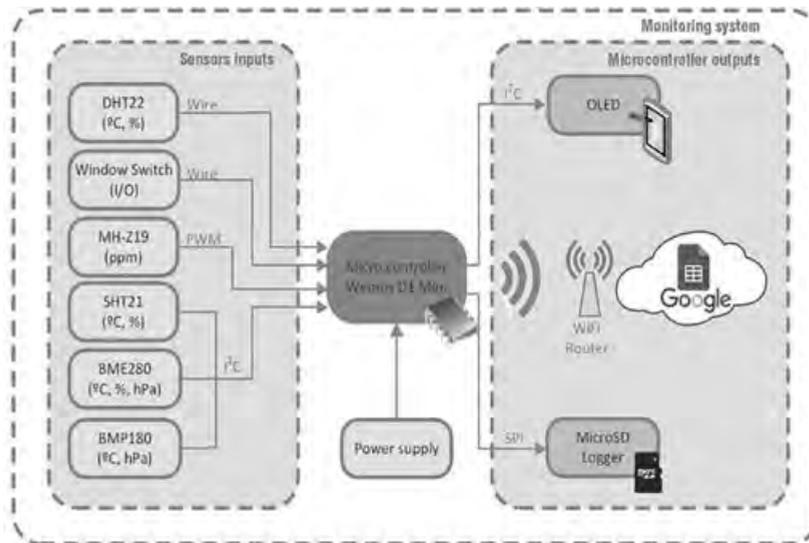


Figura 3: Arquitectura y protocolos de comunicación del equipo de monitorización

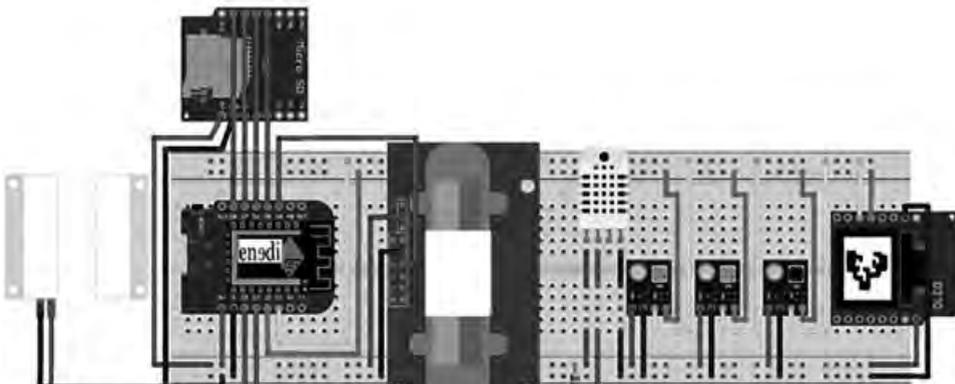


Figura 4: Diagrama de cableado del prototipo desarrollado.

El sistema queda definido mediante la Figura 3 y Figura 4 así como el equipo completamente desarrollado Figura 5. Principalmente el sistema consiste en un microcontrolador que tiene dos funciones. Por un lado se encontrarían las entradas de información realizadas mediante una serie de sensores. En este caso se decidió emplear varios modelos de sensores de temperatura y humedad (DHT22, SHT21), a la vez que de presión atmosférica (BMP180, BME280) y un sensor de CO<sub>2</sub> (MH-Z19), todo ello con objeto de medir las condiciones ambientales del interior y exterior de la vivienda. Destacar que también se creyó conveniente incluir un sensor de apertura de ventana para detectar su influencia sobre la Calidad del Aire Interior, CAI. Por otro lado con el objeto de poder reflejar la información recopilada se han dispuesto tres tipos de salidas: una pantalla OLED para poder consultar in situ la información, un lector microSD como método de almacenamiento de alta capacidad de 8Gb (ampliable hasta 32 Gb) y un envío de la información a la nube a una plataforma

desarrollada específicamente para la consulta y almacenamiento de los datos registrados. Cabe informar que tanto las entradas y salidas de información disponen de distintos protocolos de comunicación con el microcontrolador para poder transmitir los datos registrados (Wire, PWM, I<sup>2</sup>C, SPI). Otro de los aspectos primordiales es la alimentación del equipo. Para ello se conecta directamente a la corriente de la vivienda mediante un transformador de 5V y con el objeto de garantizar el registro continuo de los datos en caso de caída de red se procedió a implementar un sistema de seguridad de 2200 mAh que ofrecía una autonomía de 141 horas según el consumo energético medio de 15.54 mAh que fue cuantificado y optimizado, Figura 6.



Figura 5: Equipo de monitorización desarrollado.

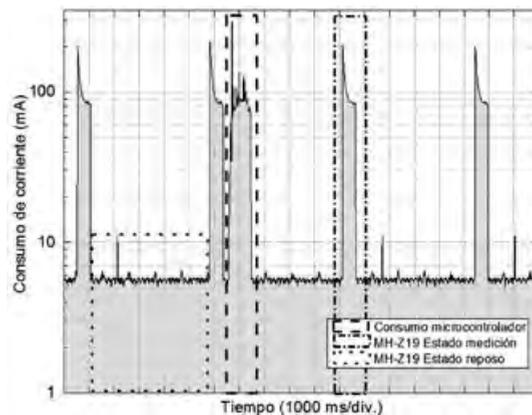


Figura 6: Patrón de consumo energético detectado en el análisis realizado en el equipo de monitorización.

### 3. RESULTADOS

Entre los valores monitorizados, se muestran algunos de ellos mediante la Figura 7, que refleja tanto los registros de temperatura interior/exterior y como la concentración de CO<sub>2</sub> reflejando así la CAI. Las gráficas combinan a su vez el estado de apertura de ventana mediante el Switch sensor que se había instalado, ofreciendo un valor de 1 cuando estaba abierta y siendo su valor nulo en caso de estar cerrada. Destacar inmediato descenso de concentración de CO<sub>2</sub> que se produce en tres ocasiones y que se produce como consecuen-

cia de la apertura de la ventana, dando como resultado un valor de concentración interior cercano a los 400 ppm. Efecto similar ocurre con la temperatura interior cuyo valor desciende de manera evidente como consecuencia de producirse la entrada de aire exterior que se encuentra a temperatura más baja.

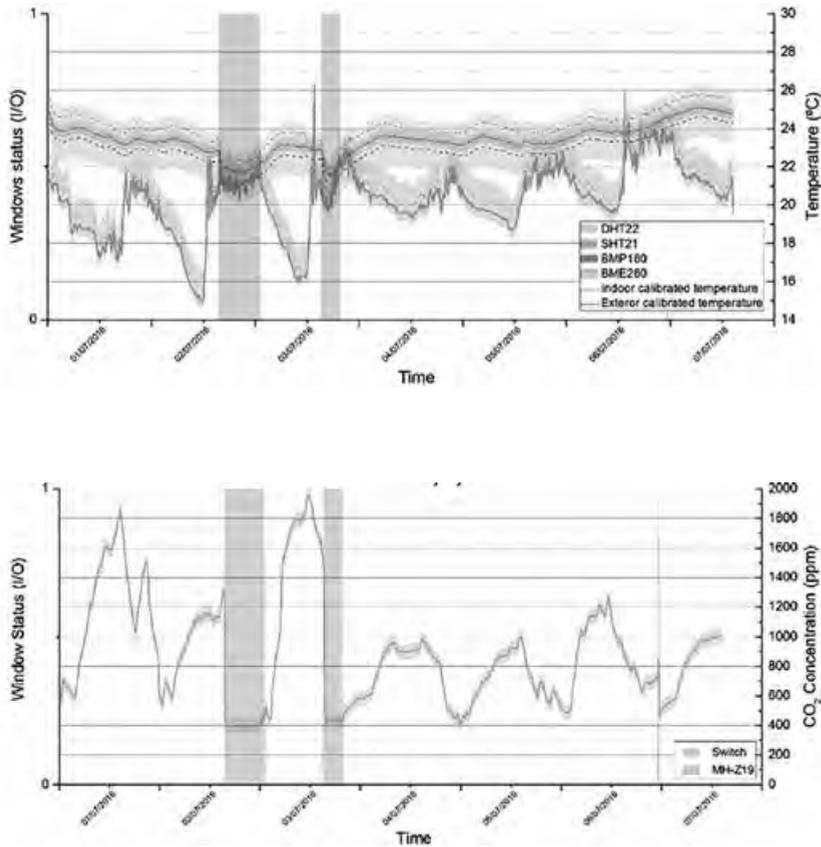


Figura 7: Valores registrados en la vivienda mediante el equipo de monitorización desarrollado: A) Temperatura B) Concentración de  $\text{CO}_2$ .

Por otro lado, la Figura 8 muestra la apariencia de la plataforma web de monitorización desarrollada para la visualización de los datos registrados. Resulta interesante mencionar la gran libertad existente para el diseño de la misma siendo muy amplia la variedad de gráficas a poder usar para la representación de los datos registrados. Es reseñable a su vez la posibilidad tanto poder otorgar acceso restringido a dicha información y ofrecer a su vez la descarga directa de los datos almacenados en formato .csv.

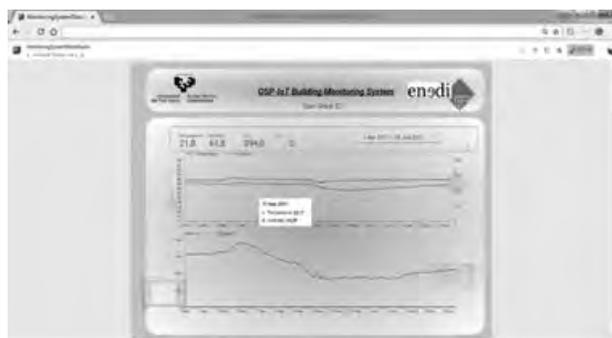


Figura 8: Panel de monitorización a tiempo real desarrollado.

#### 4. CONCLUSIONES Y FUTUROS DESARROLLOS

La presente investigación tenía como objetivo mostrar el potencial existente mediante la aplicación en combinación de las tecnologías OSP y el IoT en el sector de la edificación. Se ha mostrado a través del caso de estudio de monitorización que dichas herramientas han permitido el desarrollo de un equipo que no había sido posible disponer mediante equipos comerciales de una manera técnica y económicamente viable. El equipo desarrollado ha sabido ofrecer una excelente respuesta y reflejar las posibilidades que ofrece tanto el ámbito específico de la monitorización como de muchos otros.

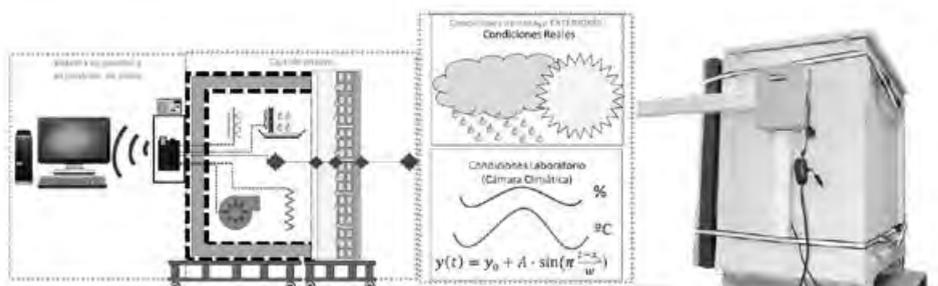


Figura 9: Equipo para la evaluación higrotérmica de envolventes basado en OSP y en el IoT.

Por otro lado el estudio se ha centrado en el empleo de un cierto tipo de sensores, pero también se ha comprobado que es factible el uso de sensores de iluminación, presencia, flujo de corriente eléctrica, flujo de agua, termistores, termopares... todos ellos muy útiles en el ámbito de las Smart Cities. También es posible la implantación de actuadores (relés, calefactores, válvulas solenoides, motores) que permitan dar respuesta en función de otra variable como puede ser un sensor y así desarrollar sistemas inteligentes basados en el concepto M2M permitiendo así la automatización de procesos. A modo de ejemplo, en investigaciones paralelas se ha desarrollado un equipo para la evaluación del comportamiento higrotérmico de cerramientos de construcción mediante la construcción de un recinto de condiciones de temperatura y humedad controladas, Figura 9. El equipo está compuesto por relés que actúan sobre sistemas de control de temperatura y humedad (resistencia eléctrica,

humidificador, deshumidificador) regulados mediante PID en función de los valores ofrecidos por los sensores de temperatura y humedad y la consigna indicada.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la disponibilidad ofrecida por los propietarios del apartamento evaluado. Agradecen también a Rehabilitaciones y Contratas IGARAN S.L y A + O Arquitectos por su participación e interés mostrado durante el presente estudio.

Además, queremos reconocer al Laboratorio de Control de Calidad de Edificios del Gobierno Vasco y a los colegas del Grupo de Investigación ENEDI de la Universidad del País Vasco UPV / EHU por su valioso apoyo técnico.

Este trabajo ha sido financiado por el Programa de Formación de Investigadores del Departamento de Educación, Política Lingüística y Cultura del Gobierno Vasco (España), con la beca de doctorado PRE\_2016\_2\_0178.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS (Y CITAS EN EL TEXTO)

- [1] E. Dave, The Internet of Things. *How the Next Evolution of the Internet Is Changing Everything*. Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG), How the Next Evolution of the Internet Is Changing Everything, Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG). (2011) [https://www.cisco.com/c/dam/en\\_us/about/ac79/docs/innov/IoT\\_IBSG\\_0411FINAL.pdf](https://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/ac79/docs/innov/IoT_IBSG_0411FINAL.pdf) (acceso 14 de noviembre de 2017).
- [2] G. Says, 6.4 Billion Connected “Things” Will Be in Use in 2016, Up 30 Percent From 2015. Gartner, Inc. (2015) <http://www.gartner.com/newsroom/id/3165317> (acceso 14 de noviembre de 2017).
- [3] Q.M. Ashraf, M.I.M. Yusoff, A.A. Azman, N.M. Nor, N.A.A. Fuzi, M.S. Saharedan, et al., Energy monitoring prototype for Internet of Things: Preliminary results, IEEE World Forum on Internet of Things, WF-IoT 2015 - Proceedings, (2015), pp. 1-5, ISBN: 978-1-5090-0366-2.
- [4] Y. Chen, Challenges and opportunities of internet of things, 17th Asia and South Pacific Design Automation Conference, IEEE, (2012), pp. 383-388, ISBN: 978-1-4673-0772-7.
- [5] A. D’Ausilio, Arduino: A low-cost multipurpose lab equipment, Behavior Research Methods. 44 (2012) 305-313. <http://dx.doi.org/10.3758/s13428-011-0163-z>.
- [6] J.M. Pearce, Building research equipment with free, open-source hardware, Science. 337 (2012) 1303-1304. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1228183>.
- [7] N. Barroca, L.M. Borges, F.J. Velez, F. Monteiro, M. Górski, J. Castro-Gomes, Wireless sensor networks for temperature and humidity monitoring within concrete structures, Construction and Building Materials. 40 (2013) 1156-1166. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.11.087>.
- [8] L.J. Claros-Marfil, J.F. Padial, B. Lauret, A new and inexpensive open source data acquisition and controller for solar research: Application to a water-flow glazing, Renewable Energy. 92 (2016) 450-461. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2016.02.037>.
- [9] F.J. Mesas-Carrascosa, D. Verdú Santano, J.E.M. de Larriva, R. Ortiz Cordero, R.E. Hidalgo Fernández, A. García-Ferrer, Monitoring heritage buildings with open source hardware sensors: A case study of the mosque-cathedral of Córdoba, Sensors. 16 (2016) <http://dx.doi.org/10.3390/s16101620>.
- [10] A. Martín-Garín, J.A. Millán-García, A. Baïri, J. Millán-Medel, J.M. Sala-Lizarraga, Environmental monitoring system based on an Open Source Platform and the Internet of Things for a building energy retrofit, Automation in Construction. 87 (2018) 201-214. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2017.12.017>.

## **GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADA EN EL FLUJO DE RECURSOS PARA MEJORA DE LA PRODUCTIVIDAD**

SANTOS FONSECA, SALAZAR

*Grupo Lobe, Zaragoza, España*

*E-mail: salazarsantosfonseca@gmail.com*

*Web: <https://sites.google.com/site/encauzandoelaprendizaje/>*

**PALABRAS CLAVE:** BIM; Lean; Productividad; Sistema Pull; Gestión de proyectos.

### **RESUMEN**

Los proyectos de construcción constituyen un universo de gran interés para la investigación de sistemas de gestión que incrementen la productividad del trabajo, que es muy baja en el sector de la construcción, para que deje de ser un lastre y pueda aportar soluciones que optimicen del uso de los recursos materiales y humanos aplicados a los procesos de construcción.

En los proyectos constructivos se suelen desarrollar una gran cantidad de actividades de forma simultánea en un entorno cambiante en forma y estado. La transformación del ambiente de trabajo, que es el desarrollo del producto en sí mismo, se suele realizarse a base de improvisaciones. Estas características de los proyectos constructivos dificultan la obtención de información de calidad y fiable por la dificultad de reflejar el estado de las actividades. Eso es uno de los motivos por lo que el sector de la construcción es considerado, en comparación a otros, como siendo de un nivel de riesgo e incertidumbre muy altos [1].

El proceso decisorio requiere información completa, exacta y actualizada sobre el estado de ejecución de un proyecto. La toma de decisiones sin basarse en la información adecuada incrementa el riesgo de distanciamiento entre el resultado obtenido de los objetivos iniciales [2]. Así que es fundamental establecer procedimientos de gestión para recoger los datos

operativos y transformarlos en información de calidad como soporte a la toma de decisión.

El objetivo de esta comunicación es presentar una herramienta basada en la metodología BIM y la filosofía “*Lean*”, que proporciona un mejor control de la producción. Sobre un modelo BIM se reflejan tres estados de las actividades: planificada, programada y ejecutada. La herramienta está implantada en el seguimiento de las obras de Grupo LOBE y se puede comprobar un nuevo enfoque a la gestión que prioriza el flujo de recursos e incrementa la productividad.

## 1. INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente, en España, el principal instrumento para el seguimiento y control de obras suele ser el presupuesto del proyecto, documento necesario en el Proyecto de Ejecución para que el mismo sea visado. Sin embargo, se carece de una definición concreta de cuál es la estructura del presupuesto, o mismo cuales son las tablas que lo conforman, pero se podría definir que el presupuesto posee, como mínimo, una estructura de recursos y estado de mediciones asociadas a las unidades de obra que se presentan agrupadas en capítulos. Los recursos y el estado de mediciones representan para la unidad de obra, el precio unitario y la cantidad, respectivamente.

La responsabilidad de gestión de los procesos de construcción suele recaer en la figura del Jefe de Obra, figura que representa legalmente, el constructor, según lo previsto en la Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación [3]. Culturalmente, en el sector de la construcción, el Jefe de Obra es el responsable por contratar los recursos, o unidades de obra completas, programar los trabajos a ejecutar en la obra, y reflejar el seguimiento de la obra ejecutada sobre el estado de mediciones. Todas estas labores se realizan a partir del presupuesto del proyecto, que ha sido definido a partir de los planos del proyecto que, en general, no acaban de definir por completo todo el proceso constructivo. Eso significa que en el documento de referencia para el control de la ejecución se presentan lagunas que luego se traducen en indefiniciones e improvisaciones en la ejecución material del proyecto.

La redacción de una planificación inicial, previo al comienzo de los trabajos para materializar el proyecto, no está formalizada como una necesidad fundamental, habiendo muchos proyectos que se ejecutan sin la existencia de una. No obstante, suele ser un requisito para la contratación de obra pública y un procedimiento presente en la gran mayoría de los proyectos en el sector de la construcción. Pero la planificación suele ser muy escueta, definiéndose el plazo total previsto para la ejecución de la obra a través de un diagrama de barras Gantt que, o representa un desglose de las unidades de obra con mayor peso presupuestario, agrupadas por capítulos, o en muchos casos, tan apenas una aproximación por capítulos. Los plazos definidos se obtienen por la experiencia e intuición del planificador, careciendo, casi siempre, de una memoria de cálculo analítico basada en la aplicación de rendimientos a los equipos predefinidos. La escasa información previa sobre la secuencia del proceso de construcción y el desconocimiento del flujo de entrada y uso recursos humanos y materiales dificulta un correcto seguimiento del estado de obra ejecutado en relación a lo planificado para conocer, en cada momento, si el proyecto se ejecuta con retraso o adelanto comprometiendo de forma significativa la toma de decisiones.

La crisis vivida por el sector de la construcción en los últimos 10 años ha apremiado la necesidad de incrementar la productividad en el sector. En paralelo, y como fruto de inves-

tigación y desarrollo, nuevos conceptos de gestión de la información como la metodología “*Buiding Information Modeling*” (BIM), el Sistema de Gestión Basado en la Localización (“*Location-Based Management System*” - LBMS), y el Sistema del Ultimo Planificador (“*Last Planner System – LPS*”) están introduciendo, aunque de forma muy discreta, un cambio en la cultura del sector de la construcción en España. La interacción de estos sistemas y metodologías vienen siendo objeto de estudio de investigadores que apuntalan la sinergia existente entre todas ellas, que se traduce en una oportunidad de un cambio efectivo en la cultura del sector [4][5].

Algunos programas informáticos ya han incorporado la posibilidad de vincular las mediciones de las unidades de obra del presupuesto a un proyecto desarrollado con la metodología BIM, mejorando de forma significativa el proceso de obtención de las cantidades de las unidades de obra que se representen en el modelo. También se aprecian la utilización del concepto de zonificación de las mediciones en algunas planificaciones como una aproximación a los conceptos de la metodología LBMS, y un incremento de la técnica de desglosar de forma mensual, o semanal, los trabajos que deben ser ejecutados como una ampliación de la información de la planificación global. Todo ello de forma incipiente, pero se comprueba la inquietud y la receptividad que hacen el momento propicio para generar un cambio en el sector.

El objetivo de esta comunicación es presentar una herramienta para el seguimiento de la fabricación de proyectos de productos inmobiliarios desarrollada de forma conjunta entre Grupo LOBE y su socio tecnológico para el proyecto, HIBERUS Tecnología. La herramienta, HUBE, se ha desarrollado en el marco de la metodología GLOBE, una plataforma que tiene reconocida su carácter de investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) por el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI), una Entidad Pública Empresarial, dependiente del Ministerio de Economía, Industria y Competitividad de España. HUBE, a través de sus módulos aplicados a la fase de Fabricación, realiza una gestión, en tiempo real, sobre el estado de las actividades (planificada, programada y ejecutada) en la gestión de los procesos de Fabricación, sobre la utilización de recursos humanos y materiales comparando sus rendimientos teóricos y reales, sobre la logística interna del centro de producción, y sobre la gestión de los contratos con los proveedores. Para que en HUBE se pueda realizar el seguimiento de la Fabricación, se debe contar con proyectos que hayan sido desarrollados con la metodología GLOBE en la fase del Proyecto de Fabricación.

## **2. HUBE Y LA METODOLOGÍA GLOBE**

Se plantea la metodología GLOBE, como un proyecto que apuesta por la innovación como bandera para generar lo que puede considerarse como una revolución en el sector de la construcción, generando el germen del nuevo sector, digitalizado, necesario para desarrollar el trabajo actual y futuro, teniendo claro su importancia en el desarrollo de la sociedad. Un nuevo sector con capacidad de anticipación en vez de reacción, que incorpora tecnología para dar transversalidad a sus proyectos. La implantación de la metodología GLOBE se aplica en las distintas fases de los proyectos de desarrollo del producto inmobiliario, siendo estas fases una adaptación de las que se suelen ejecutar, de forma generalizada, en los proyectos inmobiliarios en España. Las fases de la metodología GLOBE son: Estudio y Análisis, Proyecto de Fabricación y Fabricación. La metodología GLOBE se basa en la integración del BIM, en la organización, a través de procesos diseñados con la filosofía

“Lean”. Las distintas fases de la metodología se concatenan a través de los módulos de HUBE a partir de sus principales objetivos. Desde la fase de Estudio y Análisis se define la viabilidad de una tipología propuesta sobre un determinado terreno que, en caso de viable, facilita parámetros económicos a la fase de Proyecto de Fabricación para que se genere un guion detallado de los pasos que deben ser dados para fabricar el producto al coste previsto para, en la fase de Fabricación, disponer de una gestión industrializada de la producción con acento en la optimización del uso de recursos.

Enmarcado en la metodología GLOBE, la herramienta HUBE facilita el intercambio de datos entre los procesos “Lean” definidos para la gestión de los proyectos de construcción y el modelo BIM. El desarrollo de HUBE se hizo necesario para facilitar la permeabilidad del modelo BIM entre todos los actores, de forma que cada uno pueda asociar a los elementos del modelo BIM una dimensión de la información que aportan, o sea, el modelo BIM es el medio por donde se distribuye la información del proyectos entre las distintas áreas del conocimiento, además de dar una respuesta a la compleja interoperabilidad entre los distintos softwares comerciales que se barajaran, en un principio, como solución de gestión, una vez que ninguno de ellos cubría de forma satisfactoria la gestión global del proyecto. HUBE posibilita la propagación de la información sobre los procesos de construcción, a través del BIM, a los distintos perfiles profesionales para llevar a cabo proyectos inmobiliarios.

Los distintos módulos de HUBE se relacionan en un círculo cerrado en que los datos nacen como teóricos en la base de datos, recorren todo el proyecto y una vez los parámetros reales son recogidos en la producción, retroalimentan la base de datos para que los nuevos proyectos puedan incorporar rendimientos de consumo de recursos cada vez más ajustados a la realidad. La aplicación HUBE está distribuido en distintos soportes, ordenadores de sobremesa, o tablets, para ofrecer movilidad y estar más integrado en los centros de producción para la recogida de datos sobre el terreno en tiempo real.

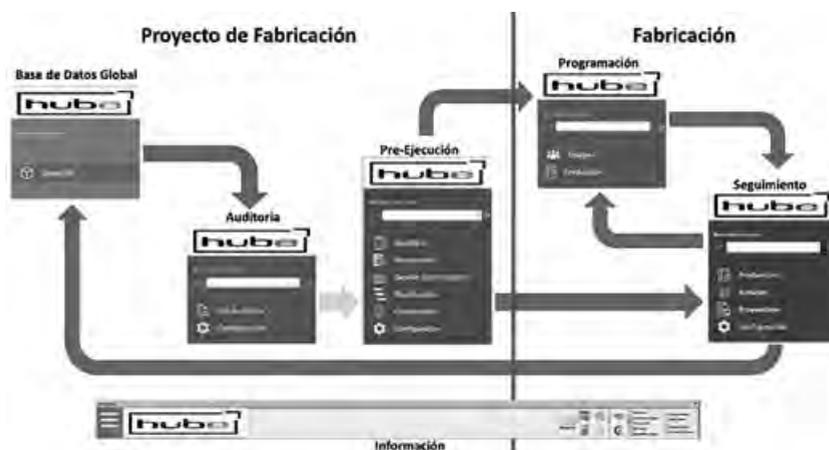


Figura 1: Flujo de los módulos de HUBE

Como se puede ver en la figura 1, HUBE posee módulos exclusivos, tanto para las fases de desarrollo del Proyecto de Fabricación, como para la fase de Fabricación, siendo que el módulo de Información es totalmente transversal a las dos fases. Aún sobre la figura 1 se observa que los módulos de Base de Datos Global, Auditoría, y Pre-Ejecución se utilizan

para el Proyecto de Fabricación y los módulos de Programación y Seguimiento en la Fabricación, siendo el módulo de Información transversal a las dos fases.

Con respecto a la Fabricación se observa también, en la figura 1, que los dos módulos de esta fase, Programación y Seguimiento, están directamente vinculados al de Pre-Ejecución. La base de la gestión de la fase de Fabricación está en la aplicación de procesos con filosofía “*Lean*” y una interpretación del Sistema del Ultimo Planificador del “*Lean Construction*” que aportan capas de información al modelo a través de HUBE, promoviendo distintos usos BIM.

La filosofía “*Lean*” se aplica al diseño de los procesos que determinan el justo momento en que los interesados en el proyecto interactúan unos con los otros a través de los procesos, y que módulos y funcionalidades de HUBE deben ser utilizados en cada fin. El principal objetivo es generar un flujo de trabajo continuo y complementario en que no exista duplicidad de tareas ni de generación de información por diferentes áreas. La utilización de conceptos del Sistema del Ultimo Planificador introduce en HUBE la planificación en cascada, o sea, a partir de una planificación global (todo lo que debe ser hecho), se genera de forma semanal la programación de las actividades liberadas para su ejecución (lo que se hará de lo que puede ser hecho), y sobre las que se realizará el seguimiento de producción. El principal objetivo de la programación semanal es alinear la producción real a la planificación definida en la pre-ejecución.

En el seguimiento de la producción se plantea una quiebra de paradigma importante en relación a las atribuciones del responsable por la gestión de la ejecución. La figura tradicional del Jefe de Obra se ve sustituida por un perfil más orientado a la gestión de un centro de producción, identificado por el puesto de Técnico de Seguimiento. El foco de la gestión deja ser de un control económico directo para primar la optimización del consumo de recursos y actuar de forma indirecta sobre el coste a través del uso más racional del recurso. La gestión del recurso se da desde las perspectivas de logística, consumo y flujo continuo de la mano de obra. En la logística del recurso se gestiona su tiempo de acopio y sus movimientos internos, y el consumo real del recurso está constantemente contrastado con los consumos teóricos previstos de forma global, así como por actividad y zona de aplicación. En la gestión de los recursos humanos se busca reproducir, en la ejecución, el flujo idílico de la planificación considerada, que es, en la práctica, para un determinado perfil profesional, su entrada gradual hasta una estabilización del número de trabajadores, y luego una salida progresiva y controlada. Para lograr un flujo óptimo es fundamental contar con un Proyecto de Fabricación detallado que no genere indefiniciones en la fabricación para inhibir la improvisación y disminuir la variabilidad.

### **3. SEGUIMIENTO DE LA PRODUCCIÓN EN HUBE**

Los módulos de Programación y Seguimiento poseen distintas funcionalidades que permiten un seguimiento exhaustivo de la producción, conociendo en cada semana el porcentaje de las actividades ejecutadas de las programadas, así como comprobar la adherencia de lo ejecutado a lo planificado, y, en su caso, encauzar las posibles desviaciones. El módulo de Programación tiene dos funcionalidades principales para la producción: Estimación y Programación; mientras que en el módulo de Seguimiento las principales funcionalidades son la gestión de: Producción, Almacén y Proveedores.

El flujo de trabajo en HUBE empieza con una primera estimación de las actividades

que deben ser ejecutadas en una vista anticipada de las próximas de cuatro semanas. La estimación se realiza en HUBE, que asocia a los objetos del modelo la información que la actividad está estimada. A partir de la estimación, la herramienta, a través de la base de datos, facilita la cantidad de los recursos necesarios para ejecutar las actividades estimadas en cada semana por zona de consumo y el origen del recurso (proveedor contratado), sobre esta información, se gestiona la logística de los recursos recabando el compromiso de suministro/adscripción por parte de los proveedores, y en base a este compromiso, se programan las actividades de la semana, asociando al modelo la información que estas actividades están programadas.

El seguimiento se realiza de forma diaria sobre la recepción de los recursos, distribución de los recursos, y su uso en la producción. En la aplicación disponible en el Tablet, de forma diaria, se registran todos los recursos que llegan al centro de producción, y se asignan todas las horas trabajadas a las distintas actividades ejecutadas, y de forma semanal se consolidan las existencias de los recursos en obra. En el HUBE del ordenador se refleja sobre el modelo BIM las actividades ejecutadas y se justifican las posibles variaciones existentes en relación a la programación. El modelo ahora posee el estado de estas actividades como ejecutadas en cada una de las zonas indicadas.

Sobre la información recabada, e introducida en el seguimiento de la producción, se gestionan los almacenes de recursos y la ejecución de los contratos con los proveedores. En cuanto a los almacenes se mantiene información actualizada respecto a la rotación del recurso, buscando siempre un menor tiempo de acopio del recurso en la obra y minimizar el máximo los movimientos internos. En la gestión del contrato del proveedor se van generando de forma incremental las facturas proformas en relación al contrato, o bien por la entrada de albaranes, en caso de suministros/alquileres, o por la producción, en el caso de medición de los subcontratistas. El carácter incremental posibilita que se conozca en cada momento como está la evolución de la ejecución de cada contrato, además, se conoce también, en cada semana, hasta el cierre del periodo de facturación, la medición de cada subcontratista y el importe que le debe ser abonado. La transparencia del sistema facilita un proceso de medición automático e indiscutible sobre las cantidades a pagar por cada concepto contratado que, además, se contrastan con las contratadas.

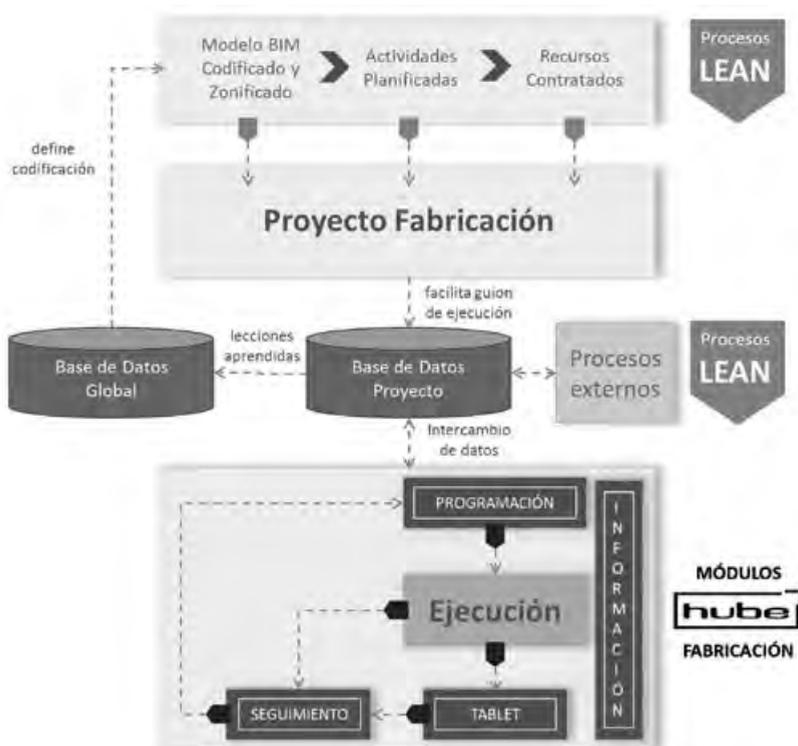


Figura 2: Gestión de la Fabricación a partir del Proyecto de Fabricación.

En la Figura 2, se observa la gestión de la Fabricación a través de los módulos de HUBE, a partir de un Proyecto de Fabricación. Se visualiza como a través de HUBE, la información del seguimiento de la ejecución llega hasta al modelo BIM que ha sido generado en la fase de Proyecto de Fabricación y vice-versa.

#### 4. CONCLUSIONES

La nueva metodología de gestión implantada en Grupo LOBE y la utilización de la herramienta HUBE está posibilitando el acceso a una infinidad de información que no se conocida a través de la simple gestión presupuestaria tradicional. HUBE consolida el uso del BIM + “Lean” como la base de la permeabilidad tecnológica de una empresa digitalizada en que la información fluye hacia los procesos de toma de decisión que hacen la empresa más productiva, rentable, mucho más competitiva. Los usos BIM se incrementan más allá de los usos definidos para los procesos previos a la fabricación.

El desafío de integrar los nuevos procesos de gestión a los profesionales que han vivido el entorno tradicional se minimiza por la facilidad que se vislumbra en la gestión, aunque el proceso todavía no sea lo más amable que se desearía. En cuanto a las nuevas incorporaciones, aunque la formación de los recién egresados de las carreras técnicas no esté totalmente orientada a estos procesos, se pone de manifiesto la mentalidad abierta para aplicar e incorporar más tecnología en el entorno laboral.

Los datos de productividad resultantes del seguimiento de la fabricación están condicionando nuevos planteamientos de diseño, tanto en lo que concierne el ajuste de la dimensión de los paquetes de trabajo, como en la estandarización e industrialización de sistemas constructivos. Se está logrando asociar cada vez más actividades, anteriormente consideradas como costes indirectos, como coste directo del proceso constructivo y así evaluar de forma integrada soluciones artesanales frente la opción de industrialización al disponer de perspectivas de análisis más potentes.

La aplicación de la metodología GLOBE, en la fase de Fabricación, solo se hace posible con la aplicación previa de la metodología en la fase de Proyecto de Fabricación que entrega a la producción información exhaustiva y detallada de los procesos constructivos con los objetivos claros del flujo de consumo de recursos, de la secuencia constructiva y la calidad a ser lograda.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS (Y CITAS EN EL TEXTO)

- [1] Ballard, G. and Howell, G. (1995). "*Toward Construction JIT.*" Proceedings of the 1995 ARCOM Conference, Association of Researchers in Construction Management, Sheffield, England.
- [2] Alarcón, L.F. (2014). "*Using Last Planner Indicators to Identify Early signs of Project Performance.*" Proceedings IGLC-22, Oslo, Norway.
- [3] Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación. (Jefatura del Estado). (BOE-A-1999-21567)
- [4] Sacks, Rafael, Milan Radosavljevic and Ronen Barak (2010). "*Requirements for building information modeling based lean production management systems for construction.*" Automation in Construction 19(5): 641-655.
- [5] Shankar, A., Varghese, K. (2013). "*Evaluation of location based management system in the construction of power transmission and distribution projects.*" Indian Institute of Technology. Madras, Chennai, India.
- [6] Seppänen, O. (2014). "*A Comparison of taky time and LBMS planning methods.*" Proceedings IGLC-22, Oslo, Norway.

## ANÁLISIS COSTE-BENEFICIO DE LAS ESTRUCTURAS INTELIGENTES

RUIZ GORRINDO, FÉLIX<sup>1</sup>; MARTÍ COLOM, PAU<sup>2</sup>; LLORENS GARCIA, ARIADNA<sup>3</sup>.

*<sup>1</sup> Neàpolis - Universitat Politècnica de Catalunya, Vilanova i la Geltrú, España*

*E-mail: felixrg@neapolis.cat, Web: <http://www.neapolis.cat/>;*

*<sup>2</sup> Universitat Politècnica de Catalunya, Vilanova i la Geltrú, España*

*E-mail: pau.marti@upc.edu, Web: <https://www.epsevg.upc.edu/>;*

*<sup>3</sup> Universitat Politècnica de Catalunya, Vilanova i la Geltrú, España*

*E-mail: ariadna.llorens@upc.edu, Web: <https://www.epsevg.upc.edu/>.*

**PALABRAS CLAVE:** Mantenimiento preventivo; inspecciones periódicas; estructura inteligente; smart city; sensorización; análisis coste-beneficio.

### RESUMEN

Definimos estructura inteligente como aquella estructura dotada de unos sensores (en especial continuos y de fibra óptica), de manera que es capaz de transmitir datos de interés sobre su estado de salud (deformaciones, fisuraciones, oxidaciones, etc.). Esta tecnología puede facilitar el mantenimiento preventivo de los edificios y la gestión de su salud estructural. Por ello, un aspecto de interés necesario a analizar para saber si la tecnología es aplicable o no, es evaluar su rentabilidad. Así, el objeto de este artículo es realizar un análisis coste-beneficio de las estructuras inteligentes, estudiando por un lado cuál es el incremento de coste inicial que supone la implementación de la propuesta, y por otro lado evaluar cuál es el ahorro de dinero a lo largo del tiempo que supone la aplicación de la misma, lo que permite establecer el periodo de retorno de la inversión inicial, y a partir de qué momento se pueden esperar beneficios netos.

## 1. INTRODUCCIÓN

Cuando se piensa en un elemento constructivo de hormigón armado, normalmente se asocia a un ser inanimado, de la misma manera que una piedra también se asocia a un ser inanimado. Pero, ¿y si fuera posible dotar a este elemento de hormigón armado, a este ser inanimado, de un sistema nervioso que le permitiera transmitir datos sobre su estado de salud (fisuraciones, deformaciones, humedades, carbonatación, oxidación, etc.)? ¿Y si esto fuera posible realizarlo con toda la estructura de un edificio?

Claramente lo indicado aportaría importantes beneficios, al facilitar significativamente el mantenimiento de los edificios y el detectar precozmente las patologías existentes. Esto que explicado de esta manera suena en cierto modo a ciencia ficción, no lo es en absoluto.

En [1] ya quedó de manifiesto la posibilidad técnica de dotar de un sistema nervioso a las estructuras de los edificios, y lo beneficioso que podía resultar la aplicación de estas tecnologías. El concepto básico explicado es dotar a la estructura de unos sensores (en especial continuos y de fibra óptica), de manera que la estructura quedaba dotada de un “sistema nerviso” y era capaz de transmitir datos de interés sobre su estado de salud (deformaciones, fisuraciones, oxidaciones, etc.). También se explican algunos ejemplos del uso de esta tecnología y de su investigación científica en el Departamento de Ingeniería de la Construcción de la ETS de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona.

Todo lo referido queda claramente enmarcado dentro del concepto global de “Smart city” (ciudad inteligente) y de “Smart materials” (materiales inteligentes). De hecho, este tipo de estructuras referidas se suelen denominar “estructuras inteligentes”.

El segundo paso de la investigación debe pasar por evaluar la viabilidad económica de la propuesta, pues si se diera el caso que la misma tuviera un coste de implantación en los edificios muy elevado, muy superior a cualquier ahorro posterior que pudiera repercutir, quedaría claro que la propuesta no sería viable aplicarla de forma generalizada en los edificios, sino tan sólo en algún caso puntual para su estudio científico.

Por tanto el estudio deber ser del tipo de coste-beneficio, tal y como se denomina en el campo de la Economía Aplicada. En este estudio se debe analizar por un lado cuál es el incremento de coste inicial que supone la implementación de la propuesta. Y por otro lado se debe evaluar cuál es el ahorro de dinero a lo largo del tiempo que supone la aplicación de la propuesta, la cual cosa permite establecer el periodo de retorno de la inversión inicial, y a partir de qué momento se pueden esperar beneficios netos.

El objeto del presente artículo es precisamente realizar el análisis coste-beneficio de las estructuras inteligentes, para evaluar si su uso es factible desde un punto de vista económico. Lo que se expone es un resumen de la línea de investigación realizada el año 2015 entre Neàpolis (centro tecnológico que pertenece al ayuntamiento de Vilanova i la Geltrú y que tiene como algunas de sus prioridades la investigación, la innovación tecnológica, la emprendedoría y la colaboración con la universidad), la EPS de Ingeniería de Vilanova i la Geltrú y la ETS de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona (Departamento de Ingeniería de la Construcción). Esta investigación se realizó en el marco de un proyecto EPS (European Project Semester), desarrollado en idioma inglés, en el que participaron 4 estudiantes extranjeros de ingeniería en fase de proyecto final de carrera, que eran de los siguientes países: Alemania (2), Francia y Holanda.

En el caso que se demuestre de forma consistente que la propuesta es aplicable técnica-

mente (la cual cosa como se ha referido ya se ha demostrado en investigaciones realizadas en Cataluña), y que es interesante económicamente, por ser atractivo el periodo de retorno de la inversión inicial y que el volumen de beneficios netos que se pueden obtener sea significativo, implicaría que sería de interés aplicar estas tecnologías al conjunto de los edificios, tanto a los existentes como a los de nueva construcción. De esta manera se contribuiría a mejorar la calidad y el funcionamiento de los edificios durante su vida útil, ahorrando dinero, y por tanto contribuyendo a mejorar la calidad de vida de la sociedad y crear un entorno más sostenible, eficiente y respetuoso con el medio ambiente.

## 2. METODOLOGÍA

Para realizar este trabajo de investigación, se han seleccionado dos edificios sobre los que hacer propuesta para sensorizar sus estructuras (principalmente mediante el uso de fibra óptica), calcular el coste de implementar y mantener esta tecnología, y estimar el ahorro de dinero que supone la aplicación de esta tecnología a la hora de hacer el mantenimiento preventivo de la estructura. O en otras palabras, estimar el ahorro de dinero que supone el realizar mantenimiento preventivo de la estructura usando sensores, en comparación con hacer mantenimiento preventivo de la estructura sin sensores (es decir, como se realiza actualmente, mediante inspecciones periódicas, etc.).

Para que el enfoque sea lo más amplio posible, los dos edificios elegidos para realizar el estudio son muy diferentes entre sí, tanto en tipología constructiva, tipo de estructura, edad, materiales, etc. Así, uno de los edificios elegidos ha sido el edificio de Neàpolis (ver *Figura 1*), construido en el año 2007 (con estructura de hormigón armado, forjados reticulares, etc.). El otro ha sido la iglesia de Sant Antoni Abat (ver *Figura 2*), construida en el año 1693, (con estructura de paredes de carga de piedra, contrafuertes, arcos y bóvedas, etc.). Ambos edificios se encuentran en Vilanova i la Geltrú (Barcelona).



*Figura 1.- Imagen del edificio Neàpolis.*



*Figura 2.- Imagen de la iglesia Sant Antoni Abat.*

### **Tipos de sensores**

Uno de los primeros pasos de la investigación ha sido estudiar los diferentes tipos de sensores existentes, con objeto de elegir aquellos que sean idóneos para la investigación realizada. Como una primera aproximación general, los sensores los podemos clasificar tal y como se presenta en la *Tabla 1*, donde también se visualizan los datos que mide cada tipo de sensor [2].

Sensor	Qué mide
Fibra óptica	Deformación, grietas, humedad, temperatura, pH, vibraciones, oxígeno, hidrógeno
Piezoeléctrico	Deformación
Emisión acústica	Oxidación, grietas

*Tabla 1.- Diferentes tipos de sensores.*

De acuerdo con la distribución espacial de los valores medidos de los sensores de fibra óptica (FOS), el sensor puede ser clasificado en diferentes tipos.

#### 1. Sensor de punto

La medición con sensores de punto se lleva a cabo sólo en un único punto de la fibra.

#### 2. Sensor integrado

La medición con sensores integrados promedia un parámetro físico a lo largo de una cierta sección de fibra y proporciona un valor único.

### 3. Sensor multiplexado

La medición con sensores multiplexados se define por un cierto número de puntos fijos y discretos a lo largo de un solo cable de fibra óptica. El ejemplo más común son los multiplexados *Fiber Bragg Gratings* (FBG).

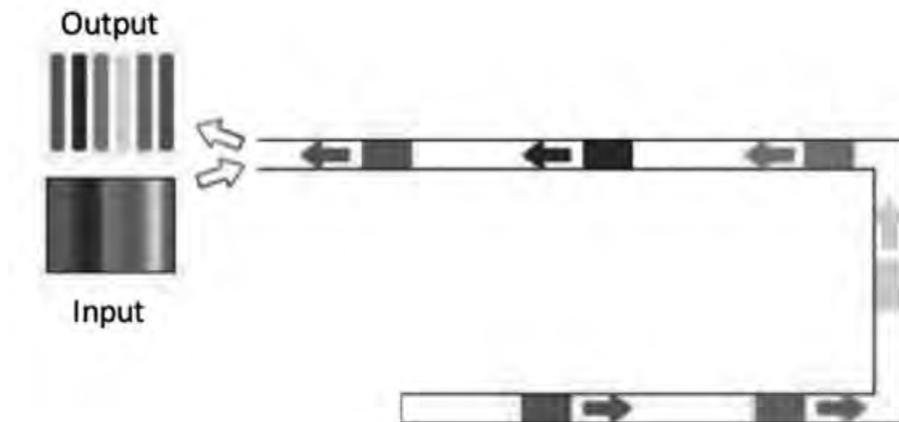
### 4. Sensor distribuido

La medición con sensores distribuidos se puede hacer en cualquier punto a lo largo de una fibra óptica con el sistema de medición basado en la dispersión (de la luz o de cualquier otra radiación electromagnética) de Rayleigh, Raman o Brillouin.

Para esta investigación sólo son útiles el tercer y el cuarto sensor. En comparación con el sensor multiplexado, una ventaja del sensor distribuido es el hecho de que no es necesaria una previa definición de la localización de los sensores. Sin embargo, en el presente estudio hemos determinado las posiciones adecuadas donde se deben situar los sensores en cada uno de los dos edificios, para obtener datos representativos. El mayor coste de los sensores distribuidos motivó que se decidiera en el presente estudio por los sensores multiplexados.

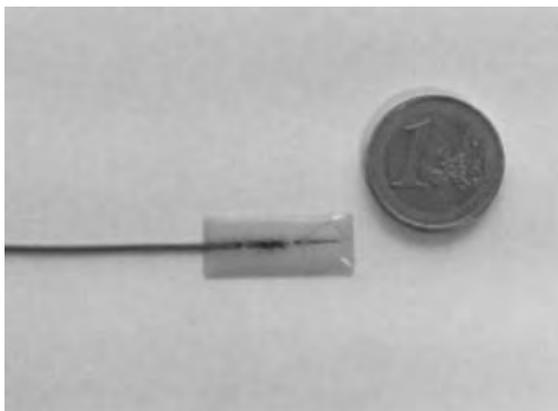
Los denominados *Fiber Bragg Gratings* (FBG) son similares a espejos muy pequeños formando una especie de rejilla, creados en una fibra óptica mediante un láser. Así, pequeñas partes de fibra se transforman en sensores de fibra óptica capaces de detectar datos del entorno local alrededor de esas zonas.

Para la detección se envía luz blanca a través de la fibra y las rejillas están dispuestas para reflejar determinadas longitudes de onda y transmitir las demás a lo largo de la fibra. Un dato de interés como la deformación, se puede determinar a partir de la longitud de onda reflejada desde cada rejilla. Esto significa que cada sensor está relacionado con un determinado color de la luz blanca y lo refleja. Si hay pequeños cambios, el color será diferente y el dispositivo puede convertir esta información en datos analizables. La *Figura 3* muestra este fenómeno.



*Figura 3.- Funcionamiento del Fibre Bragg Gratings (FBG).*

En nuestro trabajo de investigación, seleccionamos como FBG el sensor denominado «fos4strain» (ver *Figura 4*). Este sensor es inmune a las interferencias lumínicas y electromagnéticas.



*Figura 4.- Sensor «fos4strain».*

Además de la fibra óptica, tal y como hemos visto en la *Tabla 1*, está el sensor de emisión acústica, el cual es capaz de detectar cambios en la estructura a través de captar las ondas acústicas de las vibraciones. Las causas de estas vibraciones son transformaciones estructurales en forma de grietas, movimientos y oxidación. Este sensor mide las ondas de alta frecuencia en un intervalo desde 10 kHz hasta varios MHz y los convierte en una señal eléctrica. La señal se digitaliza y se analiza a través de un software especial.

Decidimos por tanto incluir este tipo de sensor, por su capacidad de detectar la oxidación, cosa que no puede hacer, como hemos visto, el sensor de fibra óptica. Y la detección temprana de la oxidación se considera necesaria para realizar un adecuado mantenimiento preventivo de los edificios.

En nuestro trabajo de investigación, seleccionamos como sensor de emisión acústica el sensor denominado «AES150» (ver *Figura 5*).



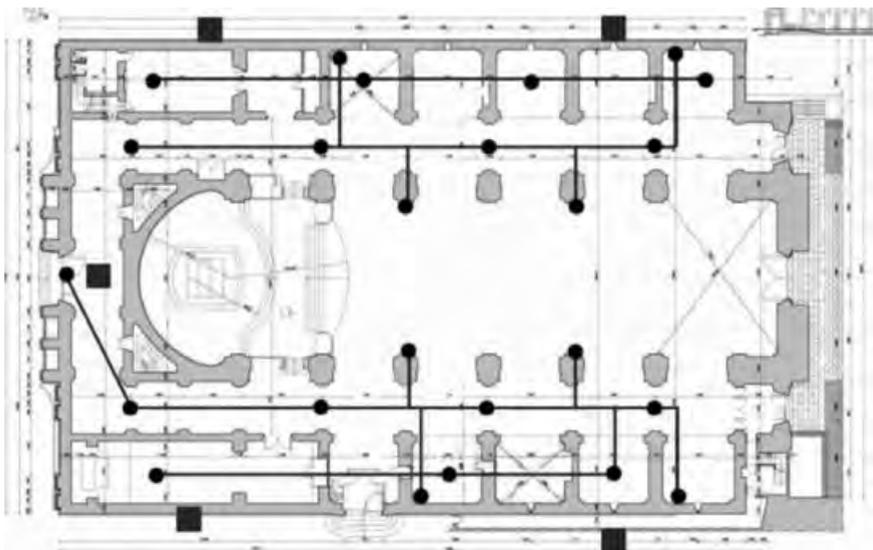
*Figura 5.- Sensor de emisión acústica “AES150”.*

### Propuesta de diferentes niveles de intensidad

Para la implementación de sensores en las estructuras de los edificios, como principio general se propone que pueda haber diferentes niveles de intensidad en dicha sensorización o monitorización. Denominamos nivel de intensidad en la sensorización el colocar mayor o menor cantidad de sensores, y por tanto obtener mayor o menor cantidad de datos sobre la salud de la estructura, y también, gastar una mayor o menor cantidad de dinero en la sensorización (tanto en su implementación como en su posterior mantenimiento).

Se ha considerado oportuno introducir este concepto, ya que dependiendo del tipo de edificio, puede interesar que la sensorización sea más o menos intensa. Así por ejemplo, no es lo mismo plantear la sensorización estructural de una pequeña casa unifamiliar aislada, que de un gran hospital, o de un edificio de alto valor arquitectónico, histórico y artístico, etc. En el primer caso puede ser suficiente con obtener pocos datos, es decir con un nivel de intensidad de sensorización bajo, mientras que en el segundo caso puede interesar tener un mayor control sobre la salud estructural y obtener mayor cantidad de datos, es decir con un nivel de intensidad de sensorización mayor.

En el presente trabajo de investigación hemos propuesto como base de partida tres niveles de intensidad de sensorización: bajo, medio y alto. En las siguientes figuras se muestran las propuestas de sensorización en planta para la iglesia Sant Antoni Abat y para Neàpolis, ambos con nivel de intensidad media, que es la que se ha considerado adecuada para estos dos edificios (*ver Figuras 6, 7 y 8*).



*Figura 6.- Ejemplo de sensorización de intensidad media en la iglesia Sant Antoni Abat.*

Las líneas azules muestran la situación de la fibra óptica (en los arcos, bóvedas y columnas), los puntos negros indican la situación de los sensores en la fibra. Los cuadrados azules indican la situación de los sensores de emisión acústica.



Figura 7.- Ejemplo de sensorización de intensidad media en el edificio Neàpolis.

Las líneas azules muestran la situación de la fibra óptica (en forjados y pilares), los puntos violetas indican la situación de los sensores en la fibra.

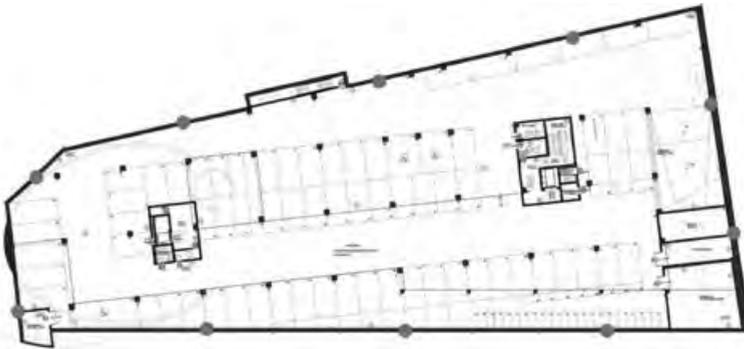


Figura 8.- Propuesta de situación de sensores de emisión acústica en el edificio Neàpolis.

### Evaluación de la viabilidad económica

Para evaluar el grado de viabilidad económica de la aplicación de sensores en las estructuras, se debe comparar el coste de realizar mantenimiento preventivo (sin el uso de sensores), con el coste de realizar mantenimiento preventivo mediante el uso de sensores. En base a este razonamiento, proponemos la siguiente expresión:

$$F = \frac{PMC \cdot T}{IC + (SSC + NPMC) \cdot T} \quad (1)$$

Donde:

F = Viabilidad económica (*Feasibility*)

Indica el grado de viabilidad económica de la inversión.

PMC = Coste de mantenimiento preventivo (*Preventive Maintenance Cost*)

Representa el coste (anual promedio) de hacer mantenimiento preventivo de la estructura sin usar sensores (es decir, como se realiza actualmente, mediante inspecciones periódicas, etc.).

IC = Coste inicial (*Initial Cost*)

Representa el coste de implementar el sistema de sensores de la estructura inteligente. Incluye el coste de los sensores y de fibra óptica que se instala, el coste de su instalación y el coste del software para obtener y gestionar los datos.

SSC = Coste del sistema inteligente (*Smart System Cost*)

Representa el coste (anual promedio) de mantener el sistema de sensores de la estructura inteligente. Incluye la reparación o renovación de cables (de fibra óptica) o sensores que tengan disfunciones; el mantenimiento del software que controla el sistema; el coste de la gestión de datos obtenidos por el sistema.

SPMC = Coste de mantenimiento preventivo inteligente (*Smart Preventive Maintenance Cost*)

Representa el coste (anual promedio) de realizar mantenimiento preventivo de la estructura usando sensores.

T = Tiempo (*Time*)

Es el tiempo (en años) durante el que se realiza el estudio comparativo.

### Grados de viabilidad económica de la inversión

A partir de los resultados que se obtengan de la expresión (1) tenemos que:

- Si  $F < 1$ ; indica que la inversión no es rentable.
- Si  $1,01 < F < 1,25$ ; indica que la inversión es levemente rentable, con un pequeño margen para desviaciones.
- Si  $1,26 < F < 1,50$ ; indica que la inversión es rentable, con apreciable margen para absorber posibles desviaciones.
- Si  $F > 1,51$ ; indica que es una inversión sólidamente rentable, con elevado retorno de la inversión.

### Periodo de recuperación de la inversión (PRI)

En caso de que la inversión sea rentable ( $F > 1$ ), interesa conocer el momento a partir del cuál se empieza a obtener beneficio neto (el beneficio supera a la inversión inicial). Este momento se visualiza en la *Figura 9*, donde se observa el punto de retorno de la inversión (*Break-Even-Point*). Se observan también los siguientes aspectos importantes conceptualmente:

- Las dos curvas son de pendiente constante (son rectas), al considerarse que el coste promedio anual de mantenimiento en ambos casos es constante.
- La recta PMC (color rojo) empieza en el origen de coordenadas, al no haber coste inicial para  $T = 0$ .
- La recta SPMC (color verde) empieza en el eje de abscisas al haber coste inicial para  $T = 0$ .

• La pendiente de la recta SPMC es inferior a la pendiente de la recta PMC (es decir,  $\frac{dSPMC(T)}{dT} < \frac{dPMC(T)}{dT}$ ). Esto es debido a que consideramos que utilizando sensores (estructura inteligente) el coste de mantenimiento preventivo es inferior a realizar mantenimiento preventivo sin sensores.

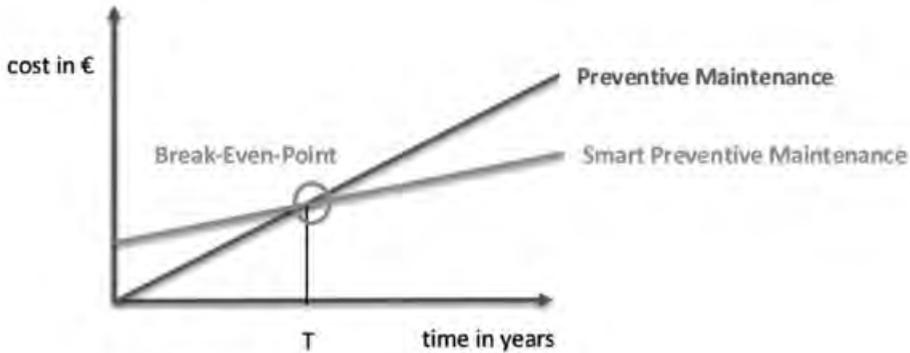


Figura 9.- Punto de retorno de la inversión (Break-Even-Point).

Para determinar analíticamente el valor de T (tiempo, en años, a partir del cual se empiezan a obtener beneficios netos), partimos de la expresión (1) e igualamos a 1 ( $F = 1$ ). Despejando, obtenemos la expresión (2) que nos permite hallar el valor de T.

$$\frac{IC}{PMC - (SSC + SPMC)} = T \quad (2)$$

### Metodología para la determinación de los parámetros

Una vez explicado el planteamiento general y expresiones matemáticas propuestas para determinar el grado de viabilidad económica de las estructuras inteligentes, vamos a explicar a continuación la metodología para determinar el valor de los diferentes parámetros que inciden en las expresiones matemáticas antes explicadas.

#### **PMC = Coste de mantenimiento preventivo (Preventive Maintenance Cost)**

Representa el coste (anual promedio) de hacer mantenimiento preventivo de la estructura sin usar sensores (es decir, como se realiza actualmente, mediante inspecciones periódicas, etc.).

Para determinar este valor se ha realizado lo siguiente:

- Preguntar si en los dos edificios objeto del estudio (Neàpolis e iglesia Sant Antoni Abat) existen datos del coste anual que representa hacer mantenimiento preventivo. En ninguno de estos dos edificios existen estos datos.
- Obtener datos de gastos varios en los últimos años realizados en estos dos edificios en materia de reparación y mantenimiento.
- Estudiar bibliografía sobre costes de mantenimiento preventivo en edificios antiguos y en edificios de reciente construcción.

#### **IC = Coste inicial (Initial Cost)**

Representa el coste de implementar el sistema de sensores de la estructura inteligente. Incluye el coste de los sensores y de fibra óptica que se instala, el coste de su instalación y el coste del software para obtener y gestionar los datos.

Para determinar este valor se han consultado empresas del sector que comercializan e instalan los sensores propuestos y la fibra óptica.

**SSC = Coste del sistema inteligente (*Smart System Cost*)**

Representa el coste (anual promedio) de mantener el sistema de sensores de la estructura inteligente. Incluye la reparación o renovación de cables (de fibra óptica) o sensores que tengan disfunciones; el mantenimiento del software que controla el sistema; el coste de la gestión de datos obtenidos por el sistema.

Para determinar este valor se ha realizado lo siguiente:

- Tener en cuenta la vida útil promedio de cada tipo de sensor y de la fibra óptica; el coste de extraer y colocar nuevos sensores y fibra óptica (cuando dejen de funcionar por disfunción o por haber superado su vida útil); coste de revisiones periódicas del sistema por parte de ingeniero informático o similar.
- Para determinar los valores citados en el punto anterior se han consultado empresas del sector que comercializan e instalan los sensores propuestos y la fibra óptica.

**SPMC = Coste de mantenimiento preventivo inteligente (*Smart Preventive Maintenance Cost*)**

Representa el coste (anual promedio) de realizar mantenimiento preventivo de la estructura usando sensores y fibra óptica.

Para determinar este valor, consideramos los siguientes factores que suponen ahorro respecto PMC:

- Es necesaria menor cantidad de tiempo (y por tanto, menor cantidad de coste) de técnico (arquitecto técnico o ingeniero de edificación, etc.) en inspección y diagnóstico del edificio. En efecto, en PMC, el técnico debe revisar periódicamente el edificio (lo que supone considerable cantidad de tiempo, dependiendo de diversos datos del edificio: tamaño, tipología constructiva, número y características de las disfunciones existentes, etc.). En cambio en SPMC, el técnico, incluso desde su casa o despacho, puede obtener en su ordenador o smartphone los datos sobre el estado de salud del edificio en cuestión, reduciendo así notablemente el tiempo que debe dedicar el técnico.
- Mediante SPMC podemos saber antes cuándo aparece disfunción (el software del sistema puede incluir aplicativo que avise al técnico de cabecera en caso de que aparezcan disfunciones, o cuando estas superen cierta magnitud). Esta detección más temprana de las disfunciones en SPMC respecto PMC, permite que las terapéuticas aplicadas en SPMC sean más económicas. Para la aplicación del mencionado software, puede ser de utilidad el uso de una escala de gravedad de daños en edificios, que permita la clasificación de los daños en función de su grado de gravedad [3]
- Derivado del anterior punto, cabe introducir también otro tipo de coste adicional. En efecto, si el edificio tiene disfunciones graves, no solo hay que gastar dinero en repararlo. También hay que considerar que los usuarios del edificio probablemente deberán tomar unas medidas que les pueden generar perjuicios. Entre estas medidas pueden estar las siguientes: desalojo provisional del edificio (o de parte del mismo), hacer desplazamientos más largos (por ejemplo en caso que las personas que trabajaban en las oficinas del edificio deban ir provisionalmente a un lugar más alejado), etc. Estos perjuicios deben ser tenidos en cuenta y valorados económicamente, en este coste adicional. Así, la detección más temprana de las disfunciones en SPMC respecto PMC, repercute en un menor coste adicional en SPMC respecto PMC.

Cabe decir que de todos los parámetros estudiados (PMC, IC, SSC y SPMC), SPMC es el que presenta mayor dificultad para obtener resultados con elevado grado de certidumbre. En parte esto es debido a que, en base a los estudios que hemos realizado, no nos consta que haya ningún edificio en el mundo con estructura inteligente, del que poder extraer datos experimentales. Por otro lado, en las pocas construcciones en que sabemos que se usa el concepto de estructura inteligente (algún puente, central térmica, etc.), no consta que haya ningún estudio económico sobre el ahorro que supone el uso de esta tecnología en comparación a no usarla.

Para obtener valores consistentes de SPMC, lo ideal sería disponer de varios edificios piloto con estructuras inteligentes, e ir obteniendo datos experimentales de los costes de SPMC.

### 3. CONCLUSIONES

Tras aplicar la metodología y expresiones matemáticas propuestas a los dos edificios estudiados se obtiene en ambos casos que  $F > 1$  (la inversión es rentable). Análogamente, se obtiene que para la iglesia de Sant Antoni Abat,  $T = 10$  años (el periodo de recuperación de la inversión es de 10 años); y para el edificio Neàpolis,  $T = 15$  años.

Estos resultados indican que, además de que el uso de esta tecnología es rentable, que su rentabilidad es mayor en edificios antiguos que en edificios de reciente construcción. Esto último parece razonable que así sea, ya que en un edificio antiguo, por el hecho de tener una mayor probabilidad, en principio, de sufrir disfunciones relevantes, el hecho que mediante el uso de sensores podamos detectar de manera más temprana estas disfunciones, nos permire mayores ahorros de dinero al reducir los costes de reparación, frente a la opción de mantenimiento preventivo sin uso de sensores.

En cambio, en edificio de reciente construcción (que esté bien construido, por tanto, sin errores relevantes de proyecto, ni de ejecución, ni defectos de materiales, etc.), existe, en principio, una menor probabilidad de sufrir disfunciones relevantes, por lo que el ahorro es menos significativo respecto a la opción de mantenimiento preventivo sin uso de sensores.

Se recuerda aquí que en el edificio de reciente construcción, se parte de la premisa que el edificio está construido sin sensores, y que a posteriori se instalan los sensores y la fibra óptica (adherida en superficie, como se ha comentado). En el caso de edificio que se construya ya de inicio con estructura inteligente, los resultados pueden ser diferentes, probablemente con una mayor rentabilidad. Esto es así ya que es probable que el coste inicial (IC) sea algo menor, en comparación con el coste inicial en el caso de edificio existente en el que se instalan los sensores a posteriori. Además, en edificios de nueva construcción se pueden aplicar otros tipos de tecnologías con objeto de monitorizar las estructuras de hormigón armado, como el denominado polvo inteligente (en inglés, *smartdust*), el cual ya se explicó en el anterior artículo (Ruiz y Llorens, 2012).

Conviene resaltar que la utilización de sensores y fibra óptica en los edificios se puede aprovechar para objetivos más amplios a los referidos de la monitorización estructural y la optimización de la gestión de la salud de la estructural del edificio. En efecto, esta tecnología se puede utilizar también en el campo de la domótica y de la eficiencia energética del edificio, consiguiendo así un concepto integral de edificio inteligente, *Smart building*.

Todo lo explicado en el presente artículo y en el anterior, apunta hacia la bondad del uso de las estructuras inteligentes, tanto desde el punto de vista técnico como económico. Así, tal vez en unos años empiece a ser frecuente la existencia de edificios inteligentes, tanto en materia de estructuras inteligentes, como en materia de eficiencia energética y domótica, pudiendo incluso quedar recogidos estos aspectos a nivel de normativa.

Como es evidente, los aparejadores, arquitectos técnicos e ingenieros de edificación, por la formación académica recibida de alto nivel científico técnico y transversal, somos unos profesionales perfectamente indicados para intervenir en el campo de las estructuras inteligentes, así como de la

eficiencia energética de los edificios y de la domótica, y más en general en materia de smart cities. Análogamente, otras profesiones también son idóneas para intervenir en esta materia, siendo este uno de los numerosísimos ejemplos que muestran que es necesario que haya una buena colaboración y entendimiento entre diferentes profesiones, así como significativo grado de transversalidad bidireccional entre estas, con objeto de conseguir la máxima eficacia y ser de la máxima utilidad a la sociedad.

#### 4. REFERENCIAS

- [1] Ruiz, F. y Llorens, A. (2012). Les estructures intel·ligents. Aplicació de les noves tecnologies per la gestió de la salut estructural dels edificis. *L'Informatiu*. Col·legi d'Aparelladors, Arquitectes Tècnics i Enginyers d'Edificació de Barcelona. Número 333, pp. 98-103.
- [2] Lau, K., Zhou, L., Tse, P. y Yuan, L. (2002). Applications of Composites, Optical Fiber Sensors and Smart Composites for Concrete Rehabilitation: an Overview. *Applied Composite Materials*. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers. 9, pp. 221-247.
- [3] Ruiz, F. (2014). Escala de gravedad de daños en edificios: de la asignación directa a la contrastación estadística. Tesis doctoral. ETS de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona-UPC.

**NUEVAS EXIGENCIAS DE FORMACIÓN PARA LOS FUTUROS  
PROFESIONALES DE LA EDIFICACIÓN:  
HERRAMIENTAS PARA LA GESTIÓN**

VALVERDE GASCUEÑA, NELIA<sup>1</sup>; RUIZ FERNÁNDEZ, JUAN PEDRO<sup>2</sup>

*<sup>1</sup>Escuela Politécnica de Cuenca (UCLM), Cuenca, España*

*E-mail: [nelia.valverde@uclm.es](mailto:nelia.valverde@uclm.es), Web: <https://politecnicacuenca.uclm.es/>*

*<sup>2</sup>Escuela Politécnica de Cuenca (UCLM), Cuenca, España*

*E-mail: [juanpedro.ruiz@uclm.es](mailto:juanpedro.ruiz@uclm.es), Web: <https://politecnicacuenca.uclm.es/>*

**PALABRAS CLAVE:** planificación; control de ejecución; BIM (Building Information Modelling); EVM (Earned Value Management).

**RESUMEN**

La universidad debe ser el motor que impulse la formación y la adaptación de los futuros profesionales de la edificación a los nuevos entornos de trabajo. Esta adaptación contribuirá a mejorar la productividad, competitividad e industrialización del sector.

Una de las principales apuestas de los estudios de Grado en Ingeniería de Edificación de la Escuela Politécnica de Cuenca es la incorporación de la metodología trabajo colaborativo BIM (Building Information Modeling) con la asistencia de herramientas informáticas específicas. Esta comunicación describe una propuesta de aprendizaje, dentro de la asignatura “Herramientas de Planificación y Gestión Económica”, basada en la utilización de un software BIM 4D de planificación y control del proyecto. La metodología de trabajo diseñada se desarrolla en una primera fase de planificación donde, partiendo de un modelo virtual, se vinculan los elementos del modelo a cada una de las actividades programadas para visualizar en tiempo real la secuencia de construcción y así evaluar distintas opciones mejorando la planificación del proyecto. Esta capacidad de visualización permitirá a los estudiantes

identificar y resolver posibles conflictos espaciales y temporales de forma dinámica, potenciando el trabajo en equipo, para optimizar el rendimiento del proyecto. En la segunda fase, de control de ejecución de la obra, se podrá analizar la situación actual de la obra en relación con lo planificado y las previsiones sobre el progreso económico y temporal del proyecto a través de la Gestión del Valor Ganado (Earned Value Management, EVM).

El objetivo principal de esta investigación se centra en el diseño de una propuesta que permita infundir en los estudiantes iniciativas de cambio que integren tecnologías emergentes, sobre todo las relacionadas con internet o con el tratamiento de un gran volumen de datos, para acercarlos a las prácticas profesionales que están promoviendo el salto a la “Edificación 4.0”.

## 1. INTRODUCCIÓN

El aprendizaje es un proceso constante a lo largo de la vida que requiere, cada vez más, de una mejor gestión de la información. Desde el entorno universitario, la transmisión y adquisición del conocimiento muestra una mayor tendencia a la especialización y, a la vez, su desfase también es mayor, ya que su renovación se realiza con más rapidez que en etapas anteriores. Por este motivo, y según establecen [1], actualmente el conocimiento se tiene que entender desde una perspectiva que pondere tanto su complejidad como su carácter relativo y mutable. Esta apertura de miras en cuanto al conocimiento origina, según [2], un nuevo sistema docente universitario de carácter más interdisciplinar e integrador en el cual los estudiantes requieren una formación práctica más ajustada a las exigencias del ámbito profesional actual [3]. Para ello se hace necesario el diseño de estrategias que cubran los contenidos de las asignaturas y a la vez trabajen las competencias establecidas para los títulos, potenciando el protagonismo de los estudiantes en su propio proceso formativo. La universidad se comporta así como el motor que debe impulsar la formación y la adaptación de los futuros profesionales en general, y en concreto de los futuros profesionales de la edificación, a los nuevos entornos de trabajo.

Uno de los objetivos de la Comisión Nacional “es.BIM” es promover la metodología de trabajo colaborativo BIM (Building Information Modeling) tanto en el ámbito profesional como en el docente [4]. Precisamente, es en el ámbito docente donde hay que comenzar a conocer y a experimentar esta forma de trabajo, cumpliendo así con el interés de una formación de acuerdo a la realidad profesional y a los avances informáticos y de telecomunicación actuales, que hacen posible la gestión coordinada entre equipos multidisciplinares y la actuación de forma cooperativa, desde puestos de trabajo distantes entre sí, sobre un modelo único. Por otro lado, el constante cambio que sufre el sector de la ingeniería y de la edificación en el contexto de la gestión económica y la organización del proceso constructivo en cuanto a la optimización de los procesos, unido a la asistencia de herramientas informáticas específicas en continua evolución, exige la consideración de la implicación directa en el desarrollo profesional que suponen las competencias de las asignaturas que engloban dicho contexto. La consecución de esas competencias en entornos docentes innovadores será el germen de nuevos profesionales de la edificación mejor adaptados a los entornos de trabajo actuales, que contribuirán a mejorar la productividad, competitividad e industrialización del sector.

Lo expuesto anteriormente justifica el interés por realizar nuevos diseños que, previamente a su implementación, deben ser propuestos, analizados y discutidos en el contexto

docente y profesional. En este sentido, la comunicación expone el diseño de una metodología de trabajo para la asignatura optativa “Herramientas de Planificación y Gestión Económica”, dentro de los estudios de Grado en Ingeniería de Edificación de la Escuela Politécnica de Cuenca (EPC), perteneciente a la Universidad de Castilla-La Mancha. En relación con el plan de estudios (Figura 1), se trata de una asignatura de cuarto curso intensificadora de los conocimientos adquiridos en las asignaturas obligatorias “Mediciones y Presupuestos”, “Planificación, Organización y Control de Obras” y “Ejecución de Obras y Gestión Económica”, a través de la aplicación práctica y la utilización de herramientas informáticas dentro de un enfoque multidisciplinar adaptado a las demandas del mercado laboral actual [5].

<b>TERCERO</b>	Introducción a la Prevención y Seguridad y Proyectos Técnicos	Equipos de Obra	
	Proyectos Técnicos	Topografía y Replanteos	
	Prevención y Seguridad en el Trabajo	Construcción IV	
	Instalaciones de la Edificación II	Patología y Restauración	
	Estructuras de la Edificación II	Planificación, Organización y Control de Obras	
<b>CUARTO</b>	Calidad en la Edificación	Ejecución de Obras y Gestión Económica	Optativas, Prácticas Externas y Otras Actividades
	Gestión Urbanística y Construcciones Urbanas	Peritaciones y Tasaciones	Geotecnia y Cimentaciones Intervención en el Patrimonio Gestión de la Prevención Herramientas de Planificación y Gestión Económica Cálculos de Estructuras y Prefabricación Diseño Avanzado de Aplicación Arquitectónica
	Mediciones y presupuestos	Trabajo Fin de Grado	Certificación Energética y Riesgos Removables Sostenibilidad, Calidad Energética y Medio Ambiental Geografía Urbana Prácticas Externas

Figura 1: Tercer y cuarto curso del plan de estudios del Grado en Ingeniería de Edificación de la EPC [6].

La metodología diseñada tiene el propósito de establecer los principios donde asentar un modelo para la gestión de proyectos de obras de edificación a través del método del Valor Ganado (Earned Value Management, EVM) que, según indica [7], es el método preferido de los directores de proyectos para medir el progreso de los mismos. Dicho método tendrá como entregable un informe donde se podrán ver los gastos presupuestados del proyecto a lo largo del tiempo junto con el coste real del trabajo realizado hasta una determinada fecha de control, así como la cantidad de trabajo que se ha terminado realmente; del análisis de estos datos se podrán calcular tanto la variación del coste como la variación de la programación del proyecto. Tal y como establece [8], el Valor Ganado nos proporciona interesantes recursos para realizar predicciones acertadas en relación al coste y al progreso del proyecto, más allá de las evaluaciones estáticas de situación. Además, los requerimientos de este método se adaptan perfectamente a los proyectos de ejecución de obras de edificación en España, ya que los presupuestos realizados por unidades de obra son una fortaleza del sector de la construcción y favorecen la implantación de la gestión de este tipo de proyectos a través del Valor Ganado.

La intención, por tanto, en cuanto a la docencia de la asignatura escogida para esta investigación es que, una vez completada la fase de planificación del proyecto, se preste la debida atención a la fase de control de la ejecución de la obra, de manera que los estudiantes sean capaces de profundizar en el progreso del proyecto, analizando la situación actual de la obra en relación con lo planificado y realizando previsiones sobre el progreso económico y temporal del mismo, pudiendo optimizar el proceso.

## 2. METODOLOGÍA

La metodología desarrollada en esta investigación se fundamenta en experiencias docentes anteriores llevadas a cabo por los profesores redactores de la misma. Dichas experiencias se han realizado de forma circunstancial en diferentes asignaturas, en algunas ocasiones con colaboraciones puntuales con otras universidades, tal y como se describe en [9]. La intención actual es implementar esta metodología en próximos cursos académicos, dentro del último curso, donde los estudiantes ya están en disposición de tomar decisiones con un criterio técnico muy próximo al de un profesional. Se divide en dos fases:

- Fase 1: Planificación (en su sentido más amplio, incluyendo el presupuesto de la obra).
- Fase 2: Control de la ejecución de la obra.

El diseño incluye la implementación de un software BIM de planificación y control del proyecto, cuya elección se basa en estudios previos realizado por los autores de esta comunicación en cuanto al análisis de las aplicaciones existentes en torno a la incorporación de la información de tiempos (4D BIM) y de costes (5D BIM) de un proyecto de edificación. A partir de ahí, se determina utilizar “Synchro PRO”, de uso muy habitual y extendido en el ámbito profesional a nivel nacional e internacional que facilita la integración de los modelos BIM 3D en los procesos de planificación y control de ejecución de obras, sincronizándolos con mediciones y presupuestos y con los sistemas clásicos CPM (Critical Path Method) o Ruta Crítica. [10].

### 2.1 Fase 1: Planificación (en su sentido más amplio, incluyendo el presupuesto de la obra)

La fase de planificación parte de un modelo virtual 3D, un almacén sencillo de elaboración propia, desarrollado previamente según la metodología BIM con el software “Revit” de Autodesk, elección justificada, en parte, porque permite el flujo de datos bidireccional con el software elegido para el desarrollo de la gestión del proyecto (Figura 2).

Según [7], un proceso lógico general de planificación para una obra de edificación sería el siguiente:

1. Estudio y análisis de la documentación de partida.
2. Estudio y análisis de los recursos necesarios para el periodo estimado de realización del proyecto.
3. División de la obra en actividades, atendiendo a dos factores fundamentales: complejidad del proceso y grado de análisis.
4. Ordenación secuencial de las actividades, determinando las relaciones de orden existentes o precedencias.

En función de la asignación de los recursos óptimos, se estiman unos rendimientos normales que determinarán unos costes mínimos para la ejecución de la actividad. Aplicando los rendimientos medios, se obtendrá el tiempo esperado para la ejecución de la misma. A partir de ahí se construirá una red que permita situar la actividad en el tiempo en relación



Fecha n	Fecha n+1	Fecha n+2	Fecha n+3	Fecha n+4	Fecha n+5	Fecha n+6	Fecha n+7
	1.450 €	1.450 €	1.450 €	1.450 €	1.450 €	1.450 €	
Actividad							

*Actividad con función costo-tiempo constante.*

Fecha n	Fecha n+1	Fecha n+2	Fecha n+3	Fecha n+4	Fecha n+5	Fecha n+6	Fecha n+7
	1.100 €	1.250 €	1.400 €	1.550 €	1.700 €	1.850 €	
Actividad							

*Actividad con función costo-tiempo creciente.*

Fecha n	Fecha n+1	Fecha n+2	Fecha n+3	Fecha n+4	Fecha n+5	Fecha n+6	Fecha n+7
	4.550 €	1.800 €	500 €	3.690 €	2.900 €	7.100 €	
Actividad							

*Actividad con relación costo-tiempo variable.*

Figura 4: Ejemplo de actividades con diferentes funciones costo-tiempo. Fuente: [8].

Los sucesos económicos corresponderán a periodos de tiempo muy cortos, horas o días, donde se producen hechos de cierta importancia económica y con carácter puntual. En la Figura 5 se muestra un ejemplo:

Fecha n	Fecha n+1	Fecha n+2	Fecha n+3	Fecha n+4	Fecha n+5	Fecha n+6	Fecha n+7
3.300 €							1.950 €
	500 €	500 €	500 €	500 €	500 €	500 €	
Grúa							

Figura 5: Actividad con función costo-tiempo constante y sucesos económicos. Fuente: [8].

Llegados a este punto, la metodología diseñada plantea la importación del modelo 3D desde Revit a Synchro PRO para, posteriormente, vincular los elementos del mismo a cada una de las actividades del Gantt; de esta manera, los estudiantes podrán visualizar en tiempo real la secuencia de construcción (Figura 6). Finalmente, se empleará la animación visual 4D en tiempo real de Synchro para producir vídeos que permitan evaluar distintas opciones y mejorar la planificación del proyecto. Esta capacidad de visualización permitirá a los estudiantes identificar y resolver conflictos espaciales y temporales de forma dinámica para optimizar el rendimiento del proyecto potenciando el trabajo en equipo.

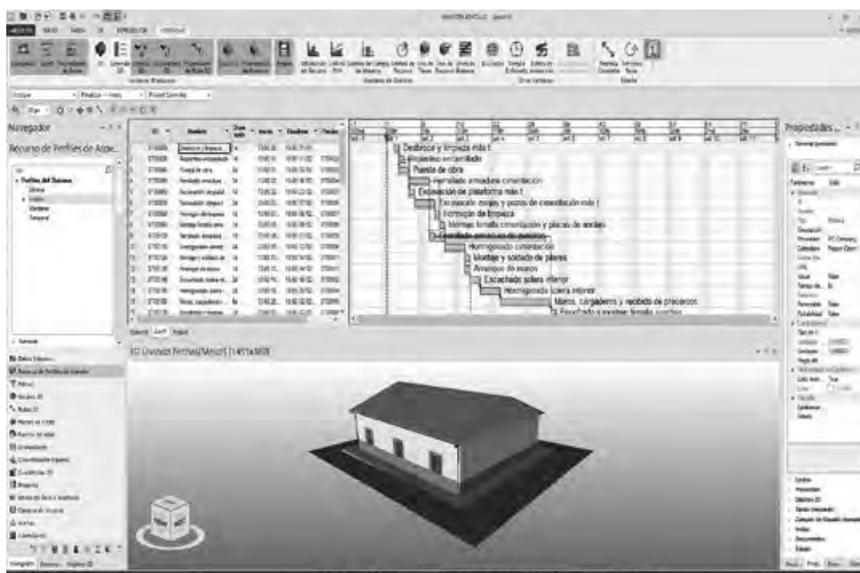


Figura 6: Importación del modelo virtual con el programa Synchron PRO.

Fuente: elaboración propia.

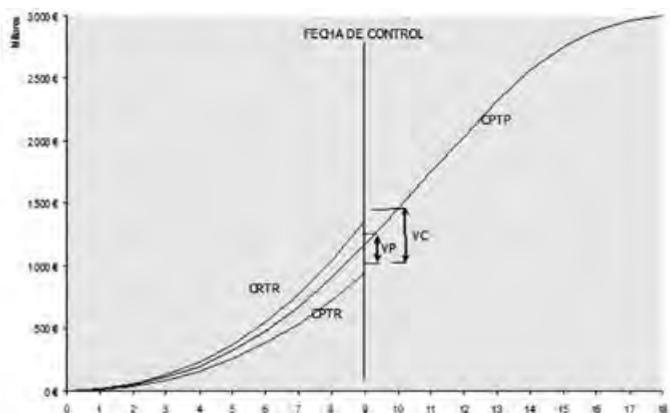
## 2.2 Fase 2: Control de la ejecución de la obra

Dentro del diseño de la metodología de trabajo propuesta, una vez completada la primera fase de planificación, se pasa a la segunda fase de control de la ejecución de la obra. A través de la Gestión del Valor Ganado, los estudiantes podrán analizar la situación actual de la obra en relación con lo planificado y las previsiones sobre el progreso económico y temporal del proyecto. Las evaluaciones del proceso de control permiten detectar posibles desviaciones; una vez detectadas, el problema reside en determinar las causas que originan dichas desviaciones para poder aplicar las medidas correctoras adecuadas. El control origina costes, como cualquier otro proceso, por lo que también se tendrán que planificar los momentos en los que realizarlo para que resulte eficaz y eficiente: un control realizado en periodos de tiempo muy alejados entre sí perderá su eficacia al distanciarse temporalmente de los momentos donde las medidas correctoras hubieran podido hacer efecto; por el contrario, un control demasiado continuado en el tiempo se convertirá en un empleo ineficiente de recursos. Precisamente, la Gestión del Valor Ganado tiene como eje central el control en su sentido más amplio: el control de producción, el control temporal y el control de costes; y todos los aspectos estudiados para la ejecución del proyecto (organización y funcionamiento de la empresa, planificación, organización de la obra y dirección de los trabajos) giran en torno al control efectivo y preventivo. Se puede decir, por tanto, que el control se realiza por la directa aplicación del método, cumpliendo con su objetivo esencial.

Una vez realizada la planificación del proyecto, es preciso definir una línea base con la cual comparar el progreso del mismo. En la fase de seguimiento de la obra se confrontarán, por tanto, datos previstos con datos reales para comprobar si son iguales o si existen desviaciones. El diseño propuesto por los docentes incluirá diferentes hipótesis en cuanto al avance del proyecto, estableciendo fechas de control en las que registrar el progreso

real del mismo, pudiendo introducir los siguientes datos: el porcentaje completado de las actividades, las fechas reales de comienzo y de finalización de las mismas, su duración real y duración restante para ese momento de control, el trabajo real realizado y restante o los costes reales de lo realizado y los costos de lo que queda por terminar. En este momento se podrán realizar comparativas entre la línea base y la línea de progreso establecida para cada fecha de control, lo que permitirá al estudiante un análisis visual de la situación para detectar posibles desviaciones y, según el caso, tomar las medidas correctoras pertinentes.

El informe del Valor Ganado presenta tres elementos que es necesario conocer a fin de utilizarlo eficazmente: el coste presupuestado del trabajo programado (CPTP), el coste presupuestado del trabajo realizado (CPTR) y el coste real del trabajo realizado (CRTR), traducción aceptada por el Project Management Institute (PMI), según [7], de Budgeted Cost of Work Scheduled (BCWS), Budgeted Cost of Work Performed (BCWP) y Actual Cost of Work Performed (ACWP), respectivamente. En [11], se establecen las siguientes relaciones: CPTP= valor planificado (PV, Planed Value); CPTR= valor ganado (EV, Earned Value) y CRTR= coste real (AC, Actual Cost). Los valores CPTR y CRTR se pueden representar de forma acumulada a lo largo del desarrollo del proyecto, con ello se puede observar su evolución. Las variaciones de producción y de costes se pueden medir en cada fecha de control como se indica en la Figura 7. Si la diferencia entre el CPTR y el CPTP es positiva, se habrá trabajado más de lo previsto hasta la fecha de control; por el contrario, si el valor es negativo, no se habrán cumplido las expectativas de producción. Un valor de la variación de la producción igual a cero indicará que la previsión y la realidad coinciden. Si la diferencia entre el CPTR y el CRTR es positiva, se habrá gastado menos de lo previsto hasta la fecha de control; por el contrario, si el valor es negativo, se habrá gastado más de lo previsto. Una variación de costes igual a cero indicará que la previsión y la realidad del gasto coinciden.



CPTP = coste presupuestado del trabajo programado;  
 CPTR= coste presupuestado del trabajo realizado;  
 CRTR= coste real del trabajo realizado; VP= variación de la producción;  
 VC= variación de costes

Figura 7: Gráfico coste-tiempo a origen. Fuente: [8].

En la Figura 8, se puede observar el gráfico del Valor Ganado obtenido con Synchro por los autores para el progreso del almacén sencillo, donde se representan las curvas del

CPTP, CPTR y CRTR para el proyecto en general en una fecha de control determinada. Estableciendo una comparativa entre las curvas, el estudiante podrá saber si el proyecto está retrasado o adelantado respecto a lo programado; o si el proyecto está por encima o por debajo de lo presupuestado.

Para finalizar la metodología de trabajo, una vez completadas las dimensiones 4D y 5D, se aprovechará la bidireccionalidad de las aplicaciones informáticas elegidas para completar el modelo 3D con la información añadida de los tiempos y los costes. De esta manera, el estudiante tendrá toda la información del proyecto centralizada en un modelo único de información digital.

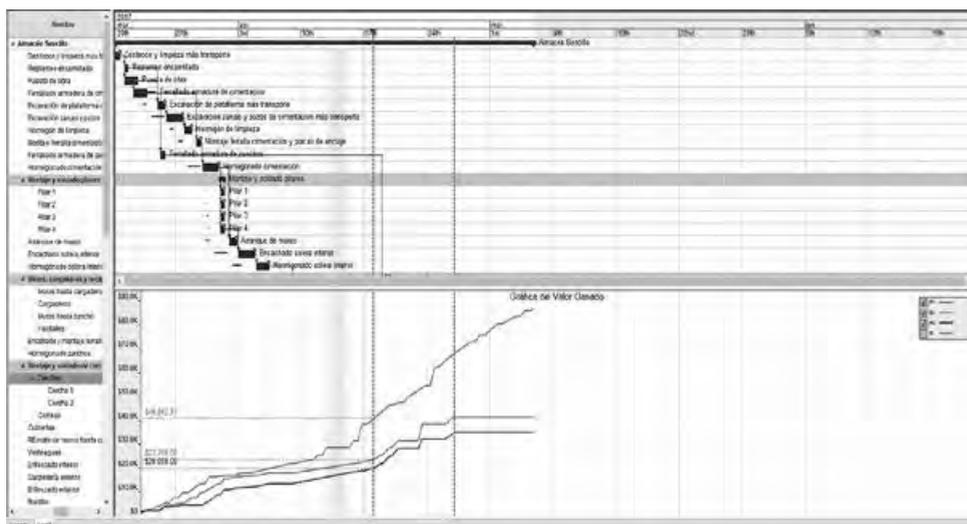


Figura 8: Captura de pantalla del Gráfico del Valor Ganado con Synchro PRO.

Fuente: elaboración propia.

Para finalizar, una vez completadas las dimensiones 4D y 5D, se aprovechará la bidireccionalidad de las aplicaciones informáticas elegidas para completar el modelo 3D con la información añadida de los tiempos y los costes, quedando así toda la información del proyecto centralizada en un modelo único de información digital.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la misma línea que otras publicaciones [12, 13], una vez diseñada la metodología de trabajo, los docentes redactores de esta comunicación la han desarrollado para poder analizar la eficacia del proceso y sus posibles complicaciones: han realizado un modelo BIM, en este caso un almacén sencillo, y a partir de él han desarrollado las dimensiones 4D y 5D, planteando las hipótesis necesarias para completar los datos en cuanto al seguimiento y control del proyecto. Este sistema pretende prever los resultados a los que podrá llegar un estudiante cuando él mismo desarrolle la experiencia docente. Además, el diseño permite establecer la escala temporal en la que se podrá llevar a cabo el cumplimiento de los objetivos formativos.

Con el uso de herramientas informáticas aplicadas a la filosofía BIM, el estudiante podrá observar la mejora en la gestión de los costes tanto en la fase de planificación como en la fase de control de la ejecución de la obra. Una eficiente gestión del coste se traduce en la minimización de los imprevistos en la ejecución del proyecto, lo cual resulta de gran importancia para garantizar los recursos económicos necesarios para el desarrollo de las actividades de la obra. El estudiante podrá comprobar que cualquier situación que afecte significativamente a la ejecución del proyecto podrá detectarse, corregirse y evitarse. Por otra parte, la metodología de trabajo diseñada ayudará al estudiante a darse cuenta de que partir de un modelo 3D ejecutado correctamente desde un punto de vista únicamente geométrico no asegura una presupuestación ni una planificación automáticas. La filosofía BIM requiere de la integración de disciplinas, de la colaboración entre agentes de la edificación y de las continuas mejoras del modelo, para ir puliendo las posibles interferencias en el mismo.

## 5. CONCLUSIONES

El avance conseguido en la presente investigación pone de manifiesto la importancia de los instrumentos y procedimientos empleados en la docencia que determinarán en gran medida la forma en que el estudiante afronte su propio proceso formativo. Las herramientas informáticas que se utilizan para desarrollar la metodología de trabajo colaborativa BIM en aplicación del modelo, unidas necesariamente a los fundamentos, principios y conceptos propios de las enseñanzas regladas de la titulación, supondrán una mejora indiscutible en el proceso de aprendizaje del estudiante.

Con la aplicación de la metodología de trabajo diseñada, el estudiante podrá comprobar que toda la información del proyecto se puede centralizar en un modelo de información digital único, lo que al final es el objetivo perseguido por la filosofía BIM, tanto a nivel docente como a nivel profesional; y también podrá comprobar la similitud con la manera de trabajar en la profesión.

Estamos convencidos de que las metodologías innovadoras que incluyen una formación práctica cercana a las prácticas profesionales actuales infunden en los estudiantes iniciativas de cambio que promoverán el salto a la “Edificación 4.0”. En este sentido, el acercamiento al modelo para la gestión de proyectos de obras de edificación a través del método del Valor Ganado, asistido por aplicaciones informáticas específicas, supondrá una diferencia en cuanto a la formación actual de la asignatura estudiada y, consecuentemente, en cuanto la adaptación a los nuevos entornos de trabajo profesional una vez finalizados los estudios de la titulación.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Monereo, C. y Pozo, J.I. (2003). *La Universidad ante la nueva cultura educativa: enseñar y aprender para la autonomía*. España, Síntesis.
- [2] Fernández, A. (2003). Formación pedagógica y desarrollo profesional de los profesores de universidad: análisis de las diferentes estrategias. *Revista de Educación*, 331, 171-199.
- [3] Alonso, J. (2001). Motivación y estrategias de aprendizaje. Principios para su mejora en alumnos universitarios. En A. García Valcárcel ed. *Didáctica Universitaria*, Madrid: La Muralla, p.79-111.
- [4] es.BIM. Implantación del BIM en España. Accedido el 29 de noviembre, 2016, desde [www.esbim.es/es-bim/mision/](http://www.esbim.es/es-bim/mision/)

- [5] Guía docente de la asignatura Herramientas de Planificación y Gestión Económica del curso 2017-2018. Accedido el 15 de enero, 2018, desde <https://guiae.uclm.es/vistaPrevia/29149/999>
- [6] Plan de estudios del Grado en Ingeniería de Edificación. Escuela Politécnica de Cuenca. Accedido el 15 de enero, 2018, desde <https://politecnicacuenca.uclm.es/index.php/ingenieria-de-edificacion/plan-estudios-gie-1/>
- [7] Michael W. Newell; Marina N. Grashina (2005). *Preguntas y Respuestas sobre la Gestión de Proyectos*. Barcelona, Ed. Gestión.
- [8] Ruiz Fernández, J. P. y Cos-Gayón López, F. J. (2009) El valor acumulado en obras de edificación. (Trabajo Final de Máster no publicado) Universidad Politécnica de Valencia.
- [9] Valverde-Gascueña, N., Ruiz-Fernández, J.P., Sáez-Pérez, M<sup>a</sup> P. (2017). *Experiencia docente colaborativa entre universidades*. En Actas del Congreso Internacional de Innovación Educativa en Edificación (CINIE2017) (pp. 173-178). Madrid: Escuela Técnica Superior de Edificación - Universidad Politécnica de Madrid.
- [10] AECon Soluciones. Productos: Synchro software. Accedido el 14 de diciembre, 2016, desde [www.aec-on.com/synchro](http://www.aec-on.com/synchro).
- [11] Project Management Institute (PMI) (2010). *Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos 5ª Edición*. EE.UU: Ed. Project Management Institute, Inc.
- [12] Porras-Díaz, H., Sánchez-Rivera, O. G., Galvis-Guerra (2014). Metodología para la elaboración de modelos del proceso constructivo 5D con tecnologías Building Information Modeling. *Revista Gerencia Tecnológica Informática*, vol. 13, no. 1, p. 1-15.
- [13] Valderrama, F., Guadalupe, R., Ramírez, C. y Muñoz, E. (2017). *Modelos para la docencia del BIM: el garaje Catasús, de José Antonio Coderch*. En Actas del Congreso Internacional BIM (EUBIM 2017) (pp. 21-29). Valencia: Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación, Universitat Politècnica de València.

## **APLICACIÓN DEL 8D Y DE LOS PRINCIPIOS LEAN PARA LA MEJORA DE LA SEGURIDAD Y PREVENCIÓN DE OBRAS DE EDIFICACIÓN**

LATORRE, ASIER<sup>1</sup>; SÁNCHEZ, BRUNO<sup>2</sup>; SANZ, CRISTINA<sup>3</sup>; VIDAURRE, MARINA<sup>4</sup>

<sup>1</sup> INNYCO BIM Project-Universidad de Navarra/Ingeniero de Edificación BIM,  
Pamplona, España

E-mail: [alatorre@alumni.unav.es](mailto:alatorre@alumni.unav.es),

Web: <https://www.linkedin.com/in/asier-latorre-uriz-97344b47/>

<sup>2</sup> Universidad de Navarra/Departamento de Construcción,  
Instalaciones y Estructuras, Pamplona, España

E-mail: [bsanchezs@unav.es](mailto:bsanchezs@unav.es),

Web: <https://www.linkedin.com/in/bruno-s%C3%A1nchez-saiz-ezquerra-33565122/>

<sup>3</sup> Universidad de Navarra/Departamento de Construcción,  
Instalaciones y Estructuras, Pamplona, España

E-mail: [csanz@unav.es](mailto:csanz@unav.es), Web: [http://www.unav.edu/web/escuela-tecnica-superior-de-arquitectura/  
laboratorio-arquitectura/quienes-somos](http://www.unav.edu/web/escuela-tecnica-superior-de-arquitectura/laboratorio-arquitectura/quienes-somos)

<sup>4</sup> Universidad de Navarra/Departamento de Construcción,  
Instalaciones y Estructuras, Pamplona, España

E-mail: [mvidaurre@unav.es](mailto:mvidaurre@unav.es), Web: <http://orcid.org/0000-0002-9041-9782>

**PALABRAS CLAVE:** BIM, Lean, Seguridad y Salud en Obras de Construcción, Edificación.

### **RESUMEN**

#### **OBJETIVO**

El objetivo del artículo es identificar mejoras en la Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) en las Obras de Edificación a través de la aplicación de los conceptos de la filosofía Lean y la metodología BIM.

## METODOLOGÍA

1º.- Revisión bibliográfica sobre la aplicación de BIM y de conceptos Lean a la Seguridad y Prevención.

2º.- Análisis de los vínculos y potencialidades de la aplicación conjunta de BIM y Lean para mejorar la Seguridad y Prevención en edificación.

3º.- Propuesta de mejoras y utilización de las principales técnicas, en base a los conocimientos y experiencia de los autores.

## RESULTADOS

La aplicación de BIM en las fases de diseño, aprovechando la visualización (3D) y la simulación del proceso constructivo (4D) permite alcanzar un gran conocimiento del proyecto y controlar los riesgos del mismo, adaptando los sistemas de protección colectivos e individuales a las necesidades analizadas, disminuyendo la posibilidad de que ocurran en obra.

Posteriormente, en la fase de ejecución, la aplicación de conceptos como las 5<sup>º</sup>S, potenciar la visualización, la realización de una planificación más estable y real a través del uso de Last Planner System (LPS) y la búsqueda de la mejora continua (Kaizen) conlleva un aumento de la calidad en que se aplica la SST en las obras de edificación.

## CONCLUSIONES

El uso de BIM y Lean de manera conjunta no solo produce un aumento en la productividad de los proyectos de construcción, sino que supone una mejora en la calidad de las medidas preventivas adoptables en la fase de obra. El empleo del 3D o 4D queda estrechamente relacionado con técnicas y principios Lean como, por ejemplo, potenciar la visualización o LPS. Todo ello repercute en un aumento de la calidad de la SST, controlando mejor los riesgos y generando un mejor lugar de trabajo para los trabajadores.

## 1. INTRODUCCIÓN

La siniestralidad laboral en el sector de la construcción ha aumentado por tercer año consecutivo. Mientras que la media de accidentes en total aumentó un 3,4%, en la construcción aumentaron un 6,2%, siendo el sector con mayor índice de incidencia (7.217,2 accidentes por cada 100.000 trabajadores) [1]. La mortalidad por accidente de trabajo disminuye de manera global en el sector, pero aumenta en la construcción de edificios. El avance de la estadística de accidentes de Enero-Noviembre 2017 [2] confirma esta tendencia al alza, habiéndose producido un aumento del 14,7% de los accidentes en dicho periodo respecto al año anterior. Además, sindicatos como CC.OO [3], [4] denuncian que este aumento de la siniestralidad, defendido por algunos por el aumento de la actividad económica del sector, es debido en gran parte a los recortes y falta de inversión en las políticas preventivas. Todos estos datos muestran la necesidad de un cambio en la manera de gestionar la seguridad y prevención en la edificación, de manera que se puedan conocer mejor los procesos constructivos y los riesgos que conllevan.

En una encuesta realizada a 542 profesionales del sector de la construcción en 2016 [5], el 65,92 % de los encuestados afirman que la empresa para la que trabajan tienen implementado un SGSST, y el 61,84 % afirman que el nivel de subcontratación es superior al 70 %. Los resultados también evidenciaron que los profesionales posiciona en segundo lugar (de

11 posibles) el objetivo de terminar la obra conforme a la normativa de aplicación en materia de seguridad y salud, y con cero accidentes, con un Índice de Importancia Relativa (IIR) igual a 0,95 (muy alto), lo que evidencia la preocupación y concienciación de los profesionales al respecto. Igualmente consideran a la SST una disciplina de gran importancia en la gestión de un proyecto, con un IIR = 0.93.

Los hallazgos anteriores se deben a los años en que las empresas del sector llevan implementando los SGSST, que han permitido sedimentar y dar cultura de la importancia de su aplicación real. Por ello, parece el momento idóneo de ir un paso más allá en que el 8D con enfoque Lean se incorpore con la misma rigurosidad e impregne dichos sistemas de gestión.

A medida que BIM va afirmándose como buenas prácticas en el sector, la SST irá disfrutando también de sus potenciales mejoras desde la fase de redacción del proyecto hasta la culminación de la ejecución de la obra. No obstante a lo anterior, Sánchez [5] revela que las competencias que los profesionales actuales tienen en relación a procesos y herramientas informáticas BIM en el proceso Proyecto-Construcción es aún muy poco maduro en nuestro país.

La aplicación de la metodología BIM y la filosofía Lean resultan claves en este contexto. La mejor y más fácil visualización del proyecto/modelo y la posibilidad de realizar simulaciones del proceso constructivo hace que BIM proporcionan un gran conocimiento del proyecto, lo cual permite prevenir y controlar mejor los riesgos laborales; mientras que el uso de técnicas Lean como las 5”S” o Kaizen conllevan un aumento en la calidad de gestión de la SST en la fase de obra.

El uso de BIM en España está cada vez más extendido. La labor de difusión de plataformas como la buildingSMART o la comisión esBIM facilitan este trabajo. Está previsto que el uso de BIM en proyectos públicos de edificación sea obligatorio para el 17 de diciembre de 2018 [6]. Y el conocimiento de la filosofía Lean lleva años difundándose en España a través de la Fundación Laboral de la Construcción. Estamos, por tanto, en el momento de realizar un cambio de paradigma bajo el enfoque Lean, que conlleve un aumento en la mejora de la SST en la construcción y que acabe con la tendencia al alza del número de accidentes en el sector.

## 2. METODOLOGÍA

El objetivo principal del presente artículo es identificar mejoras en la SST en las obras de edificación a través de la aplicación de los conceptos de la filosofía Lean y la metodología BIM. Para ello se establecen los siguientes objetivos parciales: (1) Analizar qué aporta BIM a la seguridad, (2) Identificar las mejoras que conlleva Lean, y (3) Desarrollar el uso conjunto de ambas metodologías para la mejora de la Seguridad.

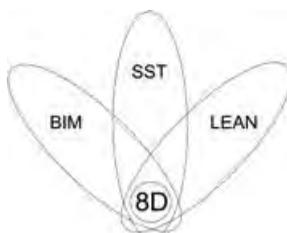


Figura 1: Integración de SST, BIM y LEAN. Elaboración propia.

La metodología investigadora (Figura 1) ha consistido en una revisión bibliográfica basada en tres fuentes principalmente; BIM, LEAN Construction y SST. La discusión aporta información y juicios de valor de los autores fruto de su experiencia que argumenta el problema planteado y las conclusiones ofrece un flujo de proceso conceptual que pretende alentar la implementación conjunta de herramientas de gestión provenientes de dichas disciplinas e integradas en un mismo proceso.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Aplicación de BIM a la Seguridad y Prevención en Edificación

BIM posibilita compartir datos e información entre todos los agentes del proceso edificatorio y cualquier participante a lo largo de todo el ciclo de vida del edificio. Aporta una plataforma de datos coherente, estructurados e idóneos, que permiten un proceso inteligente de toma de decisiones en base a información confiable en todas las fases del proceso Proyecto-Construcción [5][7][8]. El uso de BIM se está extendiendo cada vez más en la construcción en España, principalmente con sus aplicaciones más conocidas: favoreciendo una mayor visualización (3D) y realizando una gestión tanto del plazo (4D) como del presupuesto (5D).

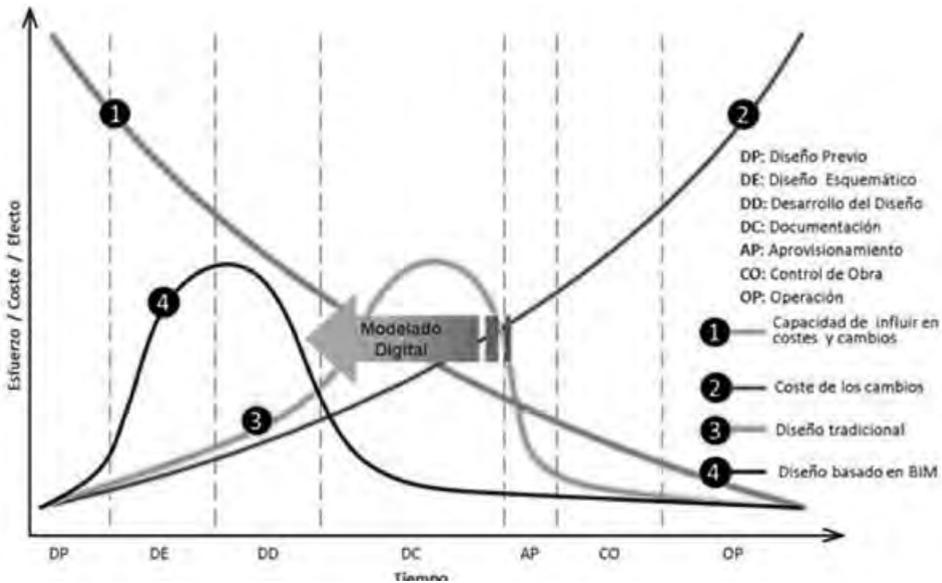


Figura 2: Curva de esfuerzo en el proceso constructivo- Curva MacLeamy [9]

La Figura 2, conceptualiza las ventajas de la utilización del modelado digital en el proceso constructivo. Los programas existentes desarrollan cada vez mejor las conexiones vía IFC para comunicarse con los programas de modelado, o bien se integran dentro de ellos, como el caso de Presto-Cost it y Revit. También se analiza el uso del modelo para otras funciones como el análisis energético (6D) o la gestión del activo inmobiliario (7D) [10]. Sin embargo, el análisis de BIM para la SST en obras de edificación es un tema que, hasta

el momento, ha suscitado menos interés que el resto y apenas se ha desarrollado [11]. En España destaca la labor de difusión del blog desarrollado por la Fundación Laboral de la Construcción [12], en la que se analizan las ventajas del uso de BIM para la SST en los proyectos de Edificación.

Tal y como se ha analizado, la construcción es un sector que tiene una altísima siniestralidad laboral. Entre un 42% y un 71% de los accidentes ocurridos en obra pueden evitarse en la fase de diseño del proyecto [11], [13]. Además, Sánchez [5] identifica que el mayor problema en la gestión de la SST en obra es el escaso control y aseguramiento de la seguridad por parte de la D.F. El uso de BIM optimiza el diseño [14], gracias a la visualización que ofrece y a la posibilidad de entender mejor el proceso constructivo. Uno de los problemas que destacan diversos autores [11][14][15] es la falta de conexión entre la gestión de la SST y el proyecto, quedando en un anexo más del mismo, sin darle la importancia que tiene. A través del uso de BIM, se hace a todos los agentes partícipes, permitiendo una mayor colaboración en las decisiones que afectan a la SST, integrándola dentro del proyecto.

La información que se plasma en los planos de SST, en 2D, es a menudo compleja, lo que dificulta su comprensión [16]. El uso de vistas auxiliares 3D permite comprender la solución adoptada de mejor manera [17]. Una vez modelado, se realizan análisis en programas específicos como Solibri o Navisworks, que comprueban de manera automática el cumplimiento de los elementos de seguridad, gracias a la formulación de reglas en dichos programas [16]. Esto genera un aumento de la calidad del proyecto y la optimización del proceso, ya que se realiza de manera automática [14]. Aun generándose la comprobación de forma automática, sigue siendo necesario que un técnico revise los resultados obtenidos, para comprobar que todo es correcto [17].

Para obtener buenos resultados en la gestión de la SST, es necesario conocer el proceso constructivo y sus riesgos laborales para adoptar las medidas preventivas necesarias y así poder eliminar los riesgos de que ocurran accidentes en la ejecución del proyecto. El uso del 4D (simulación del proceso constructivo/planificación) permite realizar simulaciones que elevan el nivel de conocimiento del proyecto [18] y, por tanto, la comprensión de los riesgos laborales inherentes a la ejecución de la labor constructiva. Se debe considerar la SST como una parte más de la planificación BIM, ya que es un proceso fundamental de ésta. Así, vinculando las actividades con la SST, se podrán tomar mejores decisiones respecto a las medidas preventivas del proyecto.

Por tanto, vinculando las dimensiones 3D (visualización), 4D (simulación del proceso constructivo/planificación) y la 8D (SST) se puede optimizar el proceso de diseño, mejorando de ésta manera la Seguridad del proyecto en la fase de ejecución al conocer mejor las características del mismo. Permitirá generar Estudios y Planes de SST mucho más precisos, acertados y optimizados.

### **3.2 Aplicación de Lean Construction a la Seguridad y Prevención en Edificación**

El Lean Construction consiste en la aplicación de los principios, técnicas y valores de la filosofía Lean al sector de la construcción. Permite gestionar un proyecto de edificación con el fin de aportar un valor añadido al cliente, que define qué es para él el valor. Busca eliminar todo aquello que no genera valor y provoca pérdidas, optimizando en todo momento el proceso y aplicando una mejora continua al mismo, logrando así alcanzar la plena satisfacción del cliente [19].

Los accidentes ocurridos durante la ejecución de los proyectos no generan un valor añadido al proceso, si no que suponen un coste mayor. Lean busca eliminar todas las actividades que no generan valor, por lo que la mejora de la SST en la ejecución de los proyectos forma parte de la mejora del proceso que busca Lean [20]. Para eliminar los desperdicios generados por la falta de seguridad, Lean busca [21]: mejorar los procedimientos de seguridad que fallan y provocan accidentes, identificar las medidas preventivas que resultan excesivas y suponen malgastar recursos que se podrían destinar a otra actividad y evitar las medidas preventivas que supongan una restricción a la productividad de la ejecución, sin perjudicar la seguridad. Por tanto, la mejora de la gestión de la SST y de los lugares de trabajo seguros se convierten en elementos clave dentro de la mejora de la productividad que debe afrontar la construcción [21][22].

Existen diversas técnicas lean, que se pueden clasificar en función de sus objetivos [23]:

- Alcanzar objetivos (Lean approach process, Hoshin Kanri).
- Control del flujo (Last Planner).
- Variabilidad/Optimización del proceso (Kanban, Jidoka, Value Stream Mapping).
- Transparencia (5S y aumento de la visualización).
- Mejora continua (Kaizen, reuniones de grupo).

De las técnicas citadas, se analizan brevemente las que tienen una mayor relación con la mejora de la SST.

La 5”S” consiste en la aplicación de 5 conceptos, que comienzan por S en japonés (organizar, ordenar, limpiar, controlar visualmente y disciplina) para la organización del lugar de trabajo, manteniéndolo limpio y organizado. De esta manera, se genera menos material y desperdicio en la zona de trabajo, y más espacio ordenado [24], con un aumento de la seguridad en la ejecución de los trabajos. Se crea un ambiente de trabajo del cual las personas están orgullosas, y ello puede conllevar un aumento de la calidad de sus trabajos [22].

La mejora de la visualización es una forma de transmitir la información del proyecto entre varias partes. Una de las principales causas de accidentes es un sitio inseguro por una supervisión insuficiente y con una visualización deficiente [25]. Con el aumento de la visualización también mejora la comunicación a través de signos y etiquetas alrededor del puesto de trabajo, de manera que el trabajador puede recordar elementos como flujo de trabajo, objetivos de rendimiento, etc., incluyendo aspectos relacionados con la SST [22].

La gestión visual puede ampliarse a la seguridad mediante señales y tableros que muestran las tasas de accidentes en la obra, permitiendo la participación de todos los trabajadores en la identificación y solución de los problemas [22].

El Last Planner es una técnica cuyo objetivo es lograr un flujo de trabajo continuo y un aumento de la productividad [19]. Posee dos aspectos claves: el control de la producción unitaria y del flujo de trabajo, generando así una mejora del proceso constructivo. Se estructura en tres niveles (programación a largo plazo, a medio plazo y a corto plazo) y hace partícipes de la planificación a todos los agentes involucrados en su ejecución [19]. Vinculando el análisis de la SST en obra al Last Planner, se logran las siguientes mejoras [20]:

- Comprobar la disponibilidad de los elementos de seguridad en obra.
- Identificar los riesgos durante la planificación de la ejecución de los trabajos.
- Analizar el funcionamiento de la seguridad en el proyecto.

- Hacer partícipes a los trabajadores, involucrándolos en la seguridad.

Conceptos claves del Last Planner como el análisis de restricciones, la protección del flujo de trabajo o el análisis de los fallos de planificación pueden ser extendidos a la gestión de la SST [26].

### 3.3 Aplicación de BIM y Lean Construction a la Seguridad y Prevención en Edificación

Los métodos de trabajo en el sector están cambiando hacia técnicas más colaborativas [5]. Una vez se han analizado las diferentes aplicaciones tanto de BIM como de Lean Construction, se propone un flujo de trabajo de ambas metodologías que refuerce y mejore la Seguridad y Prevención. La presión actual de las empresas por mejorar su productividad, en busca de mejores resultados, está conllevando malas prácticas y un declive de la búsqueda de la seguridad de los trabajadores [27] et al, 2002, hecho que refleja el aumento de los accidentes en los últimos años. Tanto BIM como Lean buscan un aumento de la productividad a través de una mejora global de los procesos, buscando siempre una mejora continua. La confianza, el liderazgo, la comunicación efectiva y la colaboración entre las distintas personas, equipos y especialistas, son el factor clave de la metodología BIM, además de demostrar habilidad en el manejo de herramientas informáticas específicas de integración de la información BIM [5]. Además, Lean pone en el centro de esta mejora a las personas, ya que son el motor fundamental del cambio. Por ello, este cambio en los procesos y forma de trabajar, además de una búsqueda de mejora de la productividad, va tras la mejora de la seguridad y prevención de los trabajadores a pié de obra.

La Figura 3 refleja la propuesta de flujo de trabajo para la aplicación de BIM y Lean en la gestión de la SST. Se supone un contexto en el cual el sistema de contratación sea el sistema tradicional (Proyecto-Adjudicación-Ejecución), al ser el más extendido a día de hoy en nuestro país.

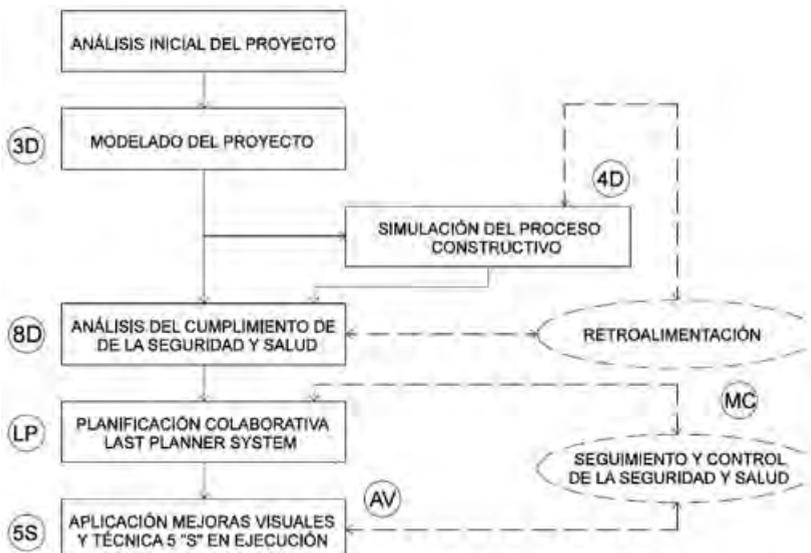


Figura 3: Flujo del proceso híbrido SST, BIM y LEAN. Elaboración propia.

Una vez se recibe el encargo, se realiza un análisis inicial del mismo para comprender sus características y necesidades. Conforme se tiene claro el diseño, se modela el edificio en un programa específico de modelado. Después de levantar el modelo, se realiza un análisis de las medidas preventivas necesarias para la ejecución de los trabajos, ayudándose de la visualización (3D) del modelo, de la comprobación automática mediante reglas en programas de revisión tipo Solibri, y de las simulaciones del proceso constructivo (4D) que se pueden realizar. Estas simulaciones pueden realizarse predeterminadas, o surgir tras analizar visualmente el modelo y no entender del todo bien el proceso constructivo, de manera que visualizar la secuencia lógica constructiva pueda ayudar a entender mejor el proceso y, por ende, las medidas preventivas a adoptar.

Una vez se tiene aprobado el proyecto y se procede a su ejecución, se adopta la técnica de Last Planner para realizar la planificación. Pero, además de realizar las labores de control inherentes a la técnica, se aplica un seguimiento y control de la seguridad, de forma que se realice un control de las necesidades, restricciones y estado de los trabajos tanto de ejecución del proyecto como de las medidas preventivas. Además, el uso del modelo BIM en estas reuniones es recomendable, ya que favorece una mejor comprensión del proceso constructivo. En la ejecución de los trabajos, se tendrán en cuenta técnicas como las 5<sup>”S”</sup>, así como un apoyo de señales que aumenten la visualización de los riesgos, y la colocación de un panel a la entrada de la obra donde figuren las estadísticas principales del seguimiento del LPS. En un contexto donde el nivel de subcontratación supera el 70% en el 61,84% de las empresas en las que trabajan los 542 encuestados [5], puede considerarse muy interesante la aplicación de LPS como manera de gestionar y mejorar la comunicación entre subcontratistas e industriales, permitiendo un seguimiento continuo de la SST durante todo el proyecto, de manera que se monitorice y busque una mejora continua (MC) del proceso.

#### 4. CONCLUSIONES

Los datos sobre índice de incidencia de accidentes laborales en los últimos años muestran la necesidad de un cambio en la manera en la que se afronta la SST en la construcción. Ésta se suma a la mejora de la productividad que debe afrontar el sector, y la búsqueda de ambos objetivos van encaminados hacia el uso de la metodología BIM bajo un enfoque de la filosofía Lean.

Durante el desarrollo del artículo, se han mostrado las potenciales mejoras que conlleva el uso de BIM y Lean Construction para la seguridad. Se ha desarrollado una propuesta (Figura 3). de un flujo de trabajo que combina ambos conceptos y que busca una mejora del análisis de las medidas preventivas necesarias en la ejecución de los trabajos, y que repercute en una mejora de la SST. Este flujo se ha desarrollado para el sistema tradicional (Proyecto-Adjudicación-Ejecución), pero se podría optimizar más si el proyecto se desarrolla bajo un sistema IPD (*Integrated Project Delivery*), donde todos los agentes intervinientes en el proceso comienzan a trabajar antes en el proyecto.

El uso de BIM y Lean de manera conjunta no solo produce un aumento en la productividad de los proyectos de construcción, sino que supone una mejora en la gestión de la SST. El empleo del 3D o 4D queda estrechamente relacionado con técnicas y principios Lean como potenciar la visualización o LPS. Todo ello repercute en un aumento de la calidad de la gestión de la SST, controlando mejor los riesgos laborales y generando un lugar de trabajo más seguro para los operarios y técnicos.

## 5. RECONOCIMIENTOS

Agradecer el apoyo facilitado por el Colegio Oficial de Aparejadores, Arquitectos Técnicos e Ingenieros de Edificación de Navarra, gracias al cual esta investigación ha sido llevada a cabo.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] M<sup>a</sup> Victoria de la Orden Rivera, “Informe anual de accidentes de trabajo en España 2016,” Madrid, 2017.
- [2] “Estadística de Accidentes de Trabajo: Datos avance Enero-Noviembre 2017,” Madrid, 2017.
- [3] Navarra.com, “CCOO alerta de que en Navarra sigue creciendo la siniestralidad laboral,” 2018. [Online]. Available: [http://www.navarra.ccoo.es/noticia:267918--CCOO\\_alerta\\_de\\_que\\_en\\_Navarra\\_sigue\\_creciendo\\_la\\_siniestralidad\\_laboral](http://www.navarra.ccoo.es/noticia:267918--CCOO_alerta_de_que_en_Navarra_sigue_creciendo_la_siniestralidad_laboral).
- [4] Prevencionar.com, “El sector agrario y la construcción son deficientes en el uso de equipos de seguridad,” 2017.
- [5] B. Sánchez, “Gestión de obras de edificación: un modelo para la integración de la gestión de proyecto mediante un enfoque de sistemas,” Universidad de Navarra, 2017.
- [6] Comisión para la implantación de la metodología BIM, “Hoja de ruta BIM España.” Comisión para la implantación de la metodología BIM, Madrid, 2015.
- [7] B. Sánchez, C. Sanz, and A. Latorre, *Dirección y gestión de proyectos de edificación: terminología internacional y su correspondencia con la normativa y legislación española*. 2017.
- [8] CIOB, *Code of practice for project management for construction and development*, 5th Ed. Chichester (UK): John Wiley & Sons., 2014.
- [9] R. J. González Marquez, F. Choclán Gámez, and M. Soler Severino, “Introducción a la metodología BIM,” 2014. [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/284159764\\_INTRODUCCION\\_A\\_LA\\_METODOLOGIA\\_BIM](https://www.researchgate.net/publication/284159764_INTRODUCCION_A_LA_METODOLOGIA_BIM).
- [10] A. Latorre, C. Sanz, B. Sánchez, and M. Vidaurre, “EQUIPARACIÓN DE LOD PARA SU APLICACIÓN EN EDIFICACIÓN EN ESPAÑA,” in *CONTART La convención de la Construcción*, 2016.
- [11] I. Y. S. Chan, H. Y. Leung, I. W. H. Fung, and M. Leung, “How can BIM support Construction Safety Management? Development of SIM,” *MATEC Web of Conferences*, vol. 66, p. 18, Jul. 2016, <https://doi.org/10.1051/mateconf/20166600018>.
- [12] Fundación Laboral de la Construcción, “Blog Metodología BIM-.” <http://blog.entornobim.org/>
- [13] J. A. Gambatese, M. Behm, and S. Rajendran, “Design’s role in construction accident causality and prevention: Perspectives from an expert panel,” *Safety Science*, vol. 46, no. 4, pp. 675–691, Apr. 2008, <https://doi.org/10.1016/J.SSCI.2007.06.010>.
- [14] I. Kamardeen, “8D BIM MODELLING TOOL FOR ACCIDENT PREVENTION THROUGH DESIGN,” pp. 6–8, 2010.
- [15] J. A. Gambatese, M. Behm, and J. W. Hinze, “Viability of Designing for Construction Worker Safety,” *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 131, no. 9, pp. 1029–1036, 2005, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2005\)131:9\(1029\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2005)131:9(1029)).
- [16] S. Zhang, J.-K. Lee, M. Venugopal, J. Teizer, and C. Eastman, “Integrating BIM and Safety: An Automated Rule-Based Checking System for Safety Planning and Simulation,” *Proceedings of CIB W99 Conference*, pp. 1–13, 2011.
- [17] S. Zhang, K. Sulankivi, M. Kiviniemi, I. Romo, C. M. Eastman, and J. Teizer, “BIM-based fall hazard identification and prevention in construction safety planning,” *Safety Science*, vol. 72, pp. 31–45, Feb. 2015, <https://doi.org/10.1016/J.SSCI.2014.08.001>.
- [18] K. Sulankivi, K. Kähkönen, T. Mäkelä, and M. Kiviniemi, “4D-BIM for Construction Safety Planning,” *Occupational Health*, no. April 2009, p. 117, 2010.

- [19] A. Latorre, “Filosofía Lean en la construcción.” UNIV. POL. DE VALÈNCIA, 25-May-2015.
- [20] S. Ghosh and D. Young-Corbett, “Intersection between Lean Construction and Safety Research: A Review of the Literature,” in *Proceedings of the 2009 Industrial Engineering Research Conference*, 2009.
- [21] R. Sacks, O. Rozenfeld, and Y. Rosenfeld, “LEAN SCHEDULING FOR SAFETY: DEVELOPMENT OF A TIME-DEPENDENT RISK LEVEL MODEL,” in *IGLC 13*, 2005.
- [22] A. Enshassi and M. A. Zaiter, “Implementation of lean tools on safety in construction projects in palestine,” *22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction: Understanding and Improving Project Based Production, IGLC 2014*, pp. 1205–1218, 2014.
- [23] O. Salem, J. Solomon, A. Genaidy, and I. Minkarah, “Lean Construction: From Theory to Implementation,” *Journal of Management in Engineering*, vol. 22, no. 4, pp. 168–175, Oct. 2006, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0742-597X\(2006\)22:4\(168\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0742-597X(2006)22:4(168)).
- [24] I. Nahmens and L. H. Ikuma, “An Empirical Examination of the Relationship between Lean Construction and Safety in the Industrialized Housing Industry,” *Lean Construction Journal*, pp. 1–12, 2009.
- [25] P. Shrestha, E. Yfantis, and K. Shrestha, “Construction Safety Visualization,” 2011.
- [26] T. A. Saurin, C. T. Formoso, and L. I. A. B. M. Guimarães, “Safety and production : an integrated planning and control model,” 2003, <https://doi.org/10.1080/0144619032000093305>.
- [27] P. Mitropoulos, “Workers at the edge; hazard recognition and action,” in *11th International Group for Lean Construction*, 2003.

## **PROYECTO DE FABRICACIÓN: LEAN-BIM DESDE EL ESTUDIO DE VIABILIDAD HASTA EL ACTA DE REPLANTEO**

SANTOS FONSECA, SALAZAR

*Grupo Lobe, Zaragoza, España*

*E-mail: salazarsantosfonseca@gmail.com, Web: <https://sites.google.com/site/encauzandoelaprendizaje/>*

**PALABRAS CLAVE:** BIM; Lean; Planificación; Contratación; Gestión de proyectos.

### **RESUMEN**

Tradicionalmente, el Proyecto de Ejecución (PE) es el único documento necesario para, desde la obtención de la licencia de construcción, iniciarse la ejecución de obras. Sin embargo, no se considera suficiente la información del PE para definir unos objetivos económicos, temporales y cualitativos para el proceso productivo. En general, la ausencia de unos objetivos claros y concisos nos llevan a una realidad en que se constatan desviaciones indeseadas de los objetivos al final de la ejecución del proyecto.

La gestión de la ejecución de obras de construcción suele estar protagonizada por el alto grado de variabilidad que están sometidos los procesos constructivos, dificultando el acoplamiento entre planificado y realizado, una vez que, en contextos de incertidumbre, se incrementa el riesgo de distanciamiento entre el resultado real y el planificado [1].

El objetivo del trabajo es presentar una metodología para la definición de un Proyecto de Fabricación (PF) que dé respuesta a los siguientes objetivos en los procesos constructivos: eliminar la improvisación, reducir la variabilidad e incrementar la productividad. Generando así, una base de información necesaria y suficiente para que el fulgo de los procesos constructivos propuestos se transforme en un guion inequívoco del desarrollo operacional de la producción.

La sinergia entre la filosofía “*Lean*” y la metodología “*Building Information Modeling*” (BIM) nos posibilita desarrollar una metodología que defina un PF. En el desarrollo de esta metodología se ha utilizado la filosofía “*Lean*” como un hilo conductor entre los distintos usos BIM que contempla el PF: modelo, auditoria, planificación y contratación. La metodología para desarrollar el PF fue definida en Grupo Lobe a través de la investigación en acción (“*Action Research*”) [2], simultaneidad de investigación aplicada y la resolución de un problema real, y viene alojando importantes mejoras en la gestión de los procesos productivos.

## 1. INTRODUCCIÓN

En una simplificación a las prácticas habituales del proceso de obtención de Licencia de Obra (LO), se puede describir que el desarrollo de una promoción inmobiliaria en España se suele iniciar a partir de una percepción intuitiva de las características del producto, y se sigue por una toma de decisión, tan importante como la viabilidad de la operación, basada en cálculos de rentabilidad estimados. Luego, la redacción del Proyecto de Ejecución (PE) se rige tan apenas por el cumplimiento de la normativa vigente para la obtención de una LO. Eso significa que el proyecto avanza las fases de desarrollo sin una debida orientación al control de su rentabilidad, en una flagrante dependencia de un mercado comprador.

La cultura que ha llevado el mercado inmobiliario a una de las más profundas crisis del sector en España, se ve en entredicho, y a la necesidad de una profunda transformación de su “modus operandi”, una vez que la reducción de demanda, ha cribado, sin entender de nombres y tradición, a los operadores, transformando la supervivencia en el principal objetivo de las empresas. La necesidad de orientar el desarrollo de las operaciones inmobiliarias a la rentabilidad pasa, obligatoriamente, por la necesidad de mejorar la productividad del sector, que por ende invita a repensar el proceso productivo como un todo. La quiebra de paradigmas no se puede entender tan apenas como una mejora de los procesos productivos, pero sí, en una nueva mentalidad para la redacción de los proyectos. Los nuevos proyectos deben reflejar de forma inequívoca los procesos constructivos componiendo un sistema constructivo integrado en el que se diseñe un flujo optimizado de entrada y uso de recursos.

La ejecución de proyectos de construcción siempre ha constituido un universo de gran interés para la investigación de herramientas de gestión que incrementen la productividad del trabajo, que históricamente suele ser muy baja en el sector, y sigue siendo un lastre para la optimización del uso de los recursos materiales y humanos. La tecnología disponible para el sector ha dado un salto importante en las prestaciones que aportan, pero nuevos desenvolvimientos aún constituyen un desafío para cohesionar los distintos procesos de todas las fases del proyecto de un producto inmobiliario.

El desarrollo de nuevas herramientas, informáticas y modelos de gestión, para el sector de la construcción ofrecen una oportunidad de mejora en la gestión de proyectos constructivos [3]. Eso es un aliciente para motivar el desarrollo de aplicaciones que automaticen los procesos de programación operativa y seguimiento de las actividades de producción en los proyectos constructivos. Incluso, se puede decir que es vital para las empresas constructoras asumir el reto de adaptarse a los constantes cambios tecnológicos para mantenerse competitivas [4]. Por otro lado, hoy en día, las principales causas de la baja permeabilidad de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) en el sector de la construcción aún son objeto de algunas investigaciones, [3]. Las herramientas disponibles para el sector

suelen presentar soluciones parciales de aplicación exclusiva a un proceso y no al conjunto del proyecto, siendo esta, la principal razón que se detecta una falta de integración en las herramientas de gestión existentes en las obras [5][6].

La metodología “*Buiding Information Modeling*” (BIM) y la filosofía “*Lean*”, que han sido desarrolladas de forma separadas, y se presentan, en la actualidad, como dos herramientas complementarias para lidiar con la complejidad del producto y del proceso en el sector inmobiliario. En investigaciones recientes se han identificado diversas interacciones únicas entre las funcionalidades del BIM y los procesos “*Lean*” [7]. La filosofía “*Lean*” también se complementa con el Sistema de Gestión Basado en la Localización (LBMS – “*Location-Based Management System*”) que es la última generación de la programación por áreas [8], y su énfasis general es la planificación de la productividad [9]. Sus implementaciones requieren cambios en las formas de trabajar, y eso es más difícil que simplemente implementar una nueva tecnología. Los cambios sustanciales exigen esfuerzos a largo plazo y un entorno de negocios y de trabajo estable.

Es fácilmente comprensible que el proceso decisorio requiere información completa, exacta y actualizada sobre el estado de ejecución de un proyecto. Cuando se toman decisiones sin basarse en la información adecuada, o sea, en contextos de incertidumbre, se incrementa el riesgo de distanciamiento entre el resultado obtenido, a partir de ellas, y el planificado [1]. Así que es fundamental establecer procedimientos de gestión para recoger los datos operativos y transformarlos en información de calidad como soporte a la toma de decisión.

El principal objetivo de esta comunicación es presentar el enfoque de la metodología GLOBE, que fue desarrollada de forma conjunta entre Grupo LOBE y su socio tecnológico en el proyecto, HIBERUS Tecnología, sobre los procesos “*Lean*” que desarrollan el Proyecto de Fabricación. En el marco de la metodología GLOBE, se ha desarrollado de forma conjunta una herramienta informática, HUBE, para facilitar la asociación y consulta de información sobre los modelos BIM y dotarlo de la suficiente transversalidad a través de las distintas áreas de conocimiento en una organización. El proyecto tuvo reconocido su carácter de investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) por el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI), una Entidad Pública Empresarial, dependiente del Ministerio de Economía, Industria y Competitividad de España, GLOBE es una metodología que aporta una nueva perspectiva sobre la interacción y responsabilidades de los actores involucrados en la ejecución completa de un proyecto inmobiliario. El desarrollo de GLOBE, está orientado a la transformación digital del sector de la construcción apoyándose en la filosofía “*Lean*” para incrementar los usos BIM. El desafío de la metodología/herramienta es posibilitar una mejora continua que permita que el éxito de un proyecto, que puede ser medido por el logro de sus objetivos económicos, temporales y cualitativos [10], se refleje también en la mejora relativa de estos indicadores de productividad y rentabilidad entre proyectos subsecuentes.

## 2. METODOLOGÍA GLOBE

Teniendo la industria de la automoción como ejemplo, la metodología GLOBE propone una gestión industrializada de los proyectos inmobiliarios a través de la incorporación de tecnología y una constante investigación para facilitar la adopción e integración de la filosofía “*Lean*” y usos BIM en los proyectos de productos inmobiliarios. Entre las principales

prácticas identificadas en la industria de la automoción que la metodología GLOBE busca trasladar al sector de la construcción están: la innovación como una estrategia organizacional; la definición del producto de forma digital con una evolución gradual desde su concepción hasta la postventa; un entorno colaborativo en la cadena de servicios y suministros basados en una estrategia relacional; la estandarización de procesos; la industrialización de procesos, la visión del proceso productivo basado en un flujo de consumo de recursos.

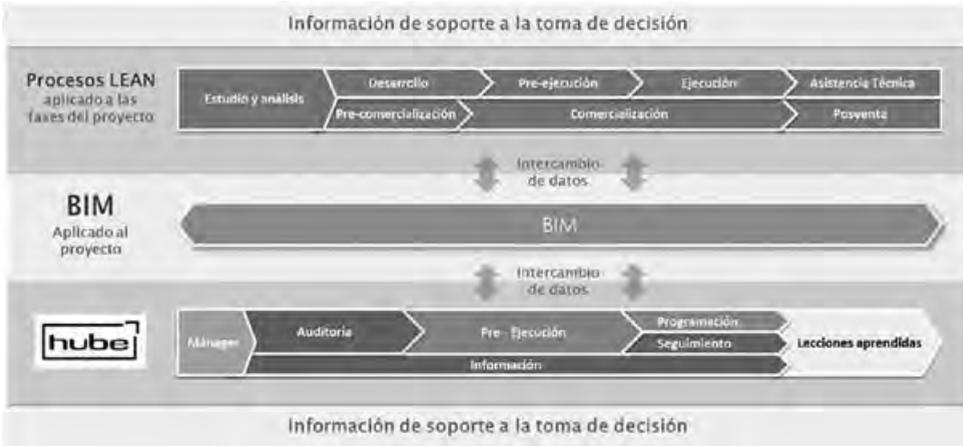


Figura 1: Metodología GLOBE, interacción de procesos con HUBE

La sinergia entre “Lean” y BIM, en la metodología GLOBE, se potencia con el desarrollo conjunto de la herramienta tecnológica que permite mejorar la interacción entre ambas y proporciona información de soporte a la toma de decisión. Se ha planteado el desarrollo propio de la herramienta de intercambio de datos (HUBE) para dar respuesta a la compleja interoperabilidad entre los distintos softwares comerciales utilizados con anterioridad, y que ninguno de ellos cubría de forma satisfactoria. Como resultado de esta interacción se define un flujo de intercambio de datos en cada fase del proyecto, definidos por procesos *Lean*”, sobre la base de datos de los modelos BIM a través de los módulos de la herramienta tecnológica, como representado en la figura 1.

La metodología GLOBE se apoya en tres pilares fundamentales: Sistema de codificación, modelo BIM, procesos “Lean”. La definición y desenvolvimiento conceptual de estos pilares son el resultado conjunto de la aplicación de la investigación en acción que es, en la práctica, la simultaneidad de la resolución del problema a la vez que se amplía el conocimiento científico, así como proporciona la mejora de las competencias de los actores involucrados. La vocación de Grupo LOBE y su orientación estratégica a la innovación han facilitado la implantación de la investigación en acción.

El sistema de codificación relaciona las actividades, los métodos y los recursos. La estructura del sistema de codificación permite una fácil adaptación de la estructura tradicional de las bases de datos existentes en España que relacionan los recursos a las unidades de obra (partidas). El nivel de Actividad define un conjunto de recursos humanos y materiales que son utilizados de forma simultánea en el tiempo. Los métodos constructivos están en un nivel intermedio, que funcionan como bisagras entre las actividades y los recursos, y son a la vez, el punto de conexión de los elementos del modelo BIM con la base de datos.

Los recursos humanos y materiales constituyen el nivel fundamental de los conceptos que la metodología GLOBE tiene como objetivo definir y optimizar su flujo en cada proyecto. A cada tipología de recurso se asigna un atributo para definir su tratamiento en la planificación, contratación y seguimiento.

En el marco de la metodología GLOBE, la herramienta HUBE posee un módulo de base de datos que gestiona los tres niveles de la codificación, Actividades, Métodos y Recursos a través de una estructura relacional entre estos conceptos definiendo tres tipos de rendimientos. Los rendimientos de consumo permiten establecer la cantidad necesaria del recurso para la ejecución de las actividades de los procesos constructivos, los rendimientos de producción posibilitan determinar la duración de una actividad en función de los equipos de ejecución asociados, y los rendimientos de asociación permiten distribuir el recurso de un método para su uso en una, o más actividades.

La filosofía “*Lean*” se aplica al diseño de los procesos que determinan el justo momento en que los interesados en el proyecto interactúan unos con los otros a través de los procesos y define el soporte, o en su caso el módulo específico, en que se establece la interacción. El principal objetivo es generar un flujo de trabajo continuo y complementario en que no exista la duplicidad de tareas, o la generación de una misma información en distintos procesos de diferentes áreas, y sí que la información sea reaprovechada. Apoyado en una base de datos codificada y centralizada, pensada con el concepto de dato único, se definen las responsabilidades sobre cada dato evitando incoherencia en origen (su obtención), o uso (consulta de información). La filosofía “*Lean*” también se aplica con la utilización de conceptos del Sistema del Último Planificador (“*Last Planner System – LPS*”) y de la Gestión Integrada del Proyecto (“*Integrated Project Delivery– IPD*”), ambos formulados en el marco de la Construcción Sin Perdidas (“*Lean Construction*”).

Se considera la incorporación de las nuevas herramientas BIM como el catalizador de una oportunidad para revolucionar los procesos tradicionales de manejo de la información en el sector de la construcción por aportar la transversalidad necesaria para cohesionar el desarrollo de proyectos inmobiliarios. La utilización del BIM abre nuevos canales para la colaboración en el desarrollo de los proyectos y para la propagación e integración de su contenido, además de abrir una importante ventana a la transformación digital de la gestión de los procesos en el sector inmobiliario. La metodología GLOBE define grados de evolución del modelado y los usos BIM aplicados a cada fase de desarrollo del Proyecto de un Producto Inmobiliario para ajustar la carga de trabajo a la necesidad de información. Se definen unos conceptos propios de la metodología GLOBE para los elementos del modelo BIM que posibiliten las necesarias interacciones con los procesos y la diferenciación del modelo en cada fase en cuanto a su: codificación, zonificación, y dimensión de los elementos.

Previamente al inicio de la elaboración de un modelo, se define una biblioteca de familias de tipos de elementos con una codificación referente al método constructivo asociado, que previamente han sido testeados en la herramienta HUBE para que, al ser incorporado al modelo, luego sea seleccionable y devuelva correctamente la cantidad según su unidad de medición cuando manejado por la herramienta HUBE en cada uno de sus módulos. Cada elemento del modelo debe, según el grado de definición exigido para la fase de la metodología, poseer unos atributos, o unas características geométricas compatibles con el uso que se dará al modelo. En cuanto a los atributos, cuando el grado de definición del modelo se lo requiera, a cada elemento utilizado en el modelo se le asocian los atributos de zonificación e identificación.

### 3. FASES METODOLOGÍA GLOBE

Las fases de la metodología GLOBE son las mismas que se suelen ejecutar, de forma generalizada en los Proyectos Inmobiliarios en España. Sin embargo, la aportación de GLOBE está en el despliegue de un flujo de procesos optimizados, pensados de forma “*Lean*”, que aportan información para la toma de decisión. Estos procesos están diseñados para generar un flujo de trabajo para que cada uno de los actores reciba una información suficiente para realizar su labor, y luego, facilitar al responsable del proceso subsecuente la documentación de entrada necesaria para en un flujo ordenado hasta la toma de decisión final.

#### 3.1 Estudio y análisis

Esta fase tiene su inicio a partir de la identificación de un terreno, que consiste en una oportunidad para el desarrollo de un Proyecto Inmobiliario. El flujo principal de la información de la fase reside en los procesos: Estudio de Mercado; Planificación global de procesos; Definición del valor del producto; Diseño Volumétrico; Estudio de Viabilidad; Opción de compra; Pre-comercialización; Adquisición Terreno.

En la fase de Estudio y análisis cabe destacar dos procesos, entre los que componen esta fase, en la metodología GLOBE: Definición del valor del producto y Diseño Volumétrico. El proceso, Definición del valor del producto, comprende la identificación de los atributos que definen la identidad del producto, que aporta, a su fase de desarrollo, criterios claros para la toma de decisiones en cuanto al equilibrio entre coste y prestaciones. En Grupo LOBE la identidad de cada producto se basa en niveles de aplicación de conceptos como: bajo consumo energético, belleza arquitectónica, estandarización, industrialización y personalización. El Diseño Volumétrico es el proceso por el cual se plantea la definición del ante-proyecto en un entorno BIM, que consiste en un modelo desarrollado con un uso BIM similar al uso de arquitectura. Los elementos del modelo poseen una codificación propia para, en esta fase, disponer de la cuantificación de los recursos humanos y materiales necesarios para la fabricación del producto. Un modelo sencillo, no apto para la fase de Fabricación, pero que la codificación, asociada a los elementos, representa la agrupación de varios métodos constructivos que están desglosados por todos los recursos que lo componen, definiendo el coste de ejecución del proyecto. Este coste objetivo alimenta el proceso de Estudio de viabilidad, y siendo este viable, el coste se transforma en el referente para el desarrollo del proyecto de fabricación.

#### 3.2 Proyecto Fabricación

El proyecto de fabricación engloba lo que sería, en un sistema tradicional, las fases de desarrollo del proyecto de ejecución, de obtención de licencias, de logística de inicio, hasta el Acta de replanteo y de comienzo de obras. La metodología GLOBE propone los siguientes procesos como ruta principal para la fase: Definición del Pliego de prescripciones; Proyecto Básico; Pre-contratación; Proyectos de Área; Proyecto Ejecución; Auditoria Modelo; Genera Base Datos Proyecto; Auditoria Base Datos Proyecto; Planificación; Contratación

En fase de Proyecto de Fabricación se plantea el desarrollo de un guion inequívoco del proceso constructivo para que en la fabricación del producto se genere las mínimas indefiniciones, disminuyendo la improvisación y reduciendo al máximo la variabilidad en una

concepción de proyectar como se construye para construir como se proyecta. La vinculación del modelo BIM con la base de datos codificada es fundamental para la obtención de un guion claro y concreto de los procesos productivos, y que permite la identificación de las actividades que deben ser realizadas y el flujo de recursos humanos y materiales asociado.

Para el modelo BIM que se desarrolla en la fase, Proyecto de Fabricación, se define una codificación, una zonificación, y unas características propias de dimensión de los elementos. En cada proceso, del Proyecto de Fabricación, la codificación asociada a los elementos posibilita el acceso instantáneo sobre la información de la cuantificación y coste de los recursos necesarios y las actividades relacionadas. Con la evolución del proyecto, sea en la fase de Proyecto de Fabricación, o en la fase de Fabricación, el desarrollo de procesos externos asocia, gradualmente, más información a los elementos del modelo BIM. Esa nueva información asociada permite, por ejemplo, conocer en relación a los recursos humanos y materiales su disponibilidad para el uso, si el recurso está: ofertado, contratado, suministrado o consumido, y en cuanto a las actividades sobre su estado: planificado, estimado, programado y ejecutado. El proceso de interacción de la evolución del proyecto con el modelo BIM a través de la utilización de los módulos de la herramienta HUBE es constante e incremental devolviendo cada vez más información disponible para consulta en tiempo real para una toma de decisión más juiciosa.

Los módulos de la herramienta HUBE disponibles en la fase del Proyecto de Fabricación son el de Gestión de la Base de Datos Global, Información, Auditoría, Presupuesto, Planificación y Contratación. Los módulos de Auditoría e Información son los que se utilizan en el desarrollo del modelo BIM. En el desarrollo del modelo BIM se aplican conceptos de la Gestión Integrada de Proyectos, tanto en lo que se refiere al desarrollo simultáneo de las distintas disciplinas como en la forma de trabajo en un espacio diáfano en que los proyectistas de una disciplina pueden solucionar incidencias detectadas por los de otra al instante, en lo que sería una aproximación al concepto de “*Big Room*” (espacio de trabajo compartido multidisciplinar). En grupo LOBE, esta posibilidad de compartir el espacio de trabajo entre las disciplinas del proyecto a ser modelado se extiende a otros perfiles como pueden ser los responsables por la fabricación y/o por la comercialización, ya que en Grupo LOBE el modelo de negocio asume todas las fases de desarrollo del proyecto de un producto inmobiliario.

El modelo de negocio propuesto por Grupo LOBE, y su orientación a un modelo de fabricación inspirado en la industria de la automoción demanda nuevos perfiles profesionales para el sector de la construcción. La metodología GLOBE, en la fase de Proyecto de Fabricación, define una visión del proyecto, que configuran unas competencias profesionales distintas de los proyectistas actuales. Este nuevo perfil profesional sería de un proyectista multidisciplinar, preparado para desarrollar cualquier disciplina en BIM, y además con una clara orientación en relación a la repercusión de las soluciones constructivas en cuanto al coste, la estandarización y la industrialización. Un profesional preparado para tomar decisiones en relación a las distintas soluciones constructivas con respecto a los valores definidos para el proyecto, y hay que buscar el equilibrio también con el cumplimiento del coste objetivo definido en la fase de Estudio de Viabilidad, en un continuo compromiso de trabajar con una perspectiva de 360°. Sobre el modelo BIM auditado se realiza la planificación y la contratación para finalizar la fase de Proyecto de Fabricación.

Una vez se dispone del modelo, se realiza una auditoría que tiene como objetivos principales la comprobación de la correcta asignación de la codificación, zonificación, identi-

ficación en su caso e las características geométricas de sus elementos. Al final del proceso de auditoria se genera de forma automática la versión estática del presupuesto. Sobre esta primera versión del presupuesto se ajustan los rendimientos de consumos propios del proyecto y se comprueba la coherencia del presupuesto en relación a las perspectivas de gestión por actividades, métodos y recursos. A la primera versión del presupuesto estático falta incorporar la dimensión del tiempo para la cuantificación de los recursos alquilados, y así determinar el presupuesto base de contratación.

HUBE posee un módulo de planificación con el cuál es posible generar dependencias entre las actividades definidas sobre cada elemento del modelo, y sobre esta secuencia de ejecución obtener fechas planificadas de inicio y fin de cada actividad a través de la asignación de recursos humanos para su ejecución. La planificación resultante define, la secuencia de ejecución de cada actividad por cada una de las zonas definidas por la zonificación de los elementos del modelo, obteniendo así el flujo de recursos necesarios para la ejecución del proyecto tanto en cantidad como en localización de aplicación generando la necesidad de aprovisionamiento.

Sobre la información resultante de la planificación se realiza la contratación, y con eso, se genera el presupuesto base para la fabricación del producto inmobiliario. El módulo de contratación de HUBE permite la contratación sobre el modelo que se puede visualizar cada uno de los objetos en que se necesitan el recurso objeto de la contratación. En la figura 2 se puede visualizar la aplicación de la metodología GLOBE, con la interacción de las distintas fases del modelo, los procesos y los módulos de la herramienta HUBE. Como último proceso de la fase del Proyecto de Fabricación, se procede a la congelación del modelo BIM y presupuesto que se transforman en la entrada de la fase siguiente, la de Fabricación.

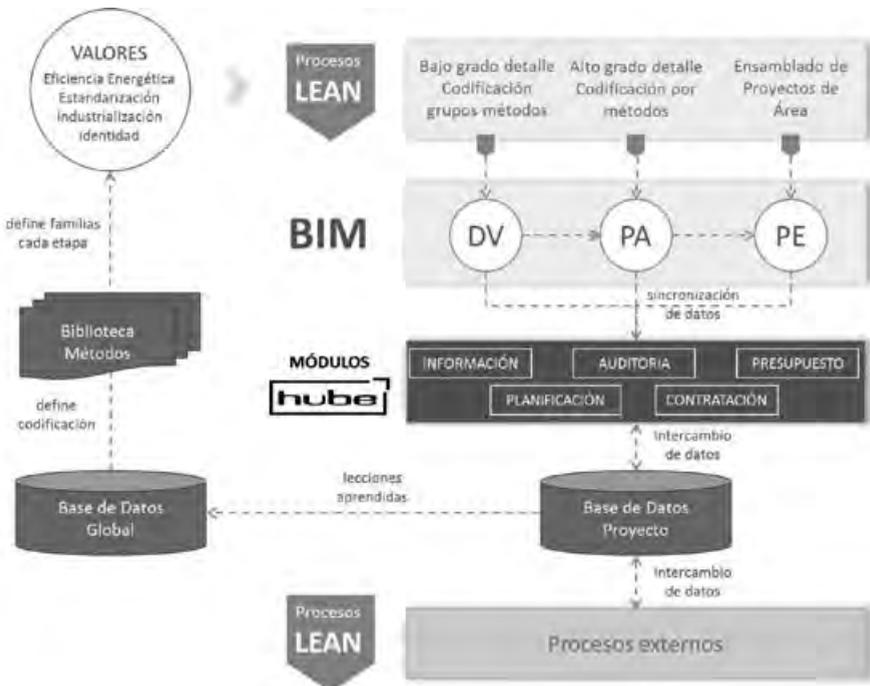


Figura 2: Metodología GLOBE, esquema del flujo de información.

### 3.3 Fabricación

Esta fase tiene su inicio a partir de la finalización del Proyecto de Fabricación, siendo el Acta de replanteo y comienzo de obra la frontera entre las dos fases. El flujo principal de la información de la fase reside en los procesos: Programación Semanal y Seguimiento Semanal.

La fase de Fabricación no es el objetivo de esta comunicación, pero se considera necesario matizar algunos puntos importantes de la fase. La metodología GLOBE introduce una importante quiebra de paradigmas:

- El centro de trabajo da lugar a un centro de producción,
- El foco se traslada de los objetivos de certificación por la estabilidad del flujo de recursos,
- El resultado de la fabricación en función de la optimización del consumo de recursos.

### 3.4 Comercialización

Esta fase tiene su inicio en la fase del Estudio de Viabilidad y sigue hasta la postventa. El flujo principal de la información de la fase reside en los procesos: Pre-comercialización, Comercialización, Firma de contratos, Paquetes de personalización y Satisfacción del cliente.

La fase de Comercialización no es el objetivo de esta comunicación, pero se considera necesario identificar los dos puntos que el proceso de comercialización interactúa con las demás fases de la metodología. La pre-comercialización que es vital para la toma de decisión sobre la consecución del proyecto, y la transferencia hacia el modelo BIM de las elecciones personalizadas en el proceso de Paquetes de Personalización.

## 4. CONCLUSIONES

Grupo LOBE ha necesitado formar, tanto a los técnicos antiguos, como a los de nueva incorporación, para alinear sus competencias a las necesarias para llevar a cabo los nuevos procesos. La aplicación de la metodología GLOBE, en la fase del Proyecto de Fabricación: ha generado un entorno colaborativo, fomentado la integración de los profesionales, estandarizado la terminología y las prácticas empresariales y ha logrado buenos grados de estandarización de las soluciones constructivas, disminuyendo el tiempo de redacción de los proyectos y facilitando los procesos de planificación y contratación. La metodología ha supuesto un cambio en la organización hacia una mejora de la productividad e industrialización de los procesos de construcción en el que la incorporación de nueva tecnología ha sido una transformación menor frente a la producida en la estructura empresarial.

En la metodología GLOBE, el principal cometido de la fase del Proyecto de Fabricación es eliminar la improvisación, reducir la variabilidad e incrementar la productividad de la fase de Fabricación, así que la confirmación de estas bondades serán objeto de análisis en otra comunicación que se abordará en profundidad la fase de Fabricación.

El proceso de desarrollo de una nueva metodología en el sector de la construcción debe ser abordado desde las propias empresas, con implicación y liderazgo de alta dirección, para alinear los beneficios de la metodología a su estrategia empresarial.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS (Y CITAS EN EL TEXTO)

- [1] Alarcón, L.F. (2014). “*Using Last Planner Indicators to Identify Early signs of Project Performance*”. Proceedings IGLC-22, Oslo, Norway.
- [2] Azhar, S., Ahmad, I., Sein, M. (2010). “*Action Research as a Proactive Research Method for Construction Engineering and Management*.” Journal of Construction Engineering and Management, 136, Special Issue: Research Methodologies in Construction Engineering and Management, 87–98.
- [3] Hosseini, M.R., Chileshe, N., Zuo, J. and Baroudi, B. (2012). “*Approaches for implementing ICT technologies within construction industry*.” Australian Journal of Construction Economics and Building, Conference Series, 1(2) 1-12.
- [4] Vicedo, J.C., Pérez, A.H. (2003), Esteban, F.C.L. 2003. “Análisis de adaptación al sector de la construcción de estructuras organizativas y de producción existentes en el sector automóvil.” V Congreso de Ingeniería de Organización, Valladolid, Burgos.
- [5] Botta-Genoulaz, V., Millet, P.A. (2006). An investigation into the use of erp systems in the service sector. International Journal of Production Economics, 99, 202-21.
- [6] Pellicer, E., Pellicer, T.M., Catalá, J. (2009). “An integrated control system for SMEs in the construction industry”. Revista de la Construcción, 8(2), 4-17
- [7] Sacks, Rafael, Milan Radosavljevic and Ronen Barak (2010). “*Requirements for building information modeling based lean production management systems for construction*.” Automation in Construction 19(5): 641-655.
- [8] Seppänen, O. (2014). “*A Comparison of taky time and LBMS planning methods*.” Proceedings IGLC-22, Oslo, Norway.
- [9] Shankar, A., Varghese, K. (2013). “*Evaluation of location based management system in the construction of power transmission and distribution projects*.” Indian Institute of Technology, Madras, Chennai, India.
- [10] Pellicer, E., Sanz, M.A., Catalá, J. (2004). “El proceso proyecto-construcción” (*The infrastructure life cycle*). Universidad Politécnica de Valencia (ISBN-84-9705-533-0), 486 pp.

**NUEVAS TECNOLOGÍAS APLICADAS A LAS CAMPAÑAS DE  
RECONOCIMIENTO GEOTÉCNICO: APP GEONES COMO  
HERRAMIENTA PARA LA IMPLANTACIÓN DE UNA NUEVA  
METODOLOGÍA DE TRABAJO**

NESPEREIRA JATO, JOSÉ

*Escuela Politécnica Superior de Zamora-Universidad de Salamanca, Zamora, España*

*E-mail: jnj@usal.es, Web: <http://diarium.usal.es/jnj/>*

**PALABRAS CLAVE:** geotecnia, reconocimientos de campo, aplicaciones para móviles.

**RESUMEN**

La tecnología que hoy en día incorpora prácticamente cualquier *smartphone* o tableta permite realizar tareas muy diversas. Sin embargo, aunque el campo del desarrollo de las aplicaciones móviles no es nuevo, hasta la fecha no se ha desarrollado herramienta alguna orientada hacia el campo de los reconocimientos del terreno. Este trabajo propone la implantación de una nueva metodología para esta área de trabajo, basada en el uso de las nuevas tecnologías. La herramienta App Geones sirve de ejemplo para presentar una sistemática nueva, que permite la toma de datos directamente a través de un dispositivo electrónico y permite el acceso a la información por parte del cliente prácticamente en tiempo real. A través de tres módulos centrados en cada una de las pruebas de reconocimiento más recurrentes en los estudios geotécnicos, penetraciones dinámicas, sondeos y calicatas, se dejan atrás los registros en papel y un importante tiempo de edición y maquetación en oficina, ofreciendo innumerables ventajas que, directa o indirectamente, afectan a todos los agentes que intervienen en el proceso del proyecto y construcción: seguimiento prácticamente en tiempo real de los trabajos de campo, reducción de tiempos en la emisión de informes,

aumento en la productividad del personal encargado de la supervisión, reducción de las fuentes de errores y aumento del grado de confianza de los clientes.

Pese a las buenas perspectivas e indiscutibles ventajas, la implantación de este tipo de metodologías debe vencer todavía las reticencias a los importantes cambios que conlleva el paso de abandonar el papel.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las campañas de reconocimiento del terreno comprenden una serie de actividades que se enmarcan mayoritariamente dentro de los trabajos de redacción de proyectos, y son básicas para la elaboración de estudios geotécnicos (EG) o anejos de geotecnia. Con ellas se caracteriza cualitativa y cuantitativamente las características del terreno en la zona de actuación, permitiendo con ello el análisis y dimensionamiento posterior de los cimientos, taludes o estructuras de contención que sean precisas.

Desde la entrada en vigor del CTE [1], en el marco de la edificación estas campañas cuentan con un marco normativo que actúa como guía, dando los criterios para establecer el número de reconocimientos puntuales necesarios y las tipologías de los mismos, que según el Anejo C del Documento Básico Seguridad Estructural-Cimientos del CTE (op.cit.) podrán ser calicatas, sondeos mecánicos, pruebas continuas de penetración y pruebas geofísicas. Entre ellas, las tres primeras son las más recurrentes en los EG, quedando la geofísica como complemento en obras que involucren una gran superficie de terreno.

Como se ha indicado, las soluciones de cimentación de un edificio vienen impuestas por los resultados de estas campañas, que además por sí mismas conforman una parte esencial del propio EG [2]. Para asegurar un desarrollo controlado y de calidad, es necesario que un técnico competente haga un seguimiento in situ de las actividades, recopile la información que se va generando y, cuando sea necesario, tome las decisiones oportunas para que la campaña se adapte siempre a la normativa vigente aun cuando el terreno no sea el previsto en el diseño inicial. En una actividad que comprende indirectamente además otras muchas actividades -gestión de permisos, control de equipos de trabajo, localización de servicios afectados y otras tareas logísticas varias -, cualquier ayuda que repercuta en la mejora de la productividad del técnico y que le facilite su trabajo debe ser bienvenida. Pero, además, dado que al reconocimiento de campo le sucede en el tiempo la fase de experimentación en laboratorio, y teniendo en cuenta que para definir ésta correctamente es indispensable contar con información de la primera, se puede afirmar que el trabajo de campo constituye por sí mismo una actividad crítica en el desarrollo de un proyecto y, por lo tanto, toda mejora en su gestión repercutirá positivamente en todas las etapas posteriores.

La metodología habitual de trabajo consiste en registrar toda la información en papel y trasladarla posteriormente a la oficina, en donde el mismo técnico - en el mejor de los casos, con la ayuda de otro- se encarga de su digitalización y posterior tratamiento para la generación de los informes pertinentes. Este proceder, sorprendentemente el más extendido a día de hoy en la mayor parte de las empresas que ofrecen este tipo de servicios, genera inconvenientes que afectan a los distintos actores del proceso: el técnico de campo, generalmente inexperto, que no domina la normativa de descripción geotécnica y que toma notas en condiciones de trabajo difíciles (con frío o calor, lluvia, escribiendo de pie,...) que distan mucho de ser las adecuadas para un registro manual legible; el delineante, que trata de transcribir los registros con la dificultad añadida de no contar con los conocimien-

tos técnicos precisos que le faciliten su tarea; el técnico redactor del estudio, que tarda en disponer de la información necesaria para comenzar su análisis de caracterización y diseño geotécnico;...y finalmente el receptor del informe, que ve como el tiempo transcurre sin tener reporte alguno de lo que sucede en la campaña.

En este artículo se propone una metodología de trabajo distinta, más ágil y cómoda, basada en la aplicación de un programa específico para dispositivos móviles – *smartphones* o tabletas- que, integrando todos los registros de campo, facilite la toma de datos y el almacenamiento de la información generada, permita el seguimiento continuo desde cualquier lugar de los reconocimientos y, además, agilice el volcado de todo ello en formatos adaptables a los EG.

## **2. LAS APLICACIONES PARA DISPOSITIVOS MÓVILES Y SU RELACIÓN CON EL RECONOCIMIENTO DEL TERRENO**

En el año 2007 tuvieron lugar dos acontecimientos clave para entender este trabajo. Por un lado, todas las disposiciones normativas del CTE pasan a ser de obligado cumplimiento, aportando luz y guía al proceso de elaboración y redacción de los estudios geotécnicos. Por otro, y casi al mismo tiempo, comenzaba una de las mayores revoluciones tecnológicas recientes con la presentación de los primeros modelos de *smartphones* orientados al consumo masivo. Curiosamente, esta revolución se materializa en un instrumento o herramienta ya existente, el teléfono, cuyo uso básico inicial, la telefonía, poco a poco ha ido quedando relegado a un segundo plano, dando paso a otras posibilidades derivadas de la tecnología que incorpora. La sociedad acoge desde entonces con entusiasmo este dispositivo, al que se le sumó pocos años después la tablet, estando ambos hoy en día muy extendidos en todas las capas de la sociedad.

Estas dos herramientas incorporan numerosas tecnologías, como acelerómetros, GPS, brújula, cámaras digitales de alta resolución, ... que permiten que los usos que puedan dárseles sean prácticamente ilimitados; a partir de ello, surgió una rama de la programación informática que se orientó hacia el diseño de pequeños programas – aplicaciones- que en mayor o menor medida y con fines diversos, se aprovechan de esta tecnología. Hoy en día, la lista de aplicaciones es muy extensa, pero en opinión de muchos, no ha hecho nada más que comenzar a crecer.

Si bien es cierto que todavía hoy a estos dispositivos se les da un uso preferentemente relacionado con el ocio, poco a poco comienzan a incorporarse a actividades de producción de diversos sectores.

Tomando como partida el trabajo de Djuric *et al* [3] sobre aplicaciones relacionadas con la geología aplicada, la geotecnia o la testificación, la fotografía actualizada de este nicho de programación indica que las aplicaciones existentes tratan de solventar problemas particulares -toma de imágenes, identificación de puntos, visualización de textos, asignación de parámetros geotécnicos...- pero ninguna resuelve en conjunto la problemática de las campañas de reconocimiento geotécnico en campo, circunstancia ésta que les resta operatividad.

### 3. LA SUPERVISIÓN DE LAS CAMPAÑAS DE ESTUDIOS GEOTÉCNICOS

Hasta la fecha, las campañas de reconocimiento geotécnico son supervisadas por un técnico competente en la materia, que se encarga de guiar y asegurar el cumplimiento de la propuesta de reconocimientos. Este trabajo comienza con el replanteo en la obra o parcela a reconocer de los puntos de investigación, para posteriormente efectuar un seguimiento y toma de registros de las calicatas y/o sondeos a realizar.

El equipamiento básico que se necesita es relativamente amplio: registros en formato papel para ser cumplimentados durante las pruebas, bolígrafos, cámara fotográfica, un teléfono, GPS, planos, martillo, penetrómetro de bolsillo, bote de ácido clorhídrico diluido, brújula, ... De entre todas ellas, las cinco primeras tienen en común que se les da un uso prácticamente constante, generando una cierta incomodidad, y más si se tiene en cuenta su entorno de trabajo: a la intemperie y escribiendo de pie.

El objetivo de este trabajo es presentar una nueva metodología de trabajo en los reconocimientos de campo que se sirva de la tecnología disponible para cualquier técnico gracias a su terminal móvil, y que permita optimizar las labores que realiza. En concreto, lo que se busca con este primer prototipo es que la herramienta registre, almacene y transmita datos de campo de diversos tipos (numéricos, fotográficos, geolocalización...), y que permita su volcado posterior a informes técnicos de una manera prácticamente inmediata. Pues bien, los dispositivos, que aúnan ya de entrada la cámara fotográfica, el GPS, el teléfono y la brújula, son herramientas básicas para simplificar todo el equipamiento del técnico. Y, además, con una programación específica, pueden incorporar también los registros, facilitando su cumplimentación, haciendo más cómodo el trabajo, auxiliándole en los criterios técnicos y, no menos importante, simplificando las posteriores labores de edición.

Como se ha indicado anteriormente, en general son tres las pruebas de reconociendo en las que se apoyan los estudios geotécnicos: sondeos, calicatas y penetraciones dinámicas. A continuación, y comenzando por esta última ya que resulta la más simple, se expone la información que debe recogerse de cada una de ellas.

#### 3.1 Penetraciones dinámicas

Una prueba de penetración dinámica consiste en la hinca continua mediante percusión de un varillaje normalizado en un punto del terreno, de tal manera que se va recogiendo a intervalos continuos y de una determinada longitud –generalmente 20 cm– los golpes necesarios para ir profundizando. El encargado de realizar la prueba debe registrar para cada intervalo el número de golpes invertido, finalizando la misma cuando se alcanzan los 100 golpes sin que se hayan atravesado los 20 cm correspondientes al tramo en cuestión. En esta prueba un operario anota en un estadillo la relación entre un golpeo y la profundidad, siendo recomendable acompañar estos datos con una imagen fotográfica con la máquina emplazada en el punto de ensayo (Figura 1). Actualmente, el estadillo se toma en formato papel, y se traslada a la oficina al finalizar el trabajo de campo, en donde se pasa a un formato digital, a la vez que se vuelcan las imágenes tomadas y se identifican, tarea ésta que sólo puede realizar el técnico que ha estado en campo.



Figura 1. Equipo de penetración dinámica emplazado para la realización de una prueba.



Figura 2. Retroexcavadora durante la excavación de una calicata.

### 3.2 Sondeos

De los tres tipos de reconocimientos, los sondeos son los que ofrece una mayor cantidad de información, además de ser imprescindibles para poder tomar muestras inalteradas con las que poder realizar posteriormente ensayos en laboratorio. Durante su ejecución deben contar con una supervisión adecuada, especialmente necesaria cuando surgen imprevistos asociados a la aparición de un terreno de naturaleza diferente a la esperada y que conlleve la necesidad de adaptar el plan de reconocimientos previo.

Además de verificar el cumplimiento del programa previsto (pruebas in situ, recogida de muestras, utilización de material en perfecto estado...) el supervisor debe describir el terreno perforado. Para ello emplea estadillos que suelen contar con una escala vertical como única ayuda. Como se ha indicado, esta labor se debe realizar a pie de obra, y muchas veces recae en profesionales junior que todavía no están suficientemente familiarizados con la normativa a emplear. Hay que tener en cuenta que las descripciones geotécnicas persiguen unos objetivos muy claros, y requieren de estimaciones cuantitativas a partir de términos cualitativos, que no deben adornarse con otras terminologías no contempladas en la normativa. En España, esta norma es la UNE-EN-ISO 14688-1[4], que delimita perfectamente no sólo la información necesaria, sino el modo de exponerla para que su correcta interpretación. Además, el supervisor debe registrar fotográficamente las cajas de sondeos (entre 3 y 4 cajas para un sondeo de 10 m de profundidad).

La delegación generalizada de estas tareas en los técnicos más noveles merece una reflexión aparte, teniendo en cuenta que es el perfil del terreno que se describe en campo el que establece el modelo físico a partir del cual se plantearán soluciones de cimentación, estructuras de contención... Este modelo es considerado como uno de los tres vértices del triángulo geotécnico [5], y su importancia es tal que según el mismo autor nueve de cada diez soluciones de diseño se pueden tomar a partir de un buen modelo...del mismo modo que nueve de cada diez fallos van unidos a un mal conocimiento del mismo. También las normativas empleadas en el ámbito de la geotecnia resaltan la importancia de una buena descripción del terreno, pero, por el contrario, y pese a existir en España norma al respecto, no se especifica ni en el citado documento ni en el CTE; más curioso si cabe es este último caso, en el que sí se aporta un abundante listado de normas de ensayos geotécnicos, pero no hay rastro de la dedicada a las descripciones.

De este modo, durante la campaña de un estudio geotécnico, el supervisor va acumulando registros de sondeos distintos, así como sus fotografías, y esta información no abandona su carpeta de trabajo de campo o la memoria de su cámara hasta que puede llegar a la oficina, que, por otro lado, puede y suele estar alejada de la zona de trabajo. Se introduce así un primer retardo entre el acceso a la información que proporciona el sondeo y la transmisión de ésta tanto al técnico que redactará el informe, como a quien lo encarga. Ya en la oficina, el técnico generalmente o bien fotocopia o bien entrega la información en papel, y descarga los archivos digitales en un ordenador. En ese momento, los registros deben mecanografiarse para ser incorporados a los modelos de salida estándar que cada empresa tiene. Muchas veces esta tarea la realiza un delineante que no tiene conocimientos técnicos en geotecnia, lo que hace que la falta de legibilidad de los documentos escritos in situ retrase enormemente esta tarea. Respecto a los archivos fotográficos, lo habitual es que cuando se descargan en un ordenador, aparezcan por defecto identificados con una clave de números y letras, de tal modo que sólo el propio supervisor sabe exactamente a qué corresponde cada una de ellas – nombre del sondeo, caja del sondeo, etc.- y, por lo tanto, es él quien se ve en la obligación de dedicar parte de su tiempo a identificarlas. Ya con esta tarea resulta, hay que insertar las imágenes en una plantilla –generalmente realizada con un procesador de textos -, a partir de la cual ya se podrá generar el anejo fotográfico correspondiente.

### 3.3 Calicatas

Las calicatas son pequeñas zanjas de planta rectangular (aproximadamente 2,00 m x 0,40 m) y que pueden alcanzar hasta los cuatro metros de profundidad, siempre que el terreno y la capacidad de la retroexcavadora con la que se suelen efectuar así lo permitan (Figura 2). Durante su ejecución es necesaria la presencia de un técnico especialista que registre y describa el tipo de terreno, tome muestras y analice la estabilidad y excavabilidad. De todo ello debe quedar constancia gráfica a través de imágenes que se incorporan posteriormente en los informes o anejos de los proyectos.

## 4. NUEVA METODOLOGÍA DE TRABAJO: APP GEONES

A partir de la necesidad de mejora del proceso anteriormente descrito, se ideó un nuevo método de trabajo basado en las ventajas derivadas del uso de los dispositivos móviles, hoy en día en manos de cualquiera de los actores que intervienen en las campañas de reconocimiento. Está basado en una aplicación, App Geones, que cubre las necesidades de las tres pruebas descritas, aprovechándose de las herramientas ya insertadas en el dispositivo. Debe servir para acumular, ordenar y volcar ordenadamente toda la información en los formatos requeridos para cada obra, disminuyendo o incluso eliminando las necesidades de edición en oficina.

Pero también en el planteamiento de su diseño y programación se hizo especial hincapié en que apoye la labor descriptiva del técnico, dado que actualmente es algo poco objetivo y dependiente de la mayor o menor formación del supervisor de cada obra.

Teniendo en cuenta estas premisas, se seleccionó un entorno de programación en el sistema Android, que según datos recientes es el que tiene una mayor representación en el mercado, con cerca del 91% de cuota según datos recogidos en el Kantar Worldpanel de 2017 [6].

A continuación, se exponen las principales características de esta aplicación, y el modo en el que incorpora su multifuncionalidad.

#### **4.1 Características**

Se trata de una aplicación desarrollada en plataforma Android, y funciona en dispositivos equipados con el sistema operativo Android versión 4\* o superiores. Para el correcto visionado de la aplicación se necesita una pantalla de al menos 4,5", y con una resolución mínima de HD 540 x960 papi (HDPI). Ocupa en memoria 8,74 Mb. Para el máximo aprovechamiento de sus posibilidades se recomienda tener instalada una aplicación que permita la lectura de documentos .pdf y otra que permita establecer conexión directa entre el dispositivo móvil y las impresoras que este conectadas a la red.

#### **4.2 Aspectos comunes**

Dado que todas las pruebas posibles a desarrollar deben asociarse a un proyecto único, el diseño parte de una pantalla de inicio en la que se introducen las variables nombre de proyecto, nombre de empresa y supervisores. A la izquierda se ha habilitado un menú desplegable con tres posibilidades que dan acceso a cada uno de los tres módulos asociados con las tres pruebas descritas (Figura 3). A partir de aquí, se selecciona la que corresponda, que pasa a gestionarse desde su módulo específico.

#### **4.3 Módulo penetraciones dinámicas**

La prueba de penetración dinámica se gestiona en cuatro pasos: los tres primeros de recogida de datos, y el último para crear el documento borrador o definitivo de la prueba en formato PDF.

En el primer paso se introduce el nombre de la prueba, tipo (DPSH o Borros), máquina con la que se ejecuta, localización en coordenadas GPS -automático, y siempre que haya cobertura de satélites - y nombre del supervisor del proyecto (Figura 4). Además, incluye la posibilidad de captura de imagen, que será la que posteriormente vaya a aparecer en el PDF final.

El segundo paso está pensado para completar la localización de la prueba - distancia al eje y de cota relativa de inicio -, e incorporar ya información relativa al terreno: la posición del nivel freático. Es también aquí donde se activa la toma de datos del ensayo, que se recogen de forma tabulada y a intervalos de 20 centímetros (Figura 5). La finalización de la prueba da acceso al tercer paso, ideado para la introducción de las firmas del operario y supervisor, que se recogen sobre el propio dispositivo. Concluye el módulo ofreciendo la posibilidad de generar un documento en formato de archivo PDF, bien con marca de agua que indique su carácter de borrador, bien definitivo y listo para enviar al cliente.



Figura 3. Despliegue lateral de los tres módulos disponibles.

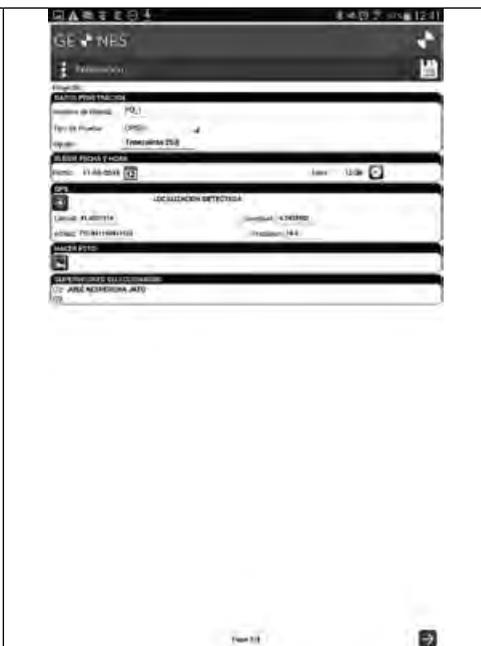


Figura 4. Menú inicial en la prueba de penetración dinámica.



Figura 5. Toma de datos durante la prueba de penetración dinámica..

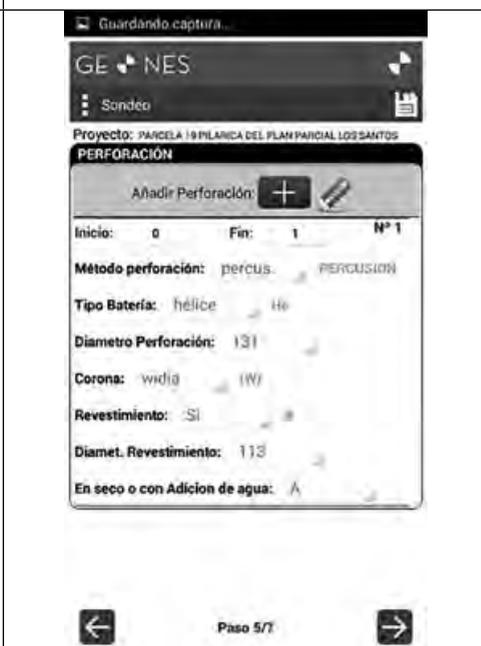


Figura 6. Introducción de datos de la perforación

#### 4.4 Módulo calicatas

La organización del módulo calicatas es muy similar al anterior en sus pasos primero, tercero y cuarto - con las lógicas variaciones relacionadas con la tipología de la prueba- pero introduce la descripción del terreno como novedad en el paso segundo. En esta etapa la aplicación permite describir los niveles que aparecen, comenzando por sus cotas de inicio y fin, y continuando con la descripción geotécnica del terreno, la selección de una trama, la indicación del muestreo y la evaluación de la excavabilidad y estabilidad de cada tramo. Por su singularidad y contenido común con el módulo de sondeos, el modo en el que se presenta la descripción se describirá algo más adelante.

#### 4.5 Módulo sondeos

Este módulo debe recoger más información que las pruebas anteriores, y por ello su diseño se articula en siete pasos.

El primer paso es equivalente al de los anteriores módulos, y el segundo sigue la misma rutina descrita para las calicatas: descripción de niveles atravesados por la perforación.

Los pasos tres, cuatro y cinco son específicos para sondeos, y con ellos se introducen aspectos como el muestreo, las maniobras y los métodos de perforación. Respecto a las muestras, se contemplan muestras tomadas en ensayos SPT, muestras inalteradas, muestras alteradas o testigos parafinados. Todas ellas se numeran secuencialmente, incluyéndose la opción de indicar el número de golpes empleados para su toma en los dos primeros casos. Con el cuarto paso del módulo se introducen las maniobras, descritas a través de sus cotas, longitud de testigo recuperado y, de manera automática, porcentaje de recuperación. Las variables de perforación son descritas a través del paso quinto, contemplándose información sobre el tipo de batería (simple, doble o sencilla), el diámetro de la perforación, el tipo de corona (widia o diamante), el uso de revestimiento y, finalmente, el uso de agua para la perforación (Figura 6).

Al igual que los dos anteriores, este módulo concluye con dos pasos que ponen fin al registro de la prueba y generan un documento PDF que puede hacerse llegar al cliente de inmediato.

#### 4.6 La testificación en App Geones

La testificación geotécnica es el proceso a través del cual se recoge, a partir de la observación del terreno -mayoritariamente en sondeos y calicatas- información sobre éste encaminada a la definición de un modelo del terreno y del tipo de comportamiento geomecánico. Es una tarea básica en todas las campañas de reconocimiento, y resulta crucial para un correcto desarrollo de las demás actividades [5]. La información de la que se valen las testificaciones son en parte descripciones de los niveles que van apareciendo, pero también deben recoger aspectos mecánicos del propio método de excavación - de los que de manera indirecta se coligen propiedades mecánicas-, el muestreo efectuado, y las pruebas o ensayos que puedan desarrollarse.

Al igual que lo que ocurre con ensayos u otras pruebas ejecutadas en el marco de los estudios geotécnicos, es necesario que el procedimiento y los pasos a seguir para testificar el terreno se encuentren perfectamente definidos, de tal modo que resulten unas descripcio-

nes claras, consistentes e independientes del técnico que las realice [7]. En España existe para esta tarea la norma UNE-EN-ISO 14688-1 (AENOR, *Op.cit.*, p.4), pero curiosamente su uso no está todo lo extendido que debiera. De hecho, en los que podemos considerar documentos guía de la mayor parte de las campañas de reconocimiento geotécnico, [8] y CTE (*Op.cit.*, p.1), ni siquiera se menciona pese que en ambos se indicen en la necesidad de contar con una buena descripción geotécnica del terreno. El prototipo de App Geones se ha diseñado siguiendo la citada norma, e incorporando también menús para introducir el tipo de muestreo, la perforación, la estabilidad o no de las paredes y la excavabilidad.

Se puede afirmar que para testificar sondeos cada técnico tiene su propio método. Así, hay técnicos que van registrando caja a caja a medida que el sondeo va avanzando; otros en cambio optan por esperar a tener todo el sondeo terminado. Los hay que van de manera ordenada, de arriba a abajo describiendo simultáneamente aspectos mecánicos y aspectos geológico-geotécnicos, pero también los hay que optan por cubrir primero todos los aspectos mecánicos, y luego hacen lo propio con los geológico-geotécnicos. App Geones ha optado por basarse en este último método, ya que permite un entorno gráfico más manejable y eficiente, y obliga además a recorrer al menos dos veces todo el sondeo, sirviendo así de control adicional sobre lo ya descrito.

## 5. CONCLUSIONES

App Geones constituye un primer prototipo de aplicación para dispositivos móviles orientada a la toma de datos en campo relacionados con pruebas de penetración dinámica, sondeos y calicatas, proponiendo un cambio radical en la metodología de trabajo en campo, abandonando la toma de datos en papel y optando por la adquisición digital mediante *smartphones* o tabletas.

Los beneficios de la metodología propuesta son varios: aumento de la productividad del técnico supervisor de campo fuera de la oficina y reducción de los tiempos en la edición de documentos e informes técnicos; mejora en la calidad del trabajo asociada a la implantación de un procedimiento de descripciones amparado en la normativa vigente; disminución del tiempo de respuesta ante cualquier imprevisto que pueda ocurrir en campaña; adelanto de los plazos de los trabajos de laboratorio; disminución del riesgo de pérdida o deterioro de la información recogida; para las empresas que lo adopten, aumento del grado de confianza de los clientes hacia su labor, al poder ofrecer un seguimiento prácticamente en tiempo real del desarrollo de los trabajos contratados y, finalmente, mejora en la política ambiental de la empresa al disminuir sus necesidades de papel.

En definitiva, App Geones puede tener un impacto muy positivo dentro de la actividad del sector al que está dirigido, tanto en un ámbito nacional como internacional, y en beneficio de la productividad de las empresas que la adopten, de la calidad de los trabajos que la incorporen, y del bienestar de los técnicos que la empleen.

## 6. RECONOCIMIENTOS

El desarrollo del proyecto en el que se basa este artículo ha sido financiado gracias al proyecto INESPO II-Red de transferencia de conocimiento Universidad-. Empresa. Región centro de Portugal-Castilla y León, cofinanciado con fondos FEDER, a través del I Concurso de prototipos orientados al mercado. Mi agradecimiento a Neoris, y en especial a su director, D. Joaquín Romero por su indispensable apoyo.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ministerio de la Vivienda, 2006. Código Técnico de la Edificación (CTE).
- [2] Muzás, F. (2007). *Mecánica del suelo y cimentaciones*. Madrid: Editorial Fundación Escuela de la Edificación. 428 pp.
- [3] Djuric, U., Abolmasov, B., Dragana, P., Marjanovic, M. & Kuzmic, P. (2013). *Portable geotechnics-using android smartphones and tablets for geotechnical field investigations*. In GeoConference on Informatics, Geoinformatics and Remote Sensing (SGEM) (pp. 513–520). Albena, Bulgaria.
- [4] Asociación Española de Normalización y Certificación, AENOR (1999). *Geotecnia. Ensayos de campo y de laboratorio*. Madrid, 385 pp.
- [5] Burland, J. (2007). Terzaghi: back to the future. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 66, 29-33. doi.10.1007/s10064-006-0083-9.
- [6] Android es líder en sistemas operativos. Accedido el 31 de diciembre, 2018, desde <https://www.kantarworldpanel.com/es>.
- [7] Department of Transport and Main Roads (2016). *Guideline. Geotechnical borehole logging*. Accedido el 30 de enero, 2018, desde <https://www.tmr.qld.gov.au/business-industry/Technical-standards-publications/Geotechnical-Borehole-Logging>.
- [8] Ministerio de Fomento, 2004. *Guía de Cimentaciones en Obras de Carretera*. Serie Monografías. Madrid: Dirección General de Carretas. 297 pp.

**VISADO DE UN MODELO BIM**

BELLO LARROCHE, GUILLERMO

*Construcciones y Edificaciones ZHT SA, Zaragoza, España**E-mail: [gbelloat@gmail.com](mailto:gbelloat@gmail.com), Web: [www.construccioneszht.com](http://www.construccioneszht.com)***PALABRAS CLAVE:** Visado; Colegio Profesional; Modelo; BIM**RESUMEN**

La implantación del modelo en todo el proceso de vida de un proyecto se inicia en el diseño del edificio y termina en la entrega del modelo “as built” al facility manager para la gestión. Hasta que no se ha planteado (con el horizonte de diciembre de 2018) por parte de la administración la redacción de proyectos mediante metodología BIM; el modelo sólo aparece en una parte del proceso de vida del proyecto. Son los colegios profesionales y la administración los que tienen que incorporar el modelo como el documento válido para gestionar su participación. El formato de intercambio IFC permitirá ser utilizado, en un futuro cercano, para el visionado y validado de los modelos. Por el momento, el modelo no permite exportar toda su información a formato IFC (faltan tablas de planificación, planos, vistas) ni tampoco permite incorporar documentos anexos al modelo (memoria, mediciones, pliego de condiciones) o externos (estudio geotécnico, de detalle, etc.). Así pues, el visado de un modelo BIM no es de momento una realidad, pero se puede hacer uso de un modelo para sustituir a la documentación gráfica en el proceso de asimilación de información del proyecto por parte del visador. El formato IFC no permite de una manera directa establecer una codificación, pero se puede resolver incorporando una firma anexa mediante software de encriptación (XolidoSign). De esta manera se garantiza la validez del documento.

Para el visionado, se deberá desarrollar una herramienta específica por parte de la administración, que sea válida para todos los Colegios Profesionales y que luego pueda ser

utilizada también para la concesión de licencias de obra.

Los programas de modelado incorporan variantes de exportación de IFC específicas establecidas por gobiernos como el IFC 2x3 Singapore BCA o el IFC 2x3 GSA. Es decir, la exportación predefinida es posible.

## INTRODUCCIÓN

La figura 1 [1] nos da una idea del colapso existente en el servicio técnico de licencias del Ayuntamiento de Málaga en junio de 2017.



Figura 1: Colapso en la concesión de licencias.

La gestión administrativa de los proyectos no es -en muchos casos- acorde a los medios tecnológicos actuales, ya que se sigue basando en el papel. Carpetas de gran volumen que ocupan mucho espacio, saturan los archivos y suponen un trabajo de revisión manual con búsquedas lentas; en definitiva, un trabajo laborioso que hoy día, en plena era digital, no tiene sentido.

En 2006 se implantó a nivel general el sistema de visado electrónico que reducía considerablemente la documentación “física” a aportar al Colegio Profesional; si bien, dicha documentación seguía teniendo el mismo origen que en métodos anteriores: documentos elaborados por softwares distintos sin relación entre sí.

Además de la reducción drástica del papel empleado en transmitir la documentación, la metodología BIM aboga por una tendencia a la eliminación de errores, como consecuencia de tener un único archivo del que se extrae toda la información. El BIG BIM (término que describe la conjunción de toda esta información) nos está permitiendo ya trabajar en un proyecto en el que la imagen tridimensional del modelo (la maqueta virtual) no lo es todo. BIM ha dejado de ser una presentación bonita en 3D.

El visado es un trámite más en la cadena de gestión por la que ha de transitar un proyecto. Atrás ha quedado la confección del proyecto y después del visado vendrán la solicitud y concesión de licencias, la aplicación del proyecto en una obra, su evolución hasta el proyecto final de obra y la gestión de Facility Management del activo. Es decir, del 0D al 7D. Así pues, no se puede plantear la idea de un visado de modelo sin considerar todos los demás

pasos de la cadena. Un modelo tiene que partir de un proyecto elaborado con determinado software y el análisis del contenido del mismo ha de ser posible con otro software que sea compatible con el resto de procesos que se desarrollen en la cadena de gestión.

La figura 2 [2] nos muestra un ejemplo de documentación entregada al Facility Manager para la gestión de un activo. Si dicha información está convenientemente informatizada, adecuada a la realidad del activo y en un formato manejable, el tiempo empleado en la gestión se reducirá considerablemente y la productividad en la gestión aumentará, lo que redundará en un beneficio de todos los participantes del activo (usuarios, gestores, subcontratas, administración, etc.).



Figura 2: Aspecto de documentación para un Facility Manager.

Por último, la Comisión para la implantación de la metodología BIM que constituyó el Ministerio de Fomento (14 de julio de 2015) [3], ya establecía un calendario previsto de implantación BIM en España (17 de diciembre de 2018: obligatoriedad para la licitación de obra pública de edificación, y en 2019 para licitaciones públicas de infraestructuras), en respuesta a la Directiva 2014/24/UE del Parlamento Europeo. Sin embargo, si la obligatoriedad reside sólo en los proveedores de proyectos y no es continuada por los colegios y por la administración pública, no existirá una total implantación.

Es pues necesario que la Administración establezca una guía de trabajo para el recorrido del proyecto en metodología BIM.

## DESARROLLO

Las consultas realizadas hasta ahora en diversos colegios profesionales, el planteamiento del visado de un modelo no ha suscitado interés como problemática a considerar a corto plazo; pero sí que la mayoría de los visadores consultados han tenido en algún momento la curiosidad de cómo plantearían su trabajo desde la metodología BIM. Todos los proyectos desarrollados en los últimos años con metodología BIM tenían como objetivo exportar entregables de calidad (coherentes entre sí) para el proceso de visado, gestión de licencias y ejecución de obra. Nadie se planteaba usar un modelo como elemento vehicular durante todo el proceso de vida del proyecto.

#### FLUJO DE TRABAJO ACTUAL:

En la página web de los colegios profesionales suele existir un manual de criterios y normas de visado [4] que establece los documentos que se han de presentar en función de cada fase o tipo de proyecto (lo establece el CTE) y la nomenclatura que debe tener cada archivo (para facilitar la labor de los visadores).

Algunos de estos documentos se encuentran en la página web colegial en forma de modelos, otros documentos son los redactados por el técnico, y también en ciertos casos se solicita presentar cierta documentación para constancia, que no se visa (como un informe geotécnico, por ejemplo).

Al presentar un proyecto a visado se suelen rellenar en la propia plataforma algunos datos como el tipo de proyecto, qué fases se presentan, nombre del proyecto, usos y superficies del mismo (que sirven para el cálculo de la cuota de visado) y datos del cliente.

Si el proyecto es nuevo se asigna un número de expediente al proyecto. Si se trata de una fase o una modificación de un expediente ya creado, se añadirá una entrega a ese expediente existente.

Una vez dado de alta en la plataforma el trabajo que se va a presentar, se adjuntan los documentos correspondientes, en formato PDF firmados digitalmente, a plataforma de visado de cada colegio (no está unificada, cada colegio puede tener una distinta, aunque por ejemplo los colegios de Jaén, Málaga y Granada se han coordinado y tienen la misma plataforma). En este parte del visado, siempre suele haber mensajes de error al intentar subir la documentación, por el peso de los archivos, por el certificado... etc. Esto ralentiza bastante el proceso, en muchas ocasiones hasta se tiene que reimprimir en PDF toda la documentación.

Tras la aceptación de la documentación por el sistema, el expediente queda en cola para su análisis y revisión por el arquitecto de visado. La revisión que se hace se limita a confirmar que se han incluido los documentos necesarios según el tipo y fase de proyecto, pero no entra en el contenido de los mismos. Por ejemplo, comprobaría que se ha incluido la información relativa a la estructura, pero no comprobaría si ésta es idónea o no.

En el proceso de visado se ha de garantizar tanto la autoría como la integridad de estos documentos PDF. Para ello cada colegiado tiene que disponer de una firma digital aceptada por la plataforma. La firma digital consta de una clave pública y una privada. Cada colegiado facilita al colegio la clave pública de su firma. Y el colegio en su sistema informático asocia esa clave pública con los datos del colegiado, como si está al tanto de pagos, si posee seguro de responsabilidad civil en vigor y si está habilitado para ejercer.

De este modo cuando un técnico envía un PDF con su firma digital, en primer lugar, el colegio comprueba que la firma está intacta (no se ha editado el archivo después de firmarlo, es decir su integridad), y por otro lado el colegio a través de la clave pública puede comprobar con su sistema si se trata de un colegiado (autoría del proyecto). Si es así puede seguir tramitando el proyecto y una vez revisado favorablemente, y si cumple las condiciones de estar habilitado y tener seguro de responsabilidad civil en vigor, sellar o visar el archivo.

Los archivos PDF que se presentan deben ser abiertos (sin protección contra edición), porque si van protegidos o cerrados no se podría estampar el sello de visado.

Al sellar y firmar el colegio los PDF se pierde la validez de la firma del técnico (aunque consta), siendo válida la del colegio que sería la que garantizaría la integridad y autoría del archivo a partir de ese momento.

Una vez visados y sellados los documentos del proyecto se ponen a disposición del

colegiado en la plataforma, que podrá descargarlos una vez abonada la cuota de visado correspondiente.

#### VENTAJAS E INCONVENIENTES DEL CAMBIO:

En el método actual, no son todo inconvenientes. Para ser justos, tendríamos que reconocer que el visado telemático ha supuesto un gran avance ya que con él se agilizan los trámites y se ha dado “casi” por cerrada la etapa de la documentación en papel (que aún se solicita en muchas instituciones públicas), que, como ya se ha comentado; necesita mucho espacio de archivo y es insostenible para el medio ambiente.

Pero también tiene muchos inconvenientes, uno de ellos, y posiblemente el más importante, es la necesidad de crear una documentación específica para el visado lo que conlleva tiempo de trabajo extra (y nunca remunerado). Actualmente, por ejemplo, en el Colegio de Arquitectos de Madrid, pese al proceso telemático, visar un proyecto puede tardar entre 7 y 15 días. La mayoría de los problemas a la hora de visar tienen que ver con incoherencias entre los distintos documentos, Esto con un modelo BIM no sucedería, o al menos no tan a menudo, ya que la información se coordina de una forma más rápida y los cambios van actualizándose de forma automática. Es en la gestión de la documentación gráfica donde la metodología BIM ayuda a dar un verdadero salto de calidad, ya que gracias a los softwares de modelado ésta se gestiona con menor probabilidad de error y al ser una tarea interdisciplinar se ahorra muchísimo tiempo en la coordinación de los proyectos. Así pues, ¿por qué generar tanta documentación gráfica en una “vista en plano” cuando tenemos el modelo disponible para poder visualizarlo y, posteriormente, visarlo como “un objeto” que contiene toda la información necesaria para definirlo y justificarlo de cara a una normativa?

En cuanto a la gestión de planos se refiere, ya no haría falta generar cierta documentación, por ejemplo los planos de tabiquerías, de acabados, de techos..., toda esta información ya está dentro de un mismo modelo y en él, para agilizar también el trabajo del visador se aportará la información a chequear, que el colegio profesional correspondiente estime oportuna, en forma de parámetros. De este modo, no hará falta que se busque la información entre los numerosos PDFs que se generan, sino que se acudiría rápidamente a lo imprescindible y se tendrá el modelo como un elemento aclarativo.

Es cierto que siempre habrá documentos que tendremos que visar en PDF, ya sea porque estos forman parte de la gestión administrativa del proyecto o porque se trata de documentación gráfica muy concreta, como los detalles constructivos y de estructura, poner toda esta información en un modelo lo cargaría de tal forma que no todos los dispositivos informáticos podrían visualizarlos, lo que, seguramente, haría a la administración plantearse seriamente la utilidad de esta nueva metodología para sus intereses, y por lo tanto, puede que animase a los técnicos a trabajar con BIM, pero les obligaría a seguir registrando la información de manera tradicional, generándola en PDF.

#### FORMATO DE TRABAJO:

BUILDING SMART es una organización sin ánimo de lucro [5] cuyo principal objetivo es fomentar la eficacia en el sector de la construcción a través del uso de estándares abiertos de interoperabilidad sobre **BIM** para alcanzar nuevos niveles en reducción de costes, tiempos de ejecución y aumento de la calidad. A lo largo de los años, Building Smart ha desarrollado un formato de intercambio de la información del modelo (estructura, datos y geometría) denominado IFC (Industry Foundation Classes). Este formato de intercambio

está ampliamente aceptado por los desarrolladores de software de modelado en sus diversos programas y puesto que el formato IFC va evolucionando a medida que los programas evolucionan, no podemos decir hoy en día que existe un formato de intercambio universal y perfecto. Aun así, gobiernos como el de los EEUU o el de Singapur han desarrollado consideraciones específicas que rigen el formato de intercambio IFC en los procesos que se desarrollan en los respectivos países para los proyectos de la administración pública Global Services Administration (GSA) [6] y Singapore Building and Construction Authority (BCA) [7], según se observa en el menú de exportaciones a IFC del programa de modelado Revit v.17 (Figura 3).



Figura 3: Opciones de exportación en formato IFC.

Es decir, aunque no existe un formato de intercambio de software preestablecido, tampoco es imposible determinar las pautas que puedan regir el tipo de intercambio que deseemos. Por ello, ante el planteamiento de uniformizar el procedimiento de visado de modelo, un aspecto importante a considerar sería la selección de requisitos en el proceso de exportación y el establecimiento de una versión de exportación del formato IFC obligado para los colegios profesionales.

Los programas de modelado permiten crear familias (bloques de información) en los que recoger los parámetros del edificio que el visador habrá de comprobar. Dichos parámetros serán de dos tipos: los que emite el modelo de forma automática (superficies útiles y construidas, alturas, distancias, número y altura de plantas, etc.) y los que habrán de venir incorporados al modelo por no provenir directamente del mismo (PEM, usos principales y asociados, datos del proyectista, etc.). Como se ha mencionado antes, el CTE establece los documentos que ha de contener un proyecto y que serán revisados en el proceso de visado; sin embargo, la disparidad de tipos de proyecto, los formatos de listados de parámetros exigibles por cada Colegio y las diferentes competencias profesionales que hay según las titulaciones existentes actualmente en España; nos obligaría a crear un punto cero de partida en la adopción de parámetros a incluir en el modelo y que luego derivaría en la particularidad exigida por cada administración autonómica o local.

#### MODELO Y PARÁMETROS:

El modelo propuesto de ejemplo (Figura 4) es un edificio entre medianerías situado en el casco urbano de Zaragoza. Se compone de planta sótano, baja y cuatro alzadas. Para el presente estudio no se han considerado todos los parámetros que se revisarían en un proceso de visado, pero se muestran a modo de ejemplo la localización del edificio, el arquitecto,

la ocupación, el uso, el número de ascensores, el número de plazas de aparcamiento y las destinadas a minusválidos, el PEM y a partir de ahí, se obtiene la Tasa de Visado y la Tasa de Licencia (Figura 5).



Figura 4: Ejemplo de modelo de edificio.



Figura 5: Propiedades de Familia.

Como muestra para el ejercicio práctico, se han testado y comparado diversos softwares gratuitos de visionado de archivos IFC como BIM Vision [8] Solibri Model Viewer [9], DDS CAD Viewer [10] y FZK Viewer [11]

Existe más software en el mercado e incluso alguno de código abierto, sin embargo, la finalidad de este estudio no es realizar una comparativa de los mismos, sino disponer opciones de visualización para comprobar la facilidad de manejo de un modelo, así como constatar que el visionado de un archivo IFC es un procedimiento muy extendido. Del análisis de los mismos se resuelve que, para que un software de visionado fuera implantado, habría de cumplir los siguientes requisitos (por este orden):

- Ha de estar desarrollado en castellano y en las diferentes lenguas cooficiales existentes en las comunidades autónomas que las dispongan.
- Ha de ser gratuito puesto que estará establecido a partir de una normativa de obligado cumplimiento. Se considera que habría de ser desarrollado a partir de concurso público; similar al software desarrollado para la redacción del Certificado de Eficiencia Energética. Se podría barajar la opción de un software residente en la nube; similar al existente para la redacción del Informes de Evaluación de Edificio.
- Operable por los sistemas operativos más importantes en el mercado: Windows y Mac OS.
- Ha de contener todos los requisitos necesarios para que un modelo pueda ser revisado con garantía. El visador ha de poder acceder a cualquier punto del modelo y comprobar “in situ” los parámetros que necesite para dar validez al modelo.
- Ha de permitir incorporar notas de revisión al mismo modelo para la corrección del modelo por parte del proyectista.
- Ha de permitir imprimir o exportar vistas, cortes de plano o imágenes de pantalla para facilitar el trabajo sobre papel o sobre una imagen (jpg, png, pdf, etc.).
- Ha de tener facilidad de manejo y respuesta intuitiva.

A excepción (con matices) del primero de los requisitos, los softwares antes mencionados ya cumplen algunos o todos ellos. Tal y como se observa en la Figura 5, los mismos parámetros que se habían redactado en el software de modelado, aparecen en el visor (en este caso BIM Vision).



Name	Value	Unit
<b>Element Specific</b>		
<b>Cotas</b>		
<b>Datos</b>		
Emplazamiento	Calle Arquitectura nº 10	
Nombre Arquitecto	Javier Arquitecto Arquitecto	
Nº plazas aparcamiento minus.	0	
Nº Plazas de aparcamiento	4	
Número de Ascensores	1	
Ocupación	100	
Presupuesto de ejecución	245 901,34	
Tasa Licenda	737 704,02	
Tasa Visado	1 229 506,7	
Uso Administrativo	No	
Uso Educativo	No	
Uso Hospitalario	No	
Uso Hotelero	No	
Uso Residencial	Yes	
<b>Datos de identidad</b>		
Código de montaje		
Descripción de montaje		
Nombre de código		
Nombre de tipo	DATOS PROYECTO BÁSICO	

Figura 5: Parámetros correctamente exportados.

La figura 6 nos muestra cómo si se realiza una sección del edificio por la caja de escalera, accedemos a este componente del edificio, visionamos sus características en la tabla de la derecha e incluso podemos comprobar las medidas que precisemos para dar mayor fiabilidad a la información aportada en las tablas.

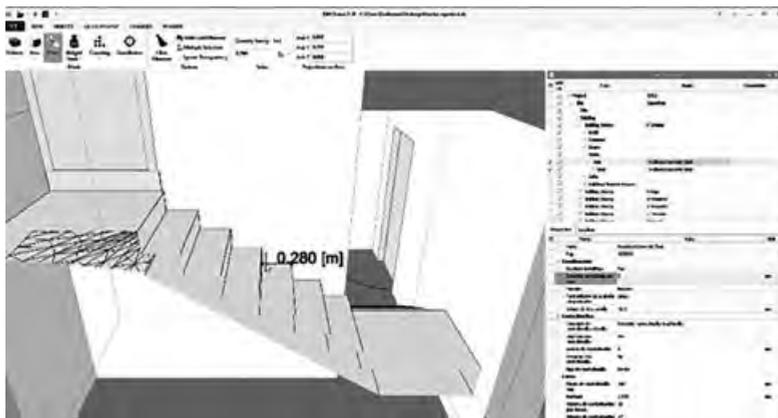


Figura 6: Parámetros de una escalera.

Del mismo modo, al identificar y superficiar las estancias de un edificio, se pueden agrupar para confeccionar un chequeo de cumplimiento de superficies mínimas.

Otro aspecto importante a considerar en el proceso es el establecimiento de un sistema que garantice la integridad y la autoría de los documentos que se envían a través de internet. Actualmente ese procedimiento se realiza mediante un certificado digital y firma electrónica insertada en un archivo PDF. Sin embargo el formato IFC no admite la inclusión de una firma (Adobe Acrobat sí lo permite en la edición de textos en PDF), por lo que habría que recurrir a un software o aplicación específica como XolidoSign que permite generar una firma e incrustarla. Sin embargo con este procedimiento se obtiene por un lado el archivo IFC y por otro el archivo XML o pkcs que lo valida.

Por otro lado la inserción de un sello o código de verificación es más difícil de resolver dado que un IFC no se puede editar con un visor tipo de los que se han analizado anteriormente, no se puede incorporar información; sólo se podría editar importándolo a un software de visionado diseñado expresamente con la capacidad de alterar el modelo.

## CONCLUSIONES

En 2000 el gobierno de Singapur inició el proyecto “E-PlanCheck” [12] con el objetivo de realizar chequeos de forma automatizada de proyectos en CAD. Por entonces, aunque ya existía el formato de intercambio IFC en versión 2.0, los programas de modelado no estaban tan difundidos y la automatización de procesos no era efectiva.

En 2005 se estableció el sistema de control CORENET Plan Checking [13] permitía realizar un chequeo automático del cumplimiento de la ley de incendios a partir de un archivo IFC 2x2. La implantación del sistema abarcaba el 92% de los proyectos.

Hoy en día las herramientas de modelado son más potentes y los recursos dedicados al software y a la mejora de la interoperabilidad mucho mayores. Así pues plantear un escenario de revisión y gestión de un modelo en lugar de papel no es para nada una utopía.

## REFERENCIAS

### PÁGINA WEB

- [1] La Opinión de Málaga. Accedido el 04 de febrero de 2018, desde <http://www.laopiniondemalaga.es/malaga/2017/06/09/colapso-concesion-licencias-urbanismo-retrasos/936313.html>
- [2] CoBuilder. Accedido el 4 de febrero de 2018, desde [www.cobuilder.com/cobie-and-interopability/](http://www.cobuilder.com/cobie-and-interopability/)
- [3] Ministerio de Fomento. Accedido el 4 de febrero de 2018, desde <https://www.fomento.gob.es/MFOMBPrensa/Noticias/El-Ministerio-de-Fomento-constituye-la-Comisi%C3%B3n-la-1b9fde98-7d87-4aed-9a46-3ab230a2da4e>
- [4] Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid. Accedido el 4 de febrero de 2018, desde [http://www.coam.org/media/Default%20Files/colegio/transparencia/texto\\_refundido\\_normativa\\_visado\\_v10.pdf](http://www.coam.org/media/Default%20Files/colegio/transparencia/texto_refundido_normativa_visado_v10.pdf)
- [5] BUILDING SMART. Accedido el 4 de febrero de 2018, desde <https://www.buildingsmart.es/bssch/la-asociaci%C3%B3n/>
- [6] General Services Administration. P. 51 y ss. Accedido el 4 de febrero de 2018, desde [https://www.gsa.gov/cdnstatic/GSA\\_BIM\\_02\\_Appendix\\_v09.pdf](https://www.gsa.gov/cdnstatic/GSA_BIM_02_Appendix_v09.pdf)
- [7] BUILDING SMART NORUEGA. P.60 y ss. Accedido el 4 de febrero de 2018 desde [https://buildingsmart.no/sites/buildingsmart.no/files/20140711\\_byggnett\\_status\\_survey\\_rev\\_2014.pdf](https://buildingsmart.no/sites/buildingsmart.no/files/20140711_byggnett_status_survey_rev_2014.pdf)
- [8] BIM VISION. Accedido el 4 de febrero de 2018 desde, [www.bimvision.eu/es/strona-glowna-es/](http://www.bimvision.eu/es/strona-glowna-es/)

- [9] SOLIBRI MODEL VIEWER. Accedido el 4 de febrero de 2018 desde, <https://www.solibri.com/products/solibri-model-viewer/>
- [10] DDS CAD VIEWER Accedido el 4 de febrero de 2018 desde, [www.dds-cad.net/downloads/dds-cad-viewer/](http://www.dds-cad.net/downloads/dds-cad-viewer/)
- [11] FZK VIEWER Accedido el 4 de febrero de 2018 desde, [www.iai.kit.edu/1302.php](http://www.iai.kit.edu/1302.php)
- [12] Conferencia impartida por Wawan Solihin en Georgia Institute of Technology Enero 2004. Accedido el 4 de febrero de 2018 desde [www.researchgate.net/publication/280599027\\_Lessons\\_learned\\_from\\_experience\\_of\\_code-checking\\_implementation\\_in\\_Singapore](http://www.researchgate.net/publication/280599027_Lessons_learned_from_experience_of_code-checking_implementation_in_Singapore)
- [13] Publicación de Lachmi Khemlani Ph.D. en AECbytes.com. Texto íntegro en PDF accedido el 4 de febrero de 2018 desde [http://www.novacitynets.com/pdf/aecbytes\\_20052610.pdf](http://www.novacitynets.com/pdf/aecbytes_20052610.pdf)

## BIOCONECTIVIDAD MULTIPOLAR 4.0.

HERNÁNDEZ LÓPEZ, RAFAEL<sup>1</sup>; TURRADO DOMÍNGUEZ, ELENA<sup>2</sup>;  
DONAIRE GALIANO, MARÍA DOLORES<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Universidad Camilo José Cela, Madrid, España*  
*E-mail: rahernandez@ucjc.edu, Web: https://www.ucjc.edu/*

<sup>2</sup> *Universidad Camilo José Cela, Madrid, España*  
*E-mail: eturradod@gmail.com, Web: https://www.ucjc.edu/*

<sup>3</sup> *Universidad Camilo José Cela, Madrid, España*  
*E-mail: marilo-93@hotmail.es, Web: https://www.ucjc.edu/*

**PALABRAS CLAVE:** “NATURALEZA” “EDIFICIOS” “ENVOLVENTES” “BIO-  
CONECTIVIDAD” “MULTIPOLAR”.

### RESUMEN

En el apasionante desarrollo de la piel sensible como envolventes para edificios, Piel-Sen, existe una conectividad subyacente. Alimentada por las energías latentes en el edificio (electrostática, magnética, ...) y otras energías renovables, las vitaminas de amplio espectro, son suministradas de manera más certera en diferentes zonas de la superficie.

En la nueva manera de concebir los edificios, la mentalidad biológica facilita el entendimiento natural de las interconexiones. En la propia piel se insertan multicerebros interconectados de alcance regulable, que gobiernan las reacciones a los estímulos exteriores.

Un desarrollo teórico de aproximación a la Bioconectividad no sólo se basa en conexiones para telecomunicaciones, sino que tiene en cuenta el medio que transporta las comunicaciones a frecuencias determinadas, la piel y sus teselas, que se componen de micras, mínima unidad considerada del sistema.

La aplicación de la “intuición + compleja”, como metodología investigadora basada en

la investigación operativa, conduce a localizar el modelo natural que funciona de manera semejante al fenómeno intuido. Para aplicar la bioconectividad a algo inerte hay que dar vida a los edificios, canalizar su energía y dotarles de sensibilidad.

Existen multitud de intercambios interconectados que pueden ser dirigidos desde el mecanismo tecnológico de la piel. El agua de lluvia o el sol más cálido es recepcionado por la piel y provoca diversas interconexiones combinadas que regulan el funcionamiento de la membrana para adaptarse a las condiciones de bienestar. El edificio pasa a formar parte del medio y la frontera protectora también se flexibiliza en su comportamiento.

Conectar distintos estadios del conocimiento: el biológico, el arte-técnica e IOT (*Internet of things*), permite descubrir la manera de hacer lo que antes resultaba complejo de manera natural. La tecnología genera artefactos en consonancia con el medio ambiente. La digitalización de edificios puede aproximarse a la naturaleza.

## 1. INTRODUCCIÓN

En el primer cuarto del siglo XXI la aceleración de conocimientos está suponiendo una gran ola tecnológica que puede hacer desaparecer la mentalidad analógica que permite un contraste de realidades que, cada vez más, son una constelación entendido como conjunto de cosas de una misma naturaleza. Por otra parte, la modelización siempre permite materializar ideas que conducen a la mejora permanente. El medio de materialización es importante, puede cambiar la concepción del resultado siendo un procedimiento conocido.

El concepto de “Edificación 4.0”, está conformándose y la “construcción 4.0” surge, dentro de las líneas estratégicas principales de la Unión Europea en competitividad, como un aspecto muy importante dentro de las políticas de la revolución 4.0., uno de los sectores productivos con un grado de digitalización más bajo. La innovación en los sistemas conceptuales, estructurales y constructivos marcará otra de las sucesivas y solapadas etapas de la Arquitectura. Una participación colaborativa de diferentes disciplinas que operan en un mismo signo de los tiempos.

Los nuevos gremios tecnológicos se entremezclan a través de la digitalización. Manejar las mismas herramientas no siempre supone hablar un mismo lenguaje. Lo que permite intercambiar realidades es el encuentro en el proyecto mediante la fluidez de ir intercalando acciones calidoscópicas.

La Arquitectura continúa persiguiendo su objetivo de la multidiversidad de referencias facilitadas por un acceso directo y multidireccional que alimentan cualquier disciplina que no se considera única para explicar la realidad. La consciencia de la fragmentación del intelecto permite desarrollar la mutiplicidad de fuentes.

## 2. COMUNICACIÓN

### 1.1. Natural

Mirar a la Naturaleza de frente significa reflejarse en un espejo que sirve de fondo para posicionar al ser humano en la vida. Buscar lo que nos rodea identifica nuestra manera de vivir, de habitar y de existir. El 6 de agosto de 1951, Heidegger fue convocado entre otros arquitectos, sociólogos y teóricos de la cultura al *Segundo Coloquio de Darmstadt*, ciudad arrasada por las bombas de los aliados como buena parte de Alemania, para reflexionar

sobre el tipo de reconstrucción de la ciudad y el país. Desde la *Conferencia de Heidegger: Construir, habitar, pensar* (Bauen, Wohnen, Denken) la consciencia de la gran variedad de maneras de habitar hace replantearse una nueva manera de pensar y construir como punto de partida de un nuevo escenario conceptual.

El desarrollismo como actitud o tendencia favorable al desarrollo y crecimiento económico a ultranza de un país, choca con el ecologismo creciente que propone y defiende la búsqueda de formas de desarrollo equilibradas con la naturaleza. El devenir hasta el acuerdo del crecimiento sostenible.

La *ecología profunda* [1], como una rama de la filosofía ecológica, considera a la humanidad parte de su entorno. Los cambios son culturales, políticos, sociales y económicos para lograr una convivencia armónica entre los seres humanos y el resto de seres vivos. Considera que los seres humanos no tienen derecho a pasar por encima de la diversidad, únicamente para satisfacer sus necesidades vitales.

Del amor y del temor a la Naturaleza, Sebald escribe su tríptico poema en prosa *Del natural* [2]. Ante la naturaleza como principio generador del desarrollo armónico y la plenitud de cada ser, siguiendo su propia e independiente evolución surge un posicionamiento contemporáneo dentro de un medio en constante transformación. No sólo cambia la Naturaleza, también su relación con la tecnología.

El conjunto de conocimientos científicamente ordenados, que permiten diseñar y crear bienes o servicios que facilitan la adaptación al medio ambiente y la satisfacción de las necesidades esenciales define a la tecnología, concebida desde una mente universal que respeta los recursos medioambientales. La constante convivencia entre la tecnología y el ser humano le ha permitido relacionarse con el medio intercambiando posiciones. La aplicación de los recursos medioambientales a la arquitectura garantiza una convivencia más amable [3].



Figura 1: Naturaleza y tecnología. Marikillagmedina ©.

## 2.2. La naturaleza, la inteligencia artificial y natural

Actualmente es posible que las máquinas tengan la flexibilidad del cerebro humano. La memoria y el olvido son herramientas, voluntaria e involuntaria respectivamente, cuya combinación de funciones garantiza un correcto funcionamiento del cerebro. Las máquinas de aprendizaje cuentan con un material de la naturaleza, la perovskita, con la capacidad de olvidar. Un modelo no biológico que se inspira en la naturaleza. El cristal cuántico muestra una respuesta adaptativa cuando los protones se insertan y se eliminan reiteradamente. La escalada en bavaresas y chimeneas de la metodología de acción se apoya en ir dando pasos intercalados que entremezclan intercambios de posiciones que provoca el avance. Entre

polaridades extremas se produce el desequilibrio necesario para que exista progreso. Polaridades clásicas entre el objeto arquitectónico y el medio que lo rodea permite intercambios constantes lo que hace sus fronteras más difusas. La energía está en el medio [4].

La conectividad buscada está operando en el conocimiento universal y el pensamiento individual se perfila dentro de un universo particular cada vez más permeable. Cambiar de punto de vista dentro de la misma habitación agranda la visión escaneada e interpretada que reduce los vacíos intermedios.

La tendencia habitual de manejar el oxímoron permite intuir una tercera vía de escape además de las dicotomías cotidianas formadas de forma repetitiva. Establecer los extremos define los límites de la extensión del espectro pero no debe limitar la predicción de escenarios posibles con la misma robustez. La multipolaridad abre el campo de percepción hacia el estudio de comportamientos graduales que no se ciñen a dos únicos polos. La disposición multiposicional completa el concepto tridimensional del espacio generalmente asociado a una geometría de equidistancias que no transcribe el funcionamiento del fenómeno. La investigación de geometrías imaginadas sin la rigidez, conceptual y estructural, de la constante simetría, reduce la visión de una mancha que se asemeja erróneamente a una esfera homogénea. Los nuevos gráficos apuntan a una nueva *petrología* con más riqueza geométrica que cambia el soporte papel por el modelado en un ordenador en movimiento.

En los fragmentos de tiempo en los que surgían tendencias por bipolaridad, surge un maremágnum donde no se distingue entre los posestructuralistas Jacques Derrida, Gilles Deleuze y Julia Kristeva, la “pandilla de los tres” y los estructuralistas Jacques Lacan, Roland Barthes y Claude Lévi-Strauss.

Los procesos sedimentarios de fitificación o diogénesis mediante compactación en capas o estratos de conocimiento, no tiene en cuenta la causalidad angulosa que provoca brechas en la interpretación. La disposición en capas con la penetración transversal irregular facilita relacionar en la tercera dimensión, en los puntos de contacto entre planos paralelos que no se entrecruzarían nunca.

Con ésta serie de hipótesis de partida se configura un panorama multiforme que evoluciona con el devenir del conocimiento. Son distintos dogmas que toman diferentes valoraciones pero que intervienen simultánea e instantáneamente. Como concepción mental es representada gráficamente y las formas que persigue facilitan una visión más orgánica, que no simplifica en la geometría pero atiende a sus leyes.

### 2.3. Edificios

En la nueva manera de concebir los edificios, la mentalidad biológica facilita el entendimiento natural de las interconexiones. En la propia piel se insertan multicerebros interconectados de alcance regulable, que gobiernan las reacciones a los estímulos exteriores. Aumentar la complejidad y flexibilidad “neurológica” que caracteriza al cerebro humano está dirigido a la adaptación al entorno no natural. Son híbridos conceptuales que desordenan las capas subjetivas de la interpretación de la realidad [5].

Multiplicar los efectos mediante ligeros esfuerzos amplifica la reacción con el mínimo de transporte de energía creando *nanoreacciones en cadena* que según la respuesta del material añadiendo o retirando protones podría ser programado como un ordenador. Una dinámica a cámara lenta consigue sucesivos estados de equilibrio que son deshechados para provocar el avance.

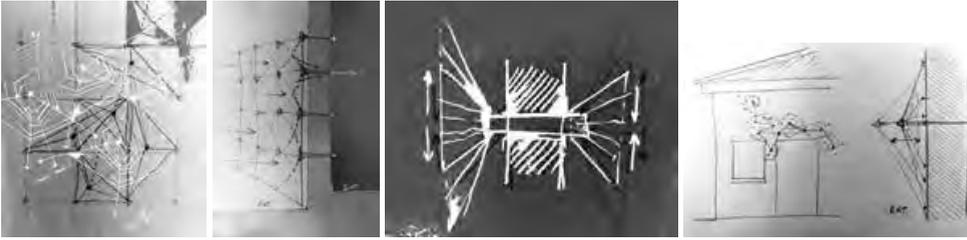


Figura 2: Aproximación y acercamiento a la bioconectividad. PielSen ©.

La sectorización del campo de actuación no es suficiente. No es difícil desarrollar comportamientos de interconexión con todas las posibilidades que transporta del direccionamiento unidireccional a la extensión superficial con las irregularidades propias de la tercera dimensión y sometido al tiempo de acción. Los desarrolladores diseñan el funcionamiento a partir de pautas de comportamiento.

Desde el conocimiento más colaborativo ya propuesto en Alcudia (Cúpula Hinchable) de Jose Miguel de Prada Poole en 1968, la transgresión departamental ha llegado hasta relacionar medio ambiente, tecnología y comportamiento, y a entender que la membrana que nos separa del medio puede ser dinámica y flexible. La envolvente incompleta choca con el terreno donde se apoya. Concebir esferas no tiene sentido en contacto con la corteza terrestre. Richard Buckminster Fuller traza los límites equidistantes en un medio homogéneo mediante la geometría regular, establece las leyes sobre las que poder derivar. Los edificios conforman ciudad entre interiores y exteriores [6].

## 2.4. Digitalización

En el salto de trapezista de disciplina en disciplina, la determinación conlleva la creencia de atrapar la barra del columpio que nos recoge tras el triple mortal, volviendo sobre los pasos para no perder la senda. En cambio la digitalización ya ha nacido transversal.

Está teniendo su propio desarrollo, alimentándose de todas las ciencias, artes y comportamientos, como un traductor plurilingüe que genera su propio modo de representación. Primero en la pantalla se resuelve el modelo ingravido, sin suelo, y luego se materializa. Consiguiendo el transporte de objetos sin desplazar la materia. Una conversión del lenguaje que lo hace inmaterial. Segundo, materializándose para poder ser tocado. El sentido del tacto sirve de control final antes de la prueba. El contacto con la piel, compuesta de pliegues, poros y teselas. Una piel en movimiento, que necesita de flexibilidad, Sistemas adaptativos complejos que ya pueden ser estudiados. Hacer físico lo pensado con la capacidad que la Impresión 3D ofrece de mejora. Un continuo proceso de optimización una vez definido el inicio. Ahora empieza la caracterización de materiales. Las superposiciones de modelado conceptual que es tan necesario para adentrarse en la investigación. La impresión digital 3D permite concebir el modelo sin pasos previos en dos dimensiones. El capturar el método de reproducción como fundamento de operación habla de contemporaneidad.

Los edificios cobran vida. Las teselas acompañan el ondulante movimiento de la brisa. La piel se ruboriza ante valores no tolerados. Dotar de sensibilidad a la envolvente, diluyendo las membranas de separación. Formando parte de entorno. Así como el cambio de técnica en el proceso de materialización desemboca en nuevas propuestas, asegura la cons-

tante transformación del proceso creativo. La metodología BIM, junto con los sistemas de organización bajo metodología LEAN y, en definitiva, la industrialización del sector de la edificación, va a suponer un cambio muy profundo en este sector, lo que va a representar grandes exigencias de formación y adaptación a los nuevos entornos de trabajo.

En paralelo a ello, el llamado “internet de las cosas”<sup>3</sup>, se hará patente en las nuevas edificaciones y en las rehabilitaciones. Una oleada de nuevas tecnologías de realidad virtual y realidad aumentada, Big Data y otras muchas, que surgen del intercambio de operatividades para lograr mayor eficiencia y calidad en los procesos edificatorios.

El escenario del arte-técnica se recrea durante todo el proceso de investigación de Piel-Sen como una interacción de dos agentes activos que actúan simultáneamente y que moldean las mejoras del modelo. Éste proceso de investigación operativa se describe en cada uno de los artículos previos mencionados hasta alcanzar la Bioconectividad con la biología y convergiendo hacia la Internet de las cosas, provocando una relación multipolar.

## 2.5. Biología

La Bioconectividad no sólo se basa en conexiones para telecomunicaciones, sino que tiene en cuenta el medio que transporta las comunicaciones a frecuencias determinadas, la piel y sus teselas, que se componen de micas, mínima unidad considerada del sistema. Una captación de la energía electromagnética supone una multipolaridad obligada. Pensar en el proceso como obtención de resultados colabora con el sistema de traducción de distintas disciplinas variadas. Los efectos multiplicadores de la superposición de conocimientos manejan consecuencias diferentes. Las formas también son contemporáneas. Un pop art científico que transgrede multitud de etapas previas que no son necesarias para entender el símbolo de ADN. Un comportamiento existente en la naturaleza del electromagnetismo. Una multipolaridad hacia la Bioconectividad multipolar en la que todo está relacionado con todo, todo forma parte de algo y tiene un comportamiento específico.

La piel está compuesta de múltiples elementos que están interconectados entre ellos como en el cuerpo humano. La realización de una autopsia inversa entremezcla los componentes haciéndose solidarios en su comportamiento. La reproducción de un tejido con su real complejidad que puede ser diseñado artificialmente. Reproducir la naturaleza replicando artificialmente [7].

En una constante investigación operativa la aplicación de la “intuición + compleja”<sub>1</sub>, conduce a localizar el modelo natural que funciona de manera semejante al fenómeno intuitivo. De ahí lo necesario del olvido, la necesidad de vaciar para poder volver a intuir. La rosa de los vientos interna del sistema pilota el viaje. Lo que permite agudizar el hallazgo es conocer lo que se busca e interpolar su comportamiento a algo inerte. Para aplicar la bioconectividad hay que dar vida a los edificios, canalizar su energía y dotarles de sensibilidad [7]. Generar organismos que reaccionan al medio. Con un intercambio permanente que permite esos sucesivos equilibrios que duran pocos instantes.

Existen multitud de intercambios interconectados que pueden ser dirigidos desde el mecanismo tecnológico de la piel. El agua de lluvia o el sol más cálido es recepcionado por la piel y provoca diversas interconexiones combinadas que regulan el funcionamiento de la membrana para adaptarse a las condiciones de bienestar. El edificio pasa a formar parte del medio y la frontera protectora también se flexibiliza en su comportamiento. Los objetos arquitectónicos pasan a ser organismos con sensibilidad que aprovechan sus recursos para

proporcionar confort. La captación de la energía conlleva una capacidad de generación que devuelve al medio lo recibido. Una concepción colaborativa del proceso que con tanta naturalidad se desarrolla en nuestros días.

Los resultados son enriquecidos por el propio proceso. Una optimización permanente parte de modelos previos comprobando lo eficaz y la eficiencia de la solución. Múltiples soluciones que se intercalan según las necesidades. La escalabilidad es operativa en todo el recorrido. La convergencia o divergencia de la metodología facilita moverse en franjas anchas de resultados hasta llegar a la precisión precisa. La multitud de paredes celulares con caracterización propia. Formando parte del mosaico de elementos sincronizados a un tiempo.

El escenario biológico es una vuelta a la vinculación con la naturaleza que hace tangible lo imaginado.

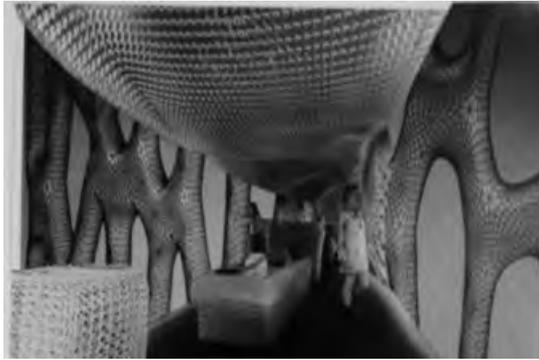


Figura 3: Modelo conceptual PielSen. PielSen©.

### 3. CONCLUSIONES

Conectar distintos estadios del conocimiento: el biológico, el arte-técnica e IOT<sub>3</sub>, permite descubrir la manera de hacer lo que antes resultaba complejo de manera natural. La tecnología genera artefactos en consonancia con el medio ambiente. La digitalización de los edificios puede aproximarse a la naturaleza.

La concepción de las soluciones para la edificación ya no tiene porqué ser superficiales, en la era del conocimiento tridimensional digitalizado la escultura tiene mayor cabida que nunca, la literatura acompaña un proceso con música de fondo que conciben modelos insertos en el momento cultural tecnológico que busca sus referencias en la naturaleza.

La bioconectividad multipolar es una actitud operativa.

#### 4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Sebald, W.G.(2006) *Del natural*. Barcelona. Editorial Anagrama. ISBN 978-84-339-7052-7 EAN 9788433970527.
- [2] -Næss, Arne (1973) *The Shallow and the Deep. Long-Range Ecology Movement*.
- [3] Hernández, R. (2012). *Recursos medioambientales aplicados a la arquitectura contemporánea*. Madrid. CONAMA 2012. ISBN 978-84-695-6377-9.
- [4] Hernández, R (2012). *Los zahoríes de la energía*. Madrid. I Congreso SMART GRIDS 2012. ISBN 978-84-695-4678-9 DL M 33524-2012.
- [5] Hernández, R. et Turrado, E. (2016) *Investigación sobre pieles sensibles*. Madrid. CONAMA 2016. ISBN 978-84-617-7390-9.
- [6] Turrado, E. et Hernández, R. (2016) *Regeneración urbana a través de los espacios exteriores*. CONAMA 2016. ISBN 978-84-617-7390-9.
- [7] Galiano, M, Hernández, R. et Turrado, E. (2017) *Los edificios tienen vida. PielSen 2.0*. Madrid. III Congreso Edificios Inteligentes 2017. ISBN 978-84-697-3491-9.

**THE FLOW BUILDING® LEAN GAME: UNA DINÁMICA INNOVADORA  
CREADA EN ESPAÑA PARA LA ENSEÑANZA DE LEAN CONSTRUCTION**

PONS ACHELL, JUAN FELIPE

*Arquitecto Técnico - Profesional Liberal, Castellón, España*

*E-mail: [jpons@juanfelipepons.com](mailto:jpons@juanfelipepons.com), Web: [www.juanfelipepons.com](http://www.juanfelipepons.com)*

**PALABRAS CLAVE:** Lean Construction, Last Planner® System, Takt Time, Flujo Continuo, Planificación Pull.

**RESUMEN**

En 1992 Lauri Koskela estableció las bases teóricas de Lean Construction (LC) en su documento “Aplicación de la nueva filosofía de la producción a la construcción” [6] y en 1993 se creó el International Group for Lean Construction (IGLC) para impulsar desde el mundo académico esta filosofía de producción. Aunque en España, LC no empezó a tomar impulso hasta 2010 a raíz de la creación del Spanish Group for Lean Construction. El presente artículo se focaliza en la parte educativa de LC. La primera dinámica de juego específica para la enseñanza de Lean en la construcción surgió a finales los 90 en la Universidad de Berkeley, California [1]. Más recientemente, Tsao et al. describen en [9] diferentes perspectivas sobre la enseñanza teórico-práctica de LC y presentan un resumen de las principales simulaciones y conceptos que se abordan en las mismas, dejando un campo abierto a realzar nuevas aportaciones.

Una de las dificultades que han tenido los educadores de LC desde su origen, ha sido la de trasladar la enseñanza de unos conceptos procedentes en su mayoría de sectores industriales, a un sector como la construcción, en el que históricamente las técnicas de gestión de la producción han entrado de manera más tardía en comparación con la fabricación. En este sentido, el autor detectó la necesidad de nuevas herramientas educativas que facilitasen

la enseñanza y el aprendizaje de estos conceptos y herramientas, de manera que se sumen y aporten nuevas ideas a las ya presentadas en [9] y [11].

El objeto del presente artículo es describir las dos dinámicas educativas creadas específicamente para la construcción, en cuyo diseño ha participado el autor. Se exponen sus principales características y elementos de innovación educativa, así como los conceptos de Lean Construction incluidos dentro del programa de aprendizaje. Los principales conceptos y herramientas de LC que se enseñan en ambas dinámicas son las que se indican en la tabla 1, entre las cuales destacan la metodología del Last Planner® System, la Planificación Pull, el Yamazumi Board y el Takt Time Planning. Por último, se describen las conclusiones obtenidas, tras dos años de aplicación de estas metodologías por parte del autor.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las dinámicas de juego desarrolladas desde los orígenes de Lean para enseñar sus principios, herramientas y conceptos se han centrado históricamente en la industria de la fabricación, donde son las piezas semielaboradas las que se mueven de una estación de trabajo hasta la siguiente, siguiendo un proceso aparentemente lógico, aunque sometidos también a la variabilidad y la incertidumbre. La principal dificultad que se tuvo en la creación de las dos dinámicas objeto de este artículo fue la de adaptar algunos de los principios Lean a procesos productivos como los de la construcción, donde son principalmente las personas y la información, y no el producto, quienes se mueven a lo largo del flujo de producción; con la dificultad añadida de las tres peculiaridades de la construcción que describe Koskela en [2]: producto de naturaleza única, un lugar único cada vez y con una organización temporal.

The Flow Building® Workshop es lo que se ha definido como un taller educacional en el que, en un periodo breve de tiempo, normalmente entre 2 y 3 días, se enseñan a grupos de estudiantes, los principios y herramientas fundamentales de LC a través de un conjunto de juegos, simulaciones y actividades dinámicas, capaces de transmitir de una forma inspiradora, motivadora y divertida conceptos que, de otra forma, serían más difíciles de entender y asimilar. Las dos dinámicas objeto de este artículo son [8]:

1. The Flow Building® Lean Game, que a su vez da nombre a todo el conjunto de dinámicas y;
2. The Pull Planning® Lean Game.

Sin entrar al detalle del desarrollo de las dinámicas, ya expuestas por ejemplo en [3] y [4], en los puntos 2 y 3 de este artículo se hacen breves comentarios introductorios para facilitar su comprensión durante la lectura del artículo. Por otra parte, en los siguientes 3 sub-apartados de esta introducción, se hace un breve resumen de los principales conceptos y herramientas que se abordan en las dos dinámicas educativas objeto este artículo, con el objetivo de facilitar la comprensión de los principales conceptos, técnicas y herramientas que se desarrollan en ambas dinámicas.

Por otra parte, otro aspecto que se aborda en las conclusiones de este artículo, además de la descripción de las dos dinámicas ya mencionadas, son los resultados obtenidos tras haber enseñado Lean Construction a través de esta metodología educativa durante sus 2 primeros años de existencia en diferentes grupos de personas dentro del sector de la Construcción.

### 1.1 Lean Construction como filosofía de trabajo

Se recogen las principales ideas y conceptos del Sistema de Producción Toyota (SPT) [5] y los beneficios de Lean Construction nombrados ya por Lauri Koskela en 1992 [6]: reducir la cuota de actividades sin valor añadido (identificación y eliminación de los 7 despilfarros de Taiichi Ohno), colaboración, aumentar la transparencia del proceso, participación temprana de los actores clave, reducir la variabilidad, reducir el tiempo de entrega, identificación temprana de problemas y restricciones, focalizar el control sobre el proceso completo versus los intereses individuales y construir la mejora continua desde dentro del proceso. Tanto los principios Lean y los del SPT como los beneficios nombrados por Lauri Koskela se ven reflejados a través de la simulación en ambas dinámicas de juego.

### 1.2 Principio de Producción Pull y Takt Time Planning

Según Tommelein et al. [1], el flujo de trabajo se puede caracterizar de diferentes maneras. En fabricación se define por máquinas estacionarias, con productos parcialmente completados que se transportan de una estación de trabajo a otra. En construcción, sin embargo, los productos que se construyen tienden a ser estacionarios, mientras que las diferentes cuadrillas se mueven de un lugar a otro, completando el trabajo que es requisito previo para que el siguiente oficio pueda empezar a trabajar.

A pesar de que adaptar el principio de producción Pull a los procesos constructivos ya representa una dificultad en sí mismo, nuestro desafío original fue crear una herramienta educativa de manera que fuera fácil de aprender y posteriormente de implantar por parte de los estudiantes que participan en las dinámicas. Esto se consiguió finalmente, mediante la simulación de la construcción de un conjunto de apartamentos en la que los estudiantes aplican la metodología del Takt Time Planning para implantar un sistema de producción Pull, en flujo de una sola pieza, con entrega de materiales Just in Time y construyendo al ritmo de la demanda real del cliente.

### 1.3 Last Planner® System

Glenn Ballard y Greg Howell desarrollaron y publicaron a lo largo de los años 90 a través de diferentes artículos, un sistema de planificación y control de la producción para proyectos de construcción llamado Last Planner® System (LPS), finalmente teorizado en la Tesis de Ballard de 2000 [7], que con el paso de los años se ha convertido en una herramienta clave para implantar con éxito Lean Construction en proyectos de construcción y en un estándar de la planificación colaborativa y la planificación Pull.

El LPS se empezó a implantar con éxito por primera vez a finales de la década de los 90, convirtiéndose con el paso de los años, en una referencia en la gestión de la planificación y el control de la producción en procesos de construcción, sin embargo, la transición de la teoría a la práctica no ha sido un camino de rosas para los formadores e implementadores. Los conceptos de LC, a pesar de que conceptualmente no requieren de gran complejidad, a veces son entendidos como *“algo que proviene del sector industrial y es difícil de aplicar en la construcción”* para quienes tienen que liderar el proceso de producción en la construcción e implementar LPS, normalmente los encargados y jefes de obra. Éstos, a su vez, pueden entender LC y LPS como sistemas que revolucionan las metodologías clásicas de

planificación y control de obras que ellos han utilizado siempre, dentro de una industria históricamente tradicional como la de la construcción, si la comparamos con otras industrias como la del automóvil o la aeronáutica.

## **2. METODOLOGÍA DE THE FLOW BUILDING® WORKSHOP**

Los educadores Lean se están alejando de los métodos tradicionales de impartir cursos que se enfocan principalmente en clases teóricas y exámenes, y caminan hacia métodos más interactivos que promueven el pensamiento crítico y la discusión entre educadores y estudiantes [9].

A través del juego, los participantes tienen la oportunidad de experimentar por sí mismos las diferencias entre un sistema de producción tradicional y un sistema de producción Lean, así como aplicar por sí mismos las principales herramientas y conceptos del sistema LC. Esta metodología educativa, que está ganando interés en aulas de todo el mundo y de casi todas las disciplinas, se conoce como gamificación.

A través de este proceso educativo y a partir de unas breves introducciones conceptuales previas, los alumnos pueden interactuar entre ellos y con las partes, estimulan sus capacidades para mejorar la creatividad, la resolución de problemas, la toma de decisiones, la colaboración y el trabajo en equipo, de una manera lúdica e inspiradora, que, además, como dice Bolívar en [10], tiene una capacidad de retención de conocimientos superior a los métodos tradicionales. Otro aspecto fundamental de la metodología que hemos usado es que, dentro del aula, el formador adopta el papel coach, que ayuda al equipo a que ellos mismos resuelvan los problemas hasta encontrar una solución óptima al reto planteado. Esto último, resulta también inspirador para los futuros jefes de obra, encargados y directores o coordinadores de proyecto, los cuales entienden que su rol y la forma en la que se relacionan con los diferentes agentes de la construcción va a cambiar cuando tengan que usar este sistema productivo.

En el caso de las dinámicas objeto de este artículo, para lograr todas estas ventajas en un entorno de Arquitectura, Ingeniería y Construcción hemos creado una simulación física y real que, en la primera dinámica, consiste en la construcción de un conjunto de edificios iguales con piezas de LEGO® y en la segunda, en la construcción de un edificio único con elementos de PLAYMOBIL®. De esta manera, se analizan tanto procesos repetitivos como proyectos prototípicos. En el siguiente punto se explica brevemente en qué consisten estas dos dinámicas, qué conceptos se aprenden en cada una de ellas y los resultados obtenidos tras dos años de aplicación.

### 3. LAS DINÁMICAS: DESCRIPCIÓN Y RESULTADOS

#### 3.1 The Flow Building® Lean Game



Figura 1: Dinámica The Flow Building®.  
Gremio de Constructores de Barcelona, mayo 2016.

El juego consta de 3 rondas. Los participantes tienen 12 minutos para construir 8 bloques de apartamentos y durante las 3 rondas de juego se cubren los conceptos Lean que se indican más adelante en la tabla 1. En la primera ronda, los alumnos tratan de construir los apartamentos siguiendo una organización y una gestión de proyectos tradicional como *“la que se ha hecho toda la vida”*. La situación de partida en la ronda 1 no es de caos, sino que se parte de una situación relativamente ordenada. Este matiz se introdujo precisamente para demostrar que un sistema Lean supera incluso una forma de trabajar con buenas prácticas profesionales pero que operan bajo un sistema de producción tradicional, anterior a Lean. Por último, en la segunda y tercera ronda, los estudiantes, implantan las diferentes herramientas y conceptos indicados en la tabla 1, hasta lograr el objetivo inicialmente propuesto.

#### 3.2 Resultados de The Flow Building® Lean Game

En The Flow Building® se realiza un análisis comparativo al final de cada ronda de juego, de los indicadores clave del proceso. Esta información, además, se recoge en un tablero visual de indicadores para facilitar su comprensión y análisis. En la Figura 2 se aprecian los valores típicos obtenidos en una de las sesiones, pudiéndose apreciar de manera evidente, las ventajas tras la aplicación de las herramientas Lean. Los resultados económicos y financieros en cada una de las 3 rondas también son analizados, mostrando evidencias claras de mejora en la relación ganancias/pérdidas.

Indicadores:	Ronda 1	Ronda 2	Ronda 3
Seguridad (valorar de 0 a 10)	2	5	8
Calidad Deficiente	10	5	1
Productividad/Coste	38%	63%	100%
Tiempo total transcurrido (minutos/días)	12	12	12
Productos entregados	3	5	8
Espacio utilizado	40	20	20
Nº Empleados	6	6	6
Trabajo en curso (WIP)	18	4	0
Lead Time ó plazo de entrega (segundos)	600	396	300
Involucración del Personal (de 0 a 10)	1	4	10

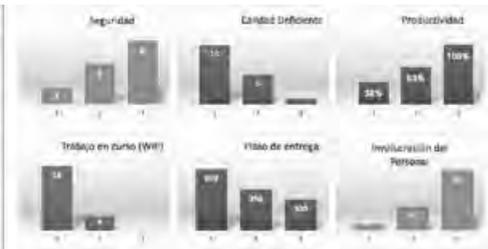


Figura 2: Tablero de indicadores clave del proceso.

Una de las herramientas más innovadoras que se incluyen en esta dinámica y que dio lugar a un mayor desafío fue la de adaptar el concepto de Takt Time del Lean manufacturing a una dinámica de juego de Lean Construction a través de la técnica de planificación Takt Time Planning [13]. Tanto el Location Based Management System (LBMS) como el Takt Time Planning (TTP) son dos técnicas usadas bajo el paraguas de Lean Construction. Tal y como se describe en [12], ambos son métodos de diseño iterativo para planificar y controlar el trabajo de construcción, ambos se enfocan en crear un cronograma de producción equilibrado con un cronograma de trabajo predecible a la vez que previene la interferencia espacial entre los intercambios, pero difieren en cómo logran estos objetivos. En las figuras 3 y 4 podemos ver los resultados gráficos, resultado de equilibrar las cargas de trabajo de los diferentes oficios de un proceso constructivo. Esta técnica es una de las diferencias entre el LBMS y el TTP.

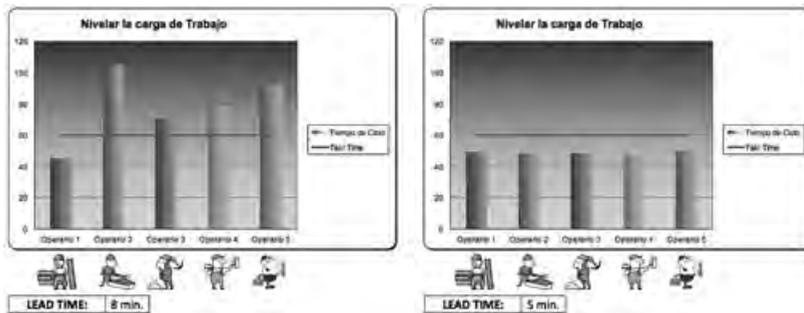


Figura 3: Gráfico Yamazumi o nivelado de la carga de trabajo, comparativo de las rondas 2 y 3.

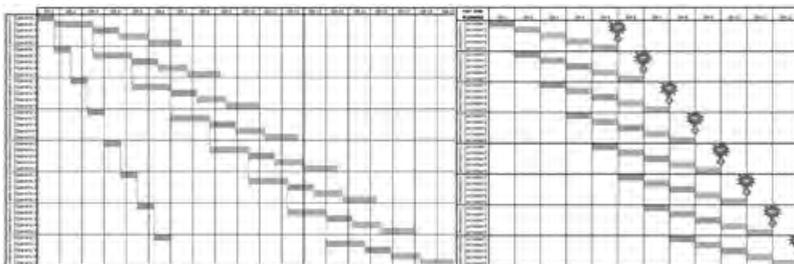


Figura 4: Comparativo de la Planificación por áreas entre la ronda 2 (izquierda) y 3 (derecha).

### 3.3 The Pull Planning® Lean Game

Esta dinámica fue creada específicamente para enseñar la metodología del Sistema del Último Planificador (LPS por sus siglas en inglés). El objetivo de esta dinámica es construir una edificación (una vivienda unifamiliar o un hospital) en menos de 20 minutos (cada minuto representa un día de construcción), sin defectos de calidad y según las especificaciones precisas del cliente. En esta simulación, cada estudiante asume un rol específico de sub-contratista, jefe de obra, director de proyectos o cliente. La dinámica consta de 3 partes, a lo largo de las cuales se ponen en práctica todas las fases, conceptos, elementos y reuniones del LPS, como si se tratara de una obra real.



Figura 5: Etapa de la Pull Session y el LookAhead Planning del LPS, impartida en IFEMA Madrid en abril de 2017, para los 5 equipos de Arquitectura finalistas del Reto del Edificio Zero de Kömmerling.

En la primera parte, los participantes tienen que construir la edificación de acuerdo con una gestión y planificación de proyectos tradicional, utilizando un diagrama Gantt clásico y bajo las órdenes de un jefe de obra o director de proyectos, que son quienes tienen la información, planifican y dan las órdenes de producción de arriba hacia abajo.

La segunda parte consiste en realizar una planificación Pull y colaborativa, mediante la simulación de una de las etapas del LPS denominada *Pull Session*, y a continuación, también de forma colaborativa, realizar la siguiente etapa del LPS llamada *LookAhead Planning* o planificación a medio plazo.

En la tercera y última parte, los participantes construyen la misma edificación de acuerdo con el plan de producción que ellos mismos han diseñado de forma colaborativa y trabajando en equipo. En esta fase de la simulación, cada semana tiene una duración de 5 minutos, de lunes a viernes, un minuto por día. A diferencia de la primera parte, en esta última pararemos el reloj cada 5 minutos para simular las siguientes etapas del LPS: *Weekly meeting* o reunión semanal, el *Stand-up meeting* o reunión de pie, y poder realizar ciclos PDCA de Deming completos, como parte de la mejora continua Lean.

Por último, cabe destacar que el uso de elementos de Playmobil en esta dinámica, en lugar de Lego, ha traído fundamentalmente 2 beneficios: aumentar el realismo dada la similitud de las piezas empleadas con las de un proyecto real y el hecho de que, al ser piezas más grandes, éstas son más fáciles de manejar sobre todo en grupos de oficiales de obra y encargados que normalmente han tenido más dificultad en usar las piezas de Lego, ya que son más pequeñas y difíciles de manejar.



Figura 6: Estudiantes discutiendo y planteando soluciones de manera colaborativa en la tercera y última fase. Workshop celebrado en la University of Salford, Media City, Manchester, U.K., Abril de 2016.

### 3.4 Resultados de The Pull Planning® Lean Game

En The Pull Planning® Lean Game los participantes han de construir dos veces la misma edificación. La primera vez, siguiendo métodos de gestión de obra tradicionales, tardan de media entre 45 y 60 minutos en construir la edificación, con defectos de calidad, poca involucración del equipo y sin cumplir las especificaciones del cliente, mientras que la segunda vez, y tras haber implantado todas las fases del LPS, consiguen terminar la construcción en un tiempo medio entre 15 y 20 minutos, es decir, 3 veces menos. Un equipo logró terminarla en 12 minutos y medio. El impacto del llamado “efecto aprendizaje” es mínimo ya que solo hay 2 oportunidades de construir la casa y, además, hemos cambiado los roles de las personas en cada ronda y los resultados han sido exactamente los mismos.

### 3.5 Conceptos enseñados

En [9] y [11] se realizó un análisis de las dinámicas usadas en construcción durante los últimos 15 años para la enseñanza de LC. Los ejercicios de simulación descritos en ambos artículos citados cubren por separado algunos de los siguientes conceptos: los 7 tipos de desperdicios, Value Stream Mapping, flujo continuo, Pull Planning, Last Planner System, variación en la producción, construir la calidad a la primera, las 5S, colaboración, trabajo en equipo, variación en la producción, resolución de problemas, Target Value Design y contrato relacional. Por otro lado, en la tabla 1 se muestra un resumen de los conceptos y herramientas enseñados en los dos juegos o dinámicas objeto de este artículo, que juntas cubren una amplia variedad de conceptos y añaden algunos nuevos, entre los que destacamos el Takt Time Planning y el Yamazumi Board, los cuales se suman y se complementan a los ya existentes.

Tabla 1: Resumen de conceptos Lean aprendidos en The Flow Building® Lean Game.

Conceptos LEAN	The Flow Building®	The Pull Planning®
Metodología del Last Planner® System		x
Planificación Pull		x
Planificación colaborativa		x
Identificación y eliminación de los 7 despilfarros	x	x
Poka-Yokes	x	x
Metodología de las 5S	x	x
Estandarización de procesos	x	x
Visual management y mejora de la comunicación	x	x
Systems Thinking y enfoque holístico	x	x
Ciclo PDCA de Deming	x	x
Principios de Pull y Flujo Continuo de trabajo	x	x
Optimización de la logística y el área de trabajo	x	x
Análisis causa raíz y resolución de problemas	x	x
Lead Time y Tiempo de Ciclo	x	
Identificación y reducción de cuellos de botella	x	
Yamazumi Board (Nivelar la carga de trabajo)	x	
Takt Time Planning	x	
Kanban de producción y de suministro	x	
Sistema Pull de producción versus Push	x	
Flujo de una sola pieza versus grandes lotes	x	
Impacto de la mala calidad en un sistema Push	x	
Value Stream Mapping	x	
Impacto de la variabilidad en la producción	x	

#### 4. CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

Las dinámicas presentadas en este artículo han sido enseñadas en España y Reino Unido desde enero de 2016 en grupos de alumnos que incluyen directivos, estudiantes universitarios, jefes de obra y técnicos de diferentes especialidades. También han participado diferentes agentes de la industria de la construcción como: promotores, constructores, fabricantes y proyectistas. Dicha variedad demuestra que ha habido una unanimidad en el sector de la

construcción en la aceptación de estos métodos. El feedback positivo recibido por todos ellos en forma de encuestas y comentarios directos al finalizar las sesiones, nos permite concluir la validez de estas dinámicas y metodologías de enseñanza y al mismo tiempo debe animar a otros investigadores a sumar nuevos conceptos y juegos lean para este mismo propósito.

La conferencia “Experiencias en la aplicación de Lean Construction en España” organizada por el ITEC en octubre de 2017, puso en evidencia el creciente interés que hay en España en LC, aunque, por otro lado, el desconocimiento de esta materia en general también se hace evidente. Por el contrario, prácticamente entre un 90-100% de las personas que han participado en estos talleres formativos han manifestado a través de encuestas o feedback directo su deseo de aplicar los principios de LC y hacer todo lo posible para aplicarlos en sus proyectos, así como enseñarlos a otros en su ámbito profesional.

Una constante en ambas dinámicas es que edición tras edición, se han ido incorporando mejoras procedentes tanto de los formadores como de los propios alumnos, lo cual está en línea con los ciclos PDCA de Deming y el 5º principio Lean de Perfección o búsqueda continua del ideal. En cada taller se anima mucho a que los alumnos piensen y diseñen las mejores soluciones y se empoderar al alumnado a que alcance la meta mediante el trabajo en equipo y la colaboración que son características típicas de Lean y de este tipo de dinámicas. Y edición tras edición, no hemos dejado de sorprendernos de la creatividad latente que hay en muchos de los alumnos, que según nos manifiestan, no siempre tienen la oportunidad de trasladar a sus empresas u organizaciones.

Aunque la razón original de estas dinámicas fue facilitar el aprendizaje de LC, el feedback positivo recibido ha servido para crear un kit educativo con todos los contenidos necesarios para que otros puedan aprovechar sus ventajas.

En otras simulaciones sobre la temática Lean se han usado piezas de LEGO®, pero no se habían empleado antes piezas de PLAYMOBIL® en un entorno de Lean Construction. Las ventajas del uso de este tipo de piezas, ya descritas en el punto 3.3, ha sido un aspecto muy bien valorado por los participantes en los talleres.

Las metodologías expuestas en este artículo para enseñar los conceptos de LC han probado su eficacia en comparación con las clases teóricas en las que un profesor habla y un grupo de estudiantes se limitan a escuchar, tal y como han manifestado los participantes en cada una de las sesiones, y se apuntó en el apartado 2 de este artículo. Además, coincide con las conclusiones de otros autores citados aquí como en [1], [9], [10] y [11].

Estas metodologías no son nuevas, pero llevan poco tiempo en el sector de la construcción. Este artículo ha mostrado sus ventajas en el ámbito educativo de LC. Al mismo tiempo, hay un amplio recorrido para crear nuevas y más variadas dinámicas, que ya existen en lean manufacturing. Por último, existe un amplio abanico de posibilidades para que otros autores sigan investigando y desarrollando nuevas dinámicas de juego para enseñar Lean Construction, sobre todo en lo referente a Lean Integrated Project Delivery, donde hay todavía escasa o nula bibliografía sobre dinámicas educativas referidas a este tema.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS (Y CITAS EN EL TEXTO)

- [1] Tommelein, I. D., Riley, D., & Howell G. A. (1998). Parade Game: Impact of Work Flow Variability on Succeeding Trade Performance. Proceedings of the International Group for Lean Construction. Guarujá, Brasil.
- [2] Koskela, L. (2000). An Exploration Towards a Production Theory and its Application to Construction. Publ. No. 408, VTT (Technical Research Centre of Finland), Helsinki. 2000. pág. 296 p.
- [3] Lean Construction Blog (2016, May 25). Teaching Lean Construction I: Pull & Flow. <http://leanconstructionblog.com/Teaching-Lean-Construction-Pull-And-Flow.html>
- [4] Lean Construction Blog (2016, August 3). Teaching Lean Construction II: Last Planner System. <http://leanconstructionblog.com/Teaching-Lean-Construction-Last-Planner-System.html>
- [5] Ohno, T. (1988). Toyota Production System: beyond large-scale production. Cambridge: Productivity Press. pág. 180.
- [6] Koskela, L. 1992. Application of the New Production Philosophy to Construction. Center for Integrated Facility Engineering, Stanford University: s.n., 1992. pág. 75 p.
- [8] The Flow Building y The Pull Planning son nombres comerciales registrados por el autor en el B.O.P.I con nº de expediente 0366027/3 y 0366031/1 respectivamente.
- [7] Ballard, G. (2000). The Last Planner system of Production Control. Thesis submitted to the Faculty of Engineering of The University of Birmingham.
- [9] Tsao, C., Azambuja, M., Hamzeh, F., Menches, C. & Rybkowski, Z. (2013). Teaching Lean Construction – perspectives on theory and practice. Proceedings IGLC-21, July 2013 | Fortaleza, Brazil.
- [10] Bolivar A. (2011) Enhancing the Construction Parade of Trades Game. 47th ASC Annual International Conference Proceedings.
- [11] Nofera, W., Abdelhamid, T., & Lahouti, A. (2015). Teaching lean construction for university students. Proceedings IGLC-23, July 2015 |Perth, Australia.
- [12] Frandson, A.G., Seppänen, O., and Tommelein, I.D., 2015. Comparison between location-based management and Takt Time Planning. In: Proc. 23rd Ann. Conf. of the Int'l. Group for Lean Construction, 28-31 July, Perth, Australia, pp. 3-12.
- [13] Blog de Juan Felipe Pons en LinkedIn (2017, Nov 19). Takt Time Planning en Construcción. <https://www.linkedin.com/pulse/takt-time-planning-en-construcción-juan-felipe-pons-achell/>.

## QUIÉN TIENE MAGIA NO NECESITA TRUCOS

SARDÁ MARTÍN, VÍCTOR<sup>1</sup>; CERVERÓ ROMERO, FERNANDO<sup>2</sup>;  
LLEDÓ PARDO, MARÍA JESÚS<sup>3</sup>; FUENTE JURIDÍAS, RAÚL<sup>4</sup>

<sup>1</sup> *Universidad Politécnica de Madrid (UPM), Madrid, España*  
*E-mail: victor.sarda@upm.es*

<sup>2</sup> *THiNK productivity, S.L., Valencia, España*  
*E-mail: fernando.cervero.romero@gmail.com*

<sup>3</sup> *THiNK productivity, S.L., Valencia, España*  
<sup>4</sup> *Universidad Politécnica de Madrid (UPM), Madrid, España*  
*E-mail: r.fuente@upm.es*

**PALABRAS CLAVE:** Programación de Obra, Gestión de Proyectos, Lean Construction, Last Planner.

### RESUMEN

Las metodologías y herramientas tradicionales en la gestión temporal de proyectos se hacen insuficientes hoy en día como demuestran múltiples estudios realizados por profesionales pertenecientes a empresas constructoras, o informáticas. [1]

Las continuas diferencias existentes entre las previsiones realizadas en la planificación inicial y la realidad generó la necesidad de un proyecto de investigación denominado “Proyecto de investigación para la determinación de las causas que originan las desviaciones en la ejecución de las obras” [5].

Las causas que originaron las desviaciones y los agentes que las provocaron son:

- Causas objetivas: son aquellas que existen realmente con independencia de la manera de pensar o sentir de los sujetos.
- Causas subjetivas: son aquellas que están vinculadas a la actitud y aptitud de las personas y organizaciones, lo que aumenta la dificultad de corrección.

En la actualidad, están emergiendo nuevas metodologías de trabajo y herramientas que las apoyan a través del Lean y la digitalización. Las empresas ya utilizan herramientas informáticas para digitalizar toda la información que se recibe de métodos de trabajo como Last Planner para la planificación. Los resultados demuestran la mejora contundente en las causas reflejadas en el estudio mencionado, desde las planificaciones, estimaciones y suministros, hasta en el control del programa, mejora en la comunicación y por supuesto en el registro de lo ocurrido y análisis de las causas.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las metodologías y herramientas tradicionales en la gestión temporal de proyectos se hacen insuficientes hoy en día como demuestran múltiples estudios realizados por profesionales pertenecientes a empresas constructoras, o informáticas [1].

Las continuas diferencias existentes entre las previsiones realizadas en la planificación inicial y la realidad generó la necesidad de un proyecto de investigación denominado “Proyecto de investigación para la determinación de las causas que originan las desviaciones en la ejecución de las obras” [1].

Dentro de este proyecto de investigación se encontraron dos tipos de causas que producen las diferencias entre la previsión y la realidad. Las primeras se denominan causas objetivas que son aquellas que existen realmente con independencia de la manera de pensar o sentir de los sujetos y las segundas se denominan causas subjetivas que son aquellas que están vinculadas a la actitud y aptitud de las personas y organizaciones, lo que aumenta la dificultad de corrección.

## 2. COMUNICACIÓN

Las causas objetivas que son aquellas que existen realmente con independencia de la manera de pensar o sentir de los sujetos. Dentro de éstas, por su aparición reiterada, ya sea de manera aislada o combinada con otras, y representatividad deben ser destacadas las siguientes:

### 2.1 Planificación deficiente

Una planificación que no representa la realidad a ejecutar no puede calificarse como buena, y conducirá a la existencia de tiempos muertos surgidos por la imposibilidad de acoplar una secuencia irreal de actividades.

La falta de claridad de la red que representa la planificación convertirá a ésta en algo que no encontrará aceptación en ninguna parte, puesto que impedirá a los miembros del equipo encontrar en la lectura de este confuso plan las decisiones adoptadas para la posterior ejecución del proyecto.

Los objetivos establecidos por la planificación y programación deben ser hechos claros y alcanzables, no sin cierta dificultad, pero nunca de imposible realización.

Es necesario que los objetivos previstos en la planificación hayan sido consensuados con los responsables de su realización, puesto que serán ellos los que conocerán las dificultades que entrañará su ejecución.

Por último, no plantear la planificación como un fin en sí mismo, sino como un medio

susceptible de ser revisado como condición necesaria para conseguir los objetivos previstos, siendo esto el verdadero fin a lograr.

También contribuye a dificultar la realización de la planificación la incompatibilidad entre los sistemas de costes que aparecen en los presupuestos y la descomposición de actividades que aparecen en una red. [1]

## 2.2 Estimaciones y previsiones deficientes

El diario “elEconomista”, teniendo como fuente la agencia “Europa Press”, publicaba el 3/11/06 que “Las obras de ampliación del aeropuerto de Madrid-Barajas superaban en diciembre de 2004 ampliamente el coste y los plazos previstos en el Plan Director diseñado en 1999, según dictamina el Tribunal de Cuentas en su informe de fiscalización de las principales actuaciones realizadas por Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea (AENA) en desarrollo de ese plan”. Entre las causas que determinaban esta desviación, el órgano de fiscalización señalaba las deficiencias en la planificación y programación de las actuaciones debido a la existencia de previsiones poco realistas tanto en la ejecución de los planes directores, como a la hora de realizar las contrataciones.

No es un problema nuevo el hecho de que algunas desviaciones temporales tienen causa en las malas estimaciones. Si éstas son realizadas por las jefaturas de obra o personal de producción, y aunque la experiencia propia permite imaginar las condiciones futuras de forma realista para poder hacer previsiones acertadas, la aversión a lo desagradable hace que piensen en una ejecución idílica sin plantearse la posibilidad de que existan problemas que la puedan dificultar.

Mucho peor es que las estimaciones tengan su origen en la dirección de la empresa o el departamento de ventas, los que, con la intención de que se les adjudique la ejecución del proyecto o vender su producto respectivamente, tienen expectativas poco realistas cuyo no cumplimiento posterior es siempre achacado a la incompetencia del equipo de proyecto.

Con todo, estas estimaciones no dejan de ser predicciones aproximadas del futuro, que por concepto serán inexactas y nunca deben ser consideradas como verdades absolutas. Se dice esto para que la falta de precisión milimétrica de las estimaciones no sea considerada como un argumento para no gestionar temporalmente los proyectos, ya que las técnicas son lo suficiente flexibles para que la metodología obtenga resultados admisibles utilizando datos que no son exactos. [1]

## 2.3 Contratación deficiente

El contratar a un precio bajo una obra por parte de una constructora tiene como consecuencia la necesidad que tiene ésta de subcontratarlo a un precio menor.

Este hecho, junto con la poca cualificación que tenga posiblemente el elegido, se convertirá en causa de las desviaciones temporales.

El hecho descrito en el párrafo anterior no tiene su origen en nuestros días, sino que puede constatarse en una carta que Sebastián Vauban, Comisario de Fortificaciones de Luis XIV, envía al Ministro francés de la Guerra en la que ya ponía de manifiesto aquello de:

“... Hay algunos trabajos en los últimos años que no han terminado y que no se terminarán, y todo esto, Monseñor, por la confusión que causan las frecuentes rebajas que se hacen en sus obras, lo que no sirve más que a atraer como contratistas a los miserables, pillos o

ignorantes, y ahuyentar a aquéllos que son capaces de conducir una empresa. Yo digo más, y es que ellos retrasan y encarecen considerablemente las obras porque esas rebajas y economías tan buscadas son imaginarias y lo que un contratista que pierde hace lo mismo que un náufrago que se ahoga, agarrarse a todo lo que puede; y agarrarse a todo, en el oficio de contratista es no pagar a los suministradores, dar salarios bajos, tener peores obreros, engañar sobre todas las cosas y siempre pedir misericordia contra esto y aquello [...]”.[1]

## **2.4 Disponibilidad deficiente de recursos**

Dentro de los recursos utilizados en la realización de actividades, es la mano de obra la que ocupa una relevante posición en el sector de la edificación frente a las necesidades mayoritarias de maquinaria demandadas por la obra civil.

La planificación inicial queda reflejada en una red en la que están representadas las actividades no críticas, y aquellas que, siendo críticas, determinan una duración posible del proyecto. No obstante, la duración real de la obra, y los posibles tiempos de iniciación, dependen de los recursos disponibles durante la ejecución del proyecto. En efecto, una vez que se tienen en cuenta las restricciones de recursos, muy frecuentemente se establece una nueva ruta crítica. Por tanto, debe hacerse una distinción entre los programas que son técnicamente factibles, y aquellos que son realmente cumplibles.

Si las necesidades de recursos de un determinado programa exceden el límite disponible de recursos, ya que se suele asignar el mismo recurso a múltiples proyectos, habrá que buscar la forma de encontrar una programación realista, puesto que de ninguna manera se puede lograr la duración técnicamente factible.[1]

## **2.5 Falta de previsión en aprovisionamientos o suministros**

Se está ante un sector en el que existe una racionalización escasa de los procesos productivos, lo que determina la existencia de un alto nivel de improvisación. Existen tareas en las que el único motivo por el que no se pueden ejecutar es la no existencia de los materiales necesarios para su realización. Los suministros se tratan de tareas de “espera” que son absolutamente necesarias para el avance de la obra, afirmación que parece innegable en el caso de la carpintería exterior cuya colocación está precedida por una petición y suministro de precercos, fabricación y colocación de una muestra, aprobación por parte de la Dirección del Proyecto, y, por último, la fabricación y suministro de la carpintería exterior demandada por la obra. [1]

## **2.6 Errores de proyecto- Cambios en el proyecto**

La intención de ahorrarse honorarios a la hora de encargar un proyecto, y las prisas que caracterizan este sector productivo están dentro de los motivos que generan errores de proyecto debido a un menor estudio y análisis de este, que, en algunos casos, se sustituye con una burda copia parcial de otro proyecto lo que provoca la existencia de datos discrepantes. Esta situación se convierte en causa de las desviaciones temporales al tener que cambiar, por ejemplo, una cimentación superficial por una cimentación profunda por tener el terreno de la obra condiciones distintas a las descritas en el documento contractual.

Los cambios en el proyecto no tienen por qué tener su origen en un error de este, sino

que, al no participar los usuarios finales del producto en su realización, sus especificaciones y alcance son susceptibles de modificación. No siempre el cambio tiene un origen tan arbitrario, sino que puede ser debido a la entrada en vigor de nueva normativa aplicable. Es también la aparición de nuevas técnicas con las que superar el concepto artesanal de la edificación las que parecen generar una necesidad de cambio durante la ejecución del proyecto.

En la publicación ya citada sobre las obras de ampliación del aeropuerto de Madrid-Barajas, se señalaba por el Tribunal de Cuentas como causa que determinaba la desviación de los plazos la inclusión por parte de AENA de nuevos requerimientos o necesidades con posterioridad al inicio de las obras.

Estos cambios, cuya probabilidad de aparición es proporcional a la duración del proyecto, se convierten en causa de las desviaciones temporales por las demoras en su aprobación al existir una mala planificación de los cambios, por la gran cantidad de recursos que consumen, por la consideración de inutilidad que de estos cambios tiene el equipo de trabajo, lo que repercute en su productividad, y por convertirse en el origen muchos errores cometidos durante la ejecución del proyecto debido, entre otras cosas, por la duplicidad documental. [1]

## 2.7 Proyectos incompletos

La intención de ahorro de honorarios mencionada en el punto anterior y el comienzo del proyecto antes de recibir todas las especificaciones traerá como consecuencias la falta de definición inicial de los documentos del proyecto que va subsanándose de manera paralela al avance de las obras.

La realización del proyecto parece que no forma parte de la planificación y programación llevada a cabo por la empresa constructora. Esta consideración está muy alejada de la realidad, ya que estos trabajos tienen una influencia importante en los plazos de ejecución. En efecto no es raro ver actividades en una obra paradas en espera de recibir órdenes sobre cómo realizarlas, o planos para su ejecución. Las dificultades administrativas en forma de licencias o autorizaciones permiten también constatar la influencia de estos factores, que no suelen modificar la fecha de entrega del proyecto, tienen en las desviaciones temporales sufridas. [1]

## 2.8 Condiciones climatológicas

La edificación se trata de un sector productivo cuyas actividades se ejecutan al aire libre, por lo que las condiciones climatológicas contribuyen en gran manera a acrecentar el carácter de incertidumbre de las previsiones para el desarrollo de la obra.

El efecto de las condiciones climatológicas no es igual para todos los oficios que intervienen en la obra. Podrá suponer una paralización de la obra si ésta se encuentra en fase de movimiento de tierras, cimentación o estructura, o una cierta desviación de las tareas que comprenden la parte de acabados de la obra.

Sean cual sean las situaciones por las que ha pasado la obra, las condiciones climatológicas son unas de las causas más alegadas por las jefaturas de obra, ya que no es el resultado del análisis serio de los datos obtenidos de una planificación, programación y control realista de la ejecución del proyecto, sino de acudir al historial de los datos meteorológicos registrados en la Agencia Estatal de Meteorológica. Con todo, las Propiedades y Direccio-

nes de Proyecto parecen no tener en cuenta este hecho que está dentro de lo que la doctrina jurídica denomina “fuerza mayor”. [1]

Las causas subjetivas que son aquellas que están vinculadas a la actitud y aptitud de las personas y organizaciones, lo que aumenta la dificultad de corrección. Dentro de éstas, por su aparición reiterada, ya sea de manera aislada o combinada con otras, y por su importancia deben ser destacadas las siguientes:

## **2.9 Falta de apoyo de la Dirección**

La gestión temporal de proyectos por parte de las empresas constructoras depende del “cariño” con que sea aceptado ésta por la dirección de la compañía [2]. El primer paso lo tiene que dar una dirección empresarial, y no hacer recaer sobre los técnicos la responsabilidad de emprender el citado cambio.

El poco entusiasmo con que las direcciones de las empresas han recibido la racionalización de los procesos de producción es percibido por las jefaturas de obra. Este hecho, junto con la idea que se tiene en otras ocasiones de utilizar la gestión temporal de proyectos como una imposición que se convertirá en un látigo más que como una ayuda, justifican el rechazo de las jefaturas de obra lo que se convierte en otra de las causas de las desviaciones temporales del proyecto. [1]

## **2.10 Ejecución deficiente del trabajo por falta de capacitación de los recursos**

Hoy en día, cuando se envía por correo electrónico la programación de un proyecto no existen garantías de que el destinatario lo entienda o revise tal y como estaba previsto.

La efectividad de la programación reside en poder comunicar a sus usuarios las ideas que encierra, teniendo un valor añadido el que sean estos últimos los que hayan participado en su gestación.

Aunque es importante la experiencia del técnico, que le permite pensar en actuaciones alternativas y reconocer la importancia de ciertos hechos en una situación determinada, es también esencial que conozca el lenguaje de la gestión temporal de proyectos y los software de aplicación, que le permitan seguir una programación representada en una red, interpretar los datos obtenidos por el programa, y entresacar de esta ingente información aquella que responde a las necesidades de la dirección de la empresa.

El incumplimiento mayoritario de los plazos de las obras, y la percepción de que está ante una película cuyo desenlace nunca cambiará, se convierte en el argumento preferido de aquellos que prefieren evitar el esfuerzo que les supondrá la formación en este ámbito de la gestión de proyectos, y ante su falta de dominio del tema en cuestión adoptan la estrategia de negar su valor.

La perspectiva de la situación por parte de los recursos con alta formación tampoco deja de ser desalentadora puesto que suplen la falta de formación y cualificación del resto de recursos, lo que genera en los primeros, sensaciones frustrantes. La movilidad del personal que impide la formación de equipos coordinados por esa falta de continuidad, y la tendencia de asignar la realización de los proyectos a los recursos que van quedando libres, y no considerar la capacidad y experiencia de cada uno, son también hechos que no contribuyen a esa mejora de la capacitación que está, sin duda, entre las causas que originan las desviaciones temporales. [1]

## 2.11 Control deficiente del programa

Aun habiendo realizado un gran trabajo para la planificación y programación inicial, éste no se ve completado con un seguimiento adecuado del progreso del proyecto. La supervisión deficiente de los procesos se debe, en el mejor de los casos, a la falta de formación de los equipos en este aspecto de la gestión temporal de proyectos, pero sobre todo a la percepción del escaso valor que tiene este mecanismo de retroalimentación considerado como un proceso amenazante revelador de la incompetencia profesional y que supone, cuando menos, una pérdida de tiempo. Si esta sensación de ruleta rusa es la que tienen los técnicos cuando realizan el control de su programa, los datos resultantes carecerán de todo valor y sentido, y nunca nos informarán de la situación real del proyecto en el momento de ser revisado. [1]

## 2.12 Fallos en la comunicación

Asumiendo que la comunicación es un factor muy importante e influyente en el éxito de un plan, se puede decir que una ineficiente comunicación evita un entendimiento claro y puntual de la planificación, programación y revisiones de un proyecto por parte de todos los interesados en el mismo, y conduce a una escasa coordinación entre los intervinientes.

Uno de los objetivos que se pretenden conseguir con la comunicación, y con el protocolo creado al efecto, es mantener informados a los responsables del proyecto sobre la ejecución de este, y, por tanto, facilitarles la toma de decisiones. El problema detectado es que a menudo esta corriente de información tarda en atravesar los distintos niveles de la organización, lo que impide adoptar medidas correctivas que eviten las desviaciones temporales.

Es también interesante la comunicación como medio o cauce a través del cual estos responsables analicen, cuestionen y critiquen lo que inicialmente parecía una planificación coherente, una programación defendible, y unas revisiones realistas. El problema es que la información enviada contiene interpretaciones personales y adolece de integridad en los datos, todo ello con la intención de que lo comunicado se ajuste a las previsiones iniciales, y por mera cuestión de supervivencia la verdadera realidad no inquiete a la dirección de la compañía. Es una visión a corto plazo difícil de entender y justificar, ya que el primer requisito para solucionar un problema de desviación temporal en la ejecución de un proyecto es reconocer su existencia. [1]

## 2.13 Conflictos interpersonales

El profesor Jaime Jiménez Ayala [3] escribía el párrafo que se muestra a continuación, y que describe perfectamente el problema planteado de conflictos interpersonales.

“Entre los aspectos que enturbian el trabajo en equipo está la falta de adecuación entre los distintos caracteres de sus miembros que determina una falta de confianza. La falta de ésta viene agudizada desde el primer momento por las diferentes culturas y formas de pensar del arquitecto, ingeniero, constructor y subcontratistas que se derivan en faltas de entendimiento constantes. Intereses contrapuestos, e incluso adversarios, no ayudan a una organización armoniosa. Si a esto se le añade la habitual ausencia de formación humanística y de técnicas de colaboración o negociación, el coctel está servido.” [1]

## **2.14 Falta de un registro y sus motivos**

Una vez el proyecto ha concluido, deben de existir grandes problemas para generar documentos en los que se encuentren los aspectos temporales más relevantes, en cuanto a los hechos que han provocado problemas, y las soluciones propuestas para poder resolverlos. En caso contrario, y habiendo recuperado la información del proyecto recién concluido, existe una tendencia generalizada entre los técnicos dedicados a la gestión de proyectos a no compartir las experiencias vividas con las empresas del sector.

Uno de los argumentos utilizados, y en el que apoyar la falta de registro de información, es el hecho de que el personal que trabaja en el proceso de producción no puede investigar, ya que resuelve problemas del día a día, y no tiene tiempo para observar sistemáticamente las situaciones. La falta de continuidad del personal en la ejecución de los proyectos se convierte en excusa perfecta para que nadie se acuerde de nada.

Por todo ello, la no existencia de una biblioteca de proyectos en la que se recojan las experiencias de los equipos asignados a ellos, amén de las soluciones propuestas, provocará que comenzar un nuevo proyecto será empezar otra vez desde el principio. Este hecho generará pérdidas de tiempo, al no disponer de la información necesaria, y esto es incompatible con la mejora de la productividad deseada. [1]

## **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

La metodología Last Planner aplicada por los autores en diferentes tipos de obras es capaz de mitigar muchas de estas causas expuestas anteriormente. Se trata de un método de trabajo basado en la filosofía Lean, creado por Dr. Glenn Ballard y Greg Howell durante la realización de la Tesis Doctoral que fue publicada por el profesor Dr. Ballard en 2000 [4]. El sistema se basa en una planificación en cascada dividida en tres niveles: Plan Maestro, Planificación Intermedia y Plan de Trabajo Semanal.

### **3.1 Plan Maestro**

Este plan maestro es una planificación inicial con pocas actividades para tener una visión general del proyecto. Lo más característico es que esta planificación es generada por los contratistas y/o subcontratistas que van a realizar las tareas en obra, a través de una reunión. En este primer nivel se genera el compromiso general.

### **3.2 Planificación Intermedia**

En la Planificación intermedia, el equipo al completo, se centra en generar flujo a través de la liberación de restricciones. Se define restricción como todo aquello que impide realizar una tarea de obra. Las restricciones más comunes en España tienen que ver con una indefinición concreta del proyecto que impide ejecutar la actividad programada, Algún permiso especial, decisiones de propiedad, etc.

### 3.3 Plan de Trabajo Semanal

El plan de trabajo semanal se decide entre todos y es ahí dónde se disgregan las actividades principales en tareas semanales analizando que se va a ejecutar cada día de la semana. Pero sobre todo se generan las promesas, se promete que va a ejecutar cada día de la semana. Tanto es así que uno de los indicadores más utilizados en Last Planner es el porcentaje de promesas cumplidas (PPC) también conocido como porcentaje de plan completado.

El motor de todo el sistema son las reuniones iniciales y semanales donde la comunicación y participación de todos consigue mitigar y reducir varios de los problemas que se han planteado en el presente artículo.

La presente comunicación trata de demostrar, a través de encuestas realizadas a agentes del sector de la construcción que han utilizado Last Planner. Los resultados de las encuestas realizadas se muestran en las figuras 1 y 2 siguientes:

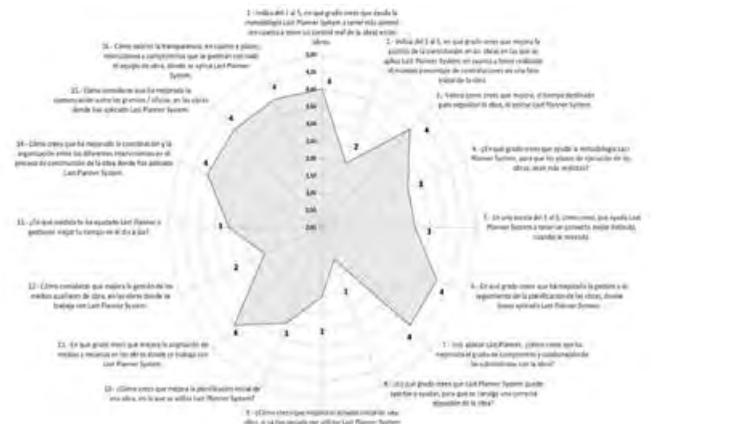


Figura 1: Datos encuesta obra 1. Fuente THiNK productivity.



Figura 2: Datos encuesta obra 2. Fuente THiNK productivity.

	2.1 Planificación deficiente	2.2 Estimaciones y previsiones deficientes	2.3 Contratación deficiente	2.4 Disponibilidad deficiente de recursos	2.5 Falta de previsión en aprovisionamientos o suministros	2.6 Errores de proyecto-Cambios en el proyecto	2.7 Proyectos incompletos	2.8 Condiciones climatológicas	2.9 Falta de apoyo de la Dirección	2.10 Ejecución deficiente del trabajo	2.11 Control deficiente del programa	2.12 Fallos en la comunicación	2.13 Conflictos interpersonales	2.14 Falta de un registro y sus motivos
1. Control de obra											4-5			
2. Gestión de la contratación			1-5											
3. Organización de obra														
4. Planificación realista	3-4	3-4												
5. Proyecto mejor definido						3-5	3-5							
6. Gestión y seguimiento de la planificación	4-4	4-4									4-4			
7. Compromiso y colaboración													4-3	
8. Correcta ejecución de obra										1-4				
9. Estudio inicial														
10. Planificación inicial	3-4	3-4												
11. Asignación de medios y recursos				4-4	4-4									
12. Gestión de medios auxiliares														
13. Gestión personal del tiempo														
14. Coordinación y organización														
15. Comunicación entre gremios												4-4		
16. Transparencia														
<b>TOTAL</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>			<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	

Tabla 1: Tabla relacional entre problemas en obras y mejoras con Last Planner.

En la Tabla 1 se ha tratado de relacionar los problemas detectados en el apartado Comunicación con las figuras 1 y 2. La numeración insertada en la tabla representan la valoración recibida de cada pregunta de ambas obras. En la fila última, TOTAL se marca con una “x” los puntos que mejora los problemas detectados. Se ha considerado mejora cuando una o ambas obras han puntuado en 3 o más de 3 la mejora que representa Last Planner.

Al observar la fila última, se puede observar que únicamente los puntos 2.8 las condiciones climatológicas, 2.9 Falta de apoyo de la dirección y el 2.14 Falta de registro y sus motivos no se mejoran de forma directa. A pesar de que en este estudio no se puede demostrar de forma directa que con Last Planner existe un mayor apoyo de la dirección ni que aminora las consecuencias de las condiciones climatológicas, sí que refleja de forma clara que el último punto de falta de registro y sus motivos son un punto fundamental del sistema tal y como se observan en las siguientes imágenes que muestran los indicadores utilizados, entre ellos el de causas de no cumplimiento.

Otros de los indicadores utilizados semanalmente en el sistema son el Porcentaje de Promesas Cumplidas y los días de adelanto y retraso

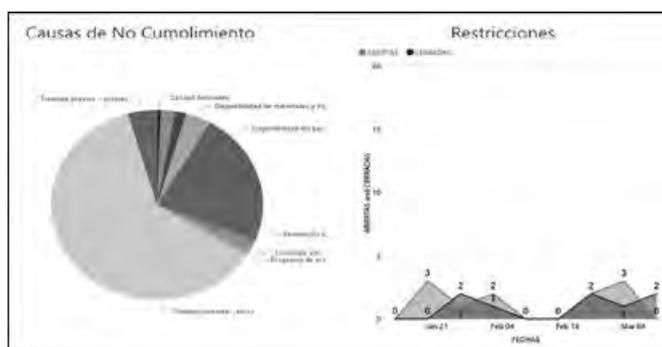


Figura 3: Indicadores de Causas de No cumplimiento y restricciones abiertas y cerradas.  
Fuente: [www.cocoplansoftware.com](http://www.cocoplansoftware.com).

#### 4. CONCLUSIÓN

Con todo lo expuesto la conclusión a la que se llega es que la mayoría de los problemas mencionados en el presente artículo se pueden solucionar con la aplicación de la metodología Last Planner desarrollada en el año 2000 por el profesor Dr. Glenn Ballard.

Como se puede comprobar en los datos que muestran las figuras 1 y 2 de las encuestas realizadas a diferentes agentes del sector de la construcción que han utilizado Last Planner y la Tabla 1 que relaciona los problemas con las mejoras, la opinión de los encuestados es que la metodología Last Planner consigue una puntuación cercana al 4 sobre una puntuación máxima de 5. Hecho que viene a indicar que esta metodología sirve para resolver muchos de los problemas expuestos en el inicio de la presente comunicación.

Tras analizar la tabla se observa que se repiten un mayor número de veces los siguientes problemas:

2.1 Planificación deficiente; 2.2 Estimaciones y previsiones deficientes; 2.11 Control deficiente del programa y que a excepción de los puntos 2.8 las condiciones climatológicas, 2.9 Falta de apoyo de la dirección y el 2.14 Falta de registro y sus motivos, todos son mejorados. A pesar de ello, en la figura 3 se muestran los indicadores propios del sistema tales como las causas de no cumplimiento, los cuales estarían generando registros semanales de lo ocurrido en materia de planificación temporal y los motivos de lo ocurrido.

Además, la metodología Last Planner mejora la comunicación entre los diferentes agentes que intervienen en la realización de las obras, ya que en las reuniones semanales que se realizan se exponen todos los problemas encontrados y se les da solución. También mejora la planificación inicial consiguiendo realizar mejores estimaciones y previsiones debido a que los recursos que ejecutan las actividades son los que indican cuanto van a tardar en realizarlas. Se establece una mejor distribución de los recursos, ya que en la planificación inicial se puede determinar cuando deben de actuar cada uno de ellos. Se consigue mejorar la previsión de suministros, ya que se puede adelantar la fecha en la que se detecta la necesidad de los mismos en obra evitándose la improvisación y siendo capaces de disponer de los materiales necesarios en el momento oportuno gracias a la liberación de restricciones.

Con todo ello, la presente comunicación demuestra que en estos casos concretos de aplicación de la metodología Last Planner se han mejorado muchos de los problemas detectados en el estudio inicial para la fase de construcción.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Sardá Martín, V.( 2011). Gestión Temporal De Proyectos. Herramientas De Aplicación. (Tesis no publicada) Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España.
- [2] Mateos Perera, J., & Benet (2003). La Programación en la Construcción: El “Pert” en versión completa, (2nd ed.). Madrid: Bellisco.
- [3] Jiménez Ayala, J., Morales Palomino, C., & Universidad Nacional de Educación a Distancia. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. (2003). Gestión de contratos de obras de las administraciones públicas: Estudio de los orígenes y causas de las habituales desviaciones presupuestarias.
- [4] Ballard, G. (2000). The Last Planner System of Production Control. (Tesis no publicada). Universidad de Birmingham. Birmingham. Inglaterra.
- [5] Levy, S.M., Rosas Sánchez, R.M., & Rosas Sánchez, M.E. (2002). Administración De Proyectos De Construcción, (3rd ed.). México: McGraw-Hill.
- [6] López Alvarez, S., Llames Viesca, J., & Fundación Laboral de la Construcción del Principado de Asturias. (2009). Organización De Obra y Control De Personal, (2ª ed.). Ribera de Arriba Asturias; Valladolid: Fundación Laboral de la Construcción del Principado de Asturias; Lex Nova.
- [7] López Varela, P., & Iglesias Baniela, S. (2007). Planificación, Programación y Control De Proyectos Mediante Técnicas De Camino Crítico. Santiago de Compostela: Tórculo.

## **CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS UTILIZANDO CONTENEDORES MARÍTIMOS. EJEMPLO DE RECICLAJE Y SOSTENIBILIDAD**

RUIZ GORRINDO, FÉLIX<sup>1</sup>; LLORENS GARCÍA, ARIADNA<sup>2</sup>

*<sup>1</sup> Neàpolis - Universitat Politècnica de Catalunya, Vilanova i la Geltrú, España*

*E-mail: felixrg@neapolis.cat, Web: <http://www.neapolis.cat/>*

*<sup>2</sup> Universitat Politècnica de Catalunya, Vilanova i la Geltrú, España*

*E-mail: ariadna.llorens@upc.edu, Web: <https://www.epsevg.upc.edu/>*

**PALABRAS CLAVE:** reciclaje; sostenibilidad; contenedores marítimos; construcción modular.

### **RESUMEN**

Los contenedores marítimos se utilizan en todo el mundo para el transporte marítimo y han sido usados durante más de 60 años. Hay millones de ellos, en bastantes casos sin usarse e inutilizado importantes superficies de los puertos. En este marco planteado, desde hace años que, siguiendo criterios de sostenibilidad, reciclaje y ahorro económico, se están utilizando contenedores marítimos para construir edificios permanentes, más rápido y más barato que los edificios tradicionales. El objeto de este artículo es por un lado explicar diversos casos reales de construcción de edificios usando contenedores marítimos. Y por otro lado explicar un nuevo proyecto de construcción de edificio multifunción, construido principalmente mediante el uso de contenedores marítimos, analizando, entre otras cosas, el ahorro en tiempo de construcción y ahorro de coste, en comparación con la construcción de edificio usando las técnicas y materiales habituales.

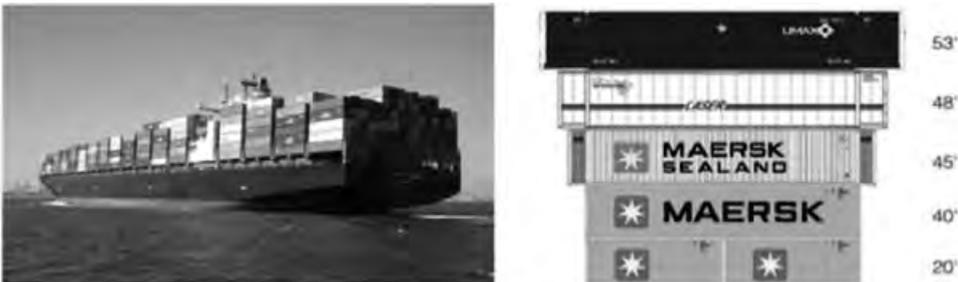
## 1. INTRODUCCIÓN

Los contenedores marítimos se utilizan en todo el mundo para el transporte marítimo y han sido usados durante más de 60 años. Hay millones de ellos, en bastantes casos sin usarse e inutilizado importantes superficies de los puertos. En este marco planteado, desde hace años que, siguiendo criterios de sostenibilidad, reciclaje y ahorro económico, se están utilizando contenedores marítimos para construir edificios permanentes, más rápido y más barato que los edificios tradicionales.

Estos contenedores son esencialmente grandes cajas de acero utilizadas para transportar mercancías en buques de carga, por todo el mundo. Estos contenedores se han producido rápidamente en masa en los últimos 50 años, ya que el mundo se ha vuelto más dependiente de bienes y servicios de otros países y continentes.

Los contenedores marítimos están hechos de acero Corten. Es un tipo de acero que tiene un alto contenido de cobre, cromo y níquel, que hace que su oxidación tenga unas características particulares, que protegen la pieza realizada con este material frente a la corrosión atmosférica, sin perder prácticamente sus características mecánicas. El elemento de aleación en el acero Corten reacciona cuando se presenta el óxido mediante la formación de una capa superficial protectora de óxido de textura fina [1]. Este tipo de acero también se utiliza en puentes, chimeneas, torres e incluso esculturas al aire libre.

Los contenedores se fabrican en diferentes medidas que van desde 8 pies (2,4 m) hasta 53 pies (16 m) de longitud. Las longitudes más utilizadas son de 20 pies (6 m) y 40 pies (12 m) (ver *Figura 1*). Estos contenedores están diseñados para ser enviados por todo el mundo varias veces, por lo que se construyen para que sean resistentes y de importante durabilidad.



*Figura 1. Contenedores marítimos en un barco de carga (izquierda); Varias medidas de contenedores marítimos (derecha).*

En la misma línea, los contenedores marítimos más utilizados son las variantes denominadas HC (high cube), ya que tienen una altura exterior de 2.896 mm (2,9 m), que los hace más adecuados para transportar diversos tipos de carga. También los hace más aptos para la construcción de edificios, al tener el techo más alto. Las siguientes imágenes (*Figura 2*, *Figura 3* y *Figura 4*) ilustran las dimensiones de un contenedor HC de 20 pies (6 m).

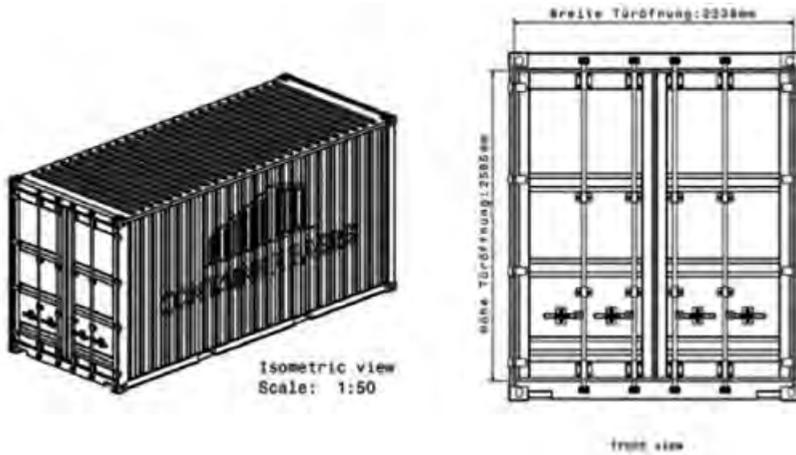


Figura 2. Contenedor HC de 20 pies (6 m). Vista isométrica (izquierda); vista frontal (derecha).

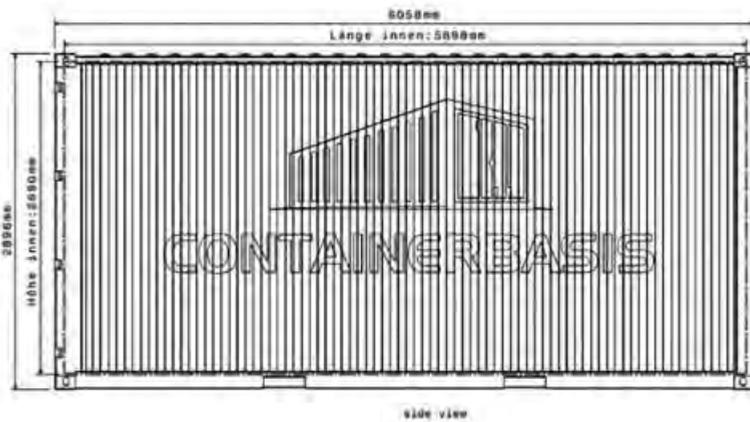


Figura 3. Contenedor HC de 20 pies (6 m). Vista lateral.

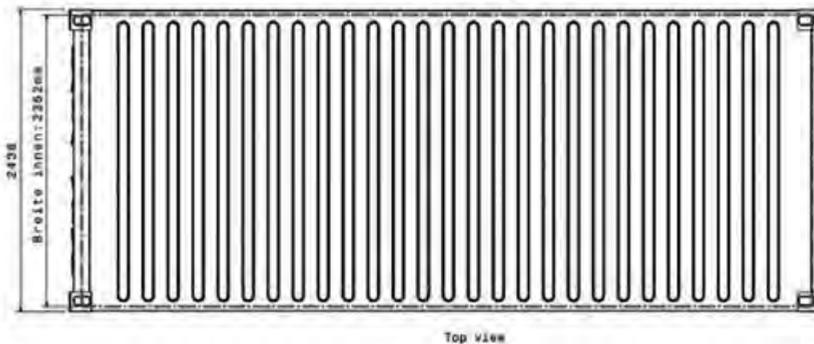


Figura 4. Contenedor HC de 20 pies (6 m). Vista superior.

## 2. USO DE CONTENEDORES MARÍTIMOS EN CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS PERMANENTES

El transporte aéreo cada vez más común y afianzado, y la reciente crisis económica, han provocado que haya un gran número de contenedores que han quedado abandonados en los puertos, ya que el rápido crecimiento de la oferta ha superado ampliamente a la demanda. En 2015 el número de buques de carga inactivos era de 238 buques, con una capacidad combinada de alrededor de 900.000 TEU (acrónimo del término en inglés *Twenty-foot Equivalent Unit*, que significa Unidad Equivalente a Veinte Pies; representa una unidad de medida de capacidad del transporte marítimo, expresada en contenedores: 1 TEU representa un contenedor de 20 pies (6 m)). En 2016 pasó a 435 buques, acumulando un total de 1,7 millones de TEU, lo que representa un incremento del 90% de TEU en tan solo un año [2].

Así, debido al excesivo número de contenedores que están inactivos, están siendo reutilizados para nuevos usos. Algunos ejemplos son viviendas, escuelas y oficinas construidas con contenedores marítimos. Los contenedores se utilizan a menudo como espacio temporal en las obras de construcción, pero su reciente disponibilidad ha llevado a que se utilicen para la construcción de edificios permanentes. Un ejemplo es la ciudad de contenedores en Londres (ver *Figura 5*), habitada por 400 artistas y diseñadores.



*Figura 5. Ciudad de contenedores en Londres.*

Algunas de las ventajas del uso de contenedores marítimos para la construcción de edificios son las siguientes:

- Reducción de tiempo en la construcción del edificio. La magnitud de esta reducción depende de diversos factores, pero se estima que de promedio la reducción es de un 30% respecto la construcción del edificio usando las técnicas habituales. En la ciudad de contenedores de Londres se estima que la reducción del tiempo de construcción es del 50% [3].
- Ahorro de dinero. Este ahorro también depende de diversos factores, pero se estima de promedio que el ahorro es de un 30% respecto la construcción del edificio usando las técnicas habituales.
- Modularidad de la construcción. Esto permite la ampliación de la construcción con relativa facilidad, agregando más contenedores. Este factor es atractivo para empresas en fase de crecimiento.
- Beneficio ambiental al reducir emisión de CO<sub>2</sub>. En la misma línea se aplican los conceptos de sostenibilidad y de reciclaje.

Otras características a tener en cuenta son la siguientes:

- Los contenedores marítimos se pueden comprar por todo el mundo.
- Se pueden transportar con facilidad en camión, siendo factible hacerlos llegar a los lugares de construcción.
- La construcción modular con contenedores marítimos permite una notable variedad de diseños y composiciones.
- El coste de un contenedor nuevo es más elevado que uno usado. Por contra, el contenedor usado presenta las siguientes desventajas con respecto al nuevo: desgaste del material; a los contenedores que se destinan a uso marítimo se les aplica una capa de pesticidas en su interior, por lo que si se quieren reutilizar para edificios, los contenedores deben ser tratados para eliminar esta capa, con el coste que esto representa.

Una investigación sobre el estado de la cuestión muestra que hay muchas posibilidades cuando se trata de construir con contenedores marítimos, siendo muy variados los diseños y usos. Algunos ejemplos son los que se muestran en la *Figura 6*.



6a. Este escuela es un ejemplo de la adaptabilidad, durabilidad y bajo coste del uso de contenedores marítimos. Aulas como esta son útiles en los países en vías de desarrollo, debido al bajo coste y a la funcionalidad de los contenedores marítimos. Este aula fue patrocinada por tres compañías sudafricanas, para su uso en una empobrecida zona rural en las afueras de Ciudad del Cabo.



6b. Las limitaciones de espacio son un problema común en muchos países. Los contenedores marítimos se han utilizado para abordar este problema, usándolos para construir edificios de oficinas cómodos y espaciosos. Este edificio está en Japón, donde las limitaciones de espacio son comunes. En 2012 una empresa de arquitectura tuvo dificultades para encontrar un edificio de oficinas, por lo que construyó su propio edificio hecho de contenedores marítimos.



6c. La denominada Casa Incubo está en Costa Rica. Fue construida utilizando ocho contenedores HC de 40 pies (12 m). Se redujo el tiempo de construcción en un 30%.



6d. La denominada *Beach Box* está construida en el Hamptons, una de las zonas más caras de Nueva York. La estructura de los contenedores marítimos está recubierta en las paredes, pero está a la vista en el techo.



6e. Cuando la Escuela Costa Mesa Waldorf, en California, decidió expandirse, eligieron usar contenedores marítimos debido a su sostenibilidad. La escuela utilizó contenedores marítimos para construir un nuevo ala de edificios ecológicos. El proyecto utilizó 32 contenedores para construir cuatro edificios adicionales en su campus. Además del espacio adicional de aulas, las nuevas construcciones incluyen una biblioteca, un auditorio de dos pisos y un laboratorio de ciencias.

*Figura 6. Ejemplos de construcción de edificios mediante el uso de contenedores marítimos. 6a. Escuela en Ciudad del Cabo. 6b. Edificio en Japón. 6c. Casa Incubo (Costa Rica). 6d. Casa Beach Box (Nueva York). 6e. Escuela en California.*

Otro uso de los contenedores marítimos es colocarlos en el interior de edificios existentes, para crear espacios, como oficinas, etc. Un ejemplo de lo referido se da en Sabadell, donde ROA arquitectura concibe la reindustrialización de los servicios TIC bajo el concepto de “*Box in a box*”, mediante el reciclaje de contenedores marítimos del puerto de Barcelona, que se introducen en las naves industriales abandonadas (ver *Figura 7*). De este modo se consigue reciclar la cadena de valor de la industria del s.XXI, a la vez que enlazar la parte económica y geográfica de territorio, pasando “del paisaje portuario al tapiz urbano”.



*Figura 7. Uso de contenedores marítimos en Sabadell, para servicios TIC.*

### **3. NUEVO PROYECTO USANDO CONTENEDORES MARÍTIMOS**

El edificio de la EPEL Neàpolis es un centro tecnológico que fue construido en 2007 (ver *Figura 8*), que pertenece al ayuntamiento de Vilanova i la Geltrú y que tiene como de algunas de sus prioridades la investigación, la innovación tecnológica (en materia de smart cities, etc.), el emprendimiento y la colaboración con la universidad. También tiene espacios de cowork (vivero de empresa), orientados a la innovación y la tecnología. Es asimismo la sede permanente del capítulo catalán de la *City Protocol Society* (relacionado con las smart cities).

Este centro tecnológico pluridisciplinar y transversal, que es de gran utilidad para el territorio, va incrementando progresivamente su importancia y el volumen de tareas que se realizan. En este marco, los espacios destinados a cowork están llenos, y se ha detectado que hay más demanda para uso de cowork. Para que Neàpolis pueda ofrecer más espacio de cowork, se ha evaluado la opción de construir, en terreno que hay junto a Neàpolis, un nuevo edificio, utilizando contenedores marítimos.

Como primer paso, se ha realizado proyecto durante el primer semestre de 2017, colaborando Neàpolis y la EPS de Ingeniería de Vilanova i la Geltrú (UPC). Se ha hecho en el marco de un IDPS (*International Design Project Semester*) desarrollado en inglés, en el que participaron seis estudiantes extranjeros de ingeniería en fase de proyecto final de carrera, que eran de los países siguientes: Alemania, Bélgica, Holanda, Malasia, Reino Unido y Rumanía. Uno de los estudiantes era de la titulación de ingeniería de edificación, y los otros eran de otras ramas de la ingeniería (mecánica, diseño industrial, etc.).



*Figura 8. Imagen del edificio Neàpolis, en Vilanova i la Geltrú.*

El objetivo principal del proyecto es diseñar un edificio multifuncional utilizando (principalmente) contenedores marítimos. Este edificio debe reunir las siguientes características:

- Debe estar situado en el terreno que hay al lado norte del edificio de Neàpolis (ver *Figuras 9 y 10*).
- El diseño del edificio debe ser atractivo, y adaptarse al entorno.
- Los usos del edificio deben ser: cowork, maker space, sala de reuniones, lavabos, bar, espacio para exposiciones.
- Capacidad para 30 personas.
- La construcción debe ser modular, con capacidad para ser ampliado el edificio, caso que convenga.



*Figura 9. Vista del terreno (en verde), donde se proyecta la construcción usando contenedores marítimos*



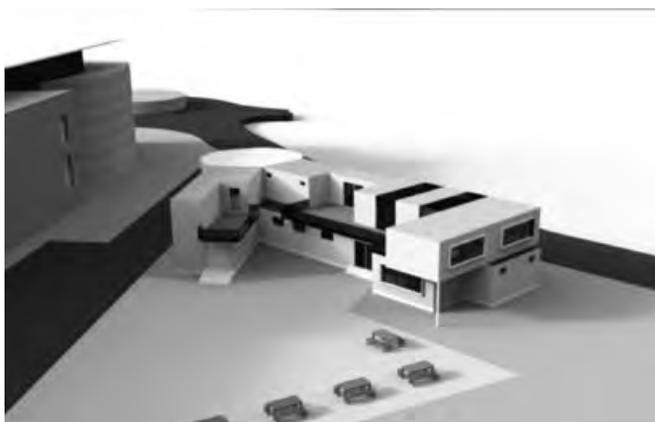
*Figura 10. Fotos del referido terreno, realizadas desde el edificio de Neàpolis.*

En el marco del proyecto también se realiza la planificación de la obra y el cálculo del coste económico.

El resultado del proyecto es un edificio de PB+1PP, de 490 m<sup>2</sup> de superficie, construido principalmente con contenedores marítimos, con un diseño que tiene similitudes conceptuales con el edificio de Neàpolis. En las *Figuras 11* y *12* se puede ver el aspecto exterior del diseño propuesto.



*Figura 11. Vista exterior de la propuesta (lado oeste).*



*Figura 12. Vista exterior de la propuesta (lado este).*

En las *Figuras 13 y 14* se puede ver la propuesta de diseño interior de las dos plantas, con los usos de cada espacio.



*Figura 13. Diseño del interior. Planta Baja.*



*Figura 14. Diseño del interior. Planta Primera.*

También se ha realizado el cálculo de la estructura del edificio, el dimensionado y diseño de la cimentación y la propuesta de instalaciones (electricidad, agua, desagües, aire acondicionado, etc.). En las *Figuras 15 y 16* se puede ver un esquema de la estructura metálica que se ha analizado numéricamente.



*Figura 15. Esquema de la estructura metálica del edificio, basada principalmente en contenedores marítimos.*

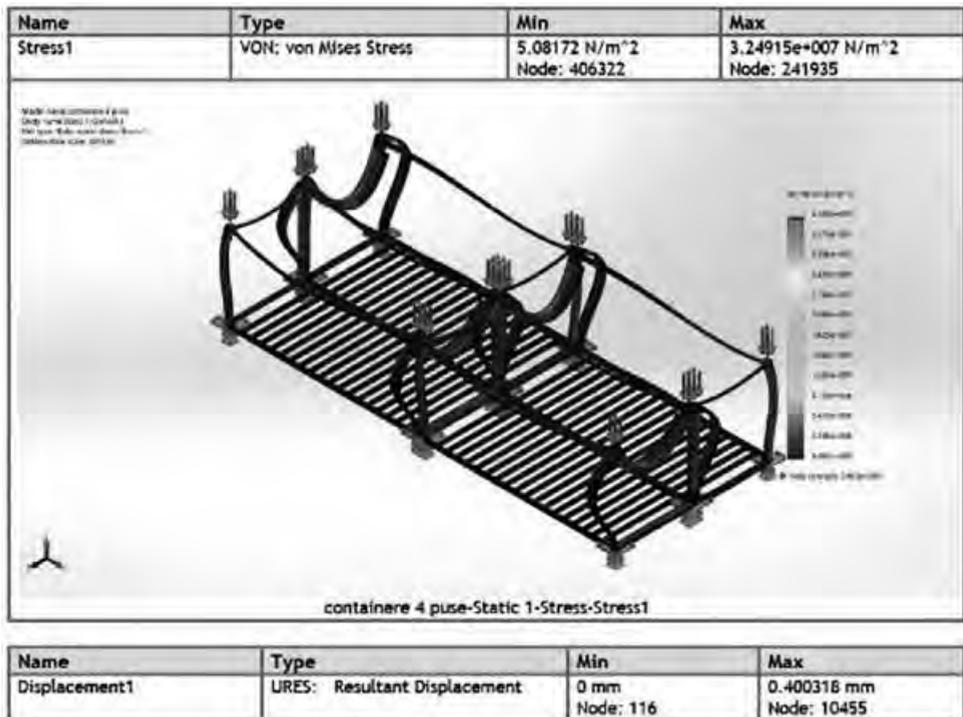


Figura 16. Ejemplo de análisis de la estructura, usando el programa Solid Works.

El edificio, que tiene una superficie construida de 490 m<sup>2</sup>, tiene un precio de ejecución material (PEM) de 382.000 €. En el PEM no se ha incluido el coste de la maquinaria del maker space (como impresoras 3D, etc.). La duración de la obra se estima en dos meses. En comparación con la construcción tradicional de un edificio de análogas características, se estima que hay un ahorro de un 30% del PEM, así como un 30% de ahorro en la duración de la obra.

Respecto al ahorro de coste, se ha comparado tomando como referencia que el PEM de esta tipología de edificio mediante construcción tradicional es del orden de 545.000 €. Este valor de referencia se ha tomado del BEC (Boletín Económico de la Construcción), en concreto del supuesto de construcción mixta compuesta por dos plantas de oficinas.

Respecto al ahorro de duración de la obra, se ha estimado que la duración para construir esta tipología de edificio mediante construcción tradicional es del orden de tres meses. Se estima que los ahorros más significativos de duración de obra mediante el uso de contenedores marítimos se consiguen en las fases de estructura, de construcción de fachadas y de construcción de cubiertas.

#### 4. CONCLUSIONES

Queda constatada la idoneidad del uso de contenedores marítimos para la construcción de edificios permanentes. Existen numerosos ejemplos en el mundo de este tipo de construcciones. Estos edificios pueden tener una gran cantidad de diseños, gran cantidad de

usos, y pueden ser ampliables al ser de construcción modular. Este tipo de construcción es mejor en términos de sostenibilidad en comparación con la construcción tradicional, produciéndose además una reducción de coste y de duración de la obra.

La construcción de este tipo de edificios entra plenamente dentro del campo de trabajo de los arquitectos técnicos (o ingenieros de edificación), así como también de otros profesionales del sector.

## 5. REFERENCIAS

- [1] R. Herr, "What is CORTEN Steel and why are shipping containers made from it?," [Online]. Accedido el 24 de enero de 2018, desde <http://containerauction.com/read-news/what-is-corten-steel-and-why-are-shipping-containers-made-from-it>.
- [2] Drewry: Idle Containership Fleet Surges amid Overcapacity", World Maritime News, [Online]. Accedido el 26 de enero de 2018, desde <http://worldmaritimenews.com/archives/207947/drewry-idle-containership-fleet-surges-amid-overcapacity/>.
- [3] "Containercity," [Online]. Accedido el 24 de enero de 2018, desde: <http://www.containercity.com/about>.

**SCAN TO BIM EN EL PROYECTO DE MEJORAS DE T123  
DE ACUERDO A DISEÑO FUNCIONAL  
DEL AEROPUERTO ADOLFO SUÁREZ MADRID-BARAJAS**

QUINTANA ROMO, MIKEL<sup>1</sup>; CAPELASTEGUI LASSO, ABEL<sup>2</sup>;  
PABLOS ANDRÉS, DANIEL<sup>3</sup>; ALONSO FERNÁNDEZ, OLGA<sup>4</sup>

<sup>1</sup> *Tecnalia, Derio, España*

*E-mail: mikel.quintana@tecnalia.com,*

*Web: <https://www.tecnalia.com/es/servicios-tecnologicos/servicios-por-industria/escaneo-laser-3d.htm>*

<sup>2</sup> *Tecnalia, Derio, España*

*E-mail: abel.capelastegui@tecnalia.com,*

*Web: <https://www.tecnalia.com/es/servicios-tecnologicos/servicios-por-industria/escaneo-laser-3d.htm>*

<sup>3</sup> *Tecnalia, Derio, España*

*E-mail: daniel.pablos@tecnalia.com,*

*Web: <https://www.tecnalia.com/es/servicios-tecnologicos/servicios-por-industria/escaneo-laser-3d.htm>*

<sup>4</sup> *Tecnalia, Derio, España*

*E-mail: olga.alonso@tecnalia.com,*

*Web: <https://www.tecnalia.com/es/servicios-tecnologicos/servicios-por-industria/escaneo-laser-3d.htm>*

**PALABRAS CLAVE:** Digitalización 3D; modelado BIM; Barajas.

## **RESUMEN**

TECNALIA resultó adjudicataria del contrato de escaneo láser 3D y modelado BIM desde nube de puntos de las terminales 1, 2 y 3 del aeropuerto Adolfo Suarez Madrid-Barajas enmarcado en los trabajos de “Asistencia Técnica para la Redacción del Proyecto y Asistencia Técnica Arquitectura mejoras de T123 de acuerdo a diseño funcional Aeropuerto de Adolfo Suárez Madrid-Barajas” (Expediente DIN 3/2017)”.

El proyecto se ha dividido en 3 fases: escaneo 3D, post-procesado de la información

y modelado BIM que se han llevado a cabo entre los meses comprendidos entre diciembre de 2017 y febrero de 2018.

Las labores de escaneado 3D se han realizado empleando 2 equipos de láseres escáner y 2 equipos de cámaras fotográficas 360 y se han extendido a lo largo de las terminales 1,2 y 3, en sus diferentes plantas e incluyendo tomas de espacios interiores y de espacios exteriores (lado tierra y aire). Además se han recogido varios puntos topográficos de las terminales mediante técnicas de posicionamiento GNSS para permitir la georreferenciación de la nube de puntos y el modelo BIM resultante al sistema ETRS-89 UTM Zona 30N.

Las labores de registro de las nubes de puntos han permitido, en primer lugar, unificar todas las nubes de puntos parciales, más de 1000, en una única nube de puntos general. En segundo lugar, se han añadido las fotografías esféricas a la nube de puntos general, aportando color y textura a los diferentes espacios representados.

La última fase del proyecto ha comprendido el modelado BIM de las diferentes zonas de actuación incluidas en el proyecto de mejora. Para ello se ha empleado la nube de puntos general como una plantilla realista, de la que se ha obtenido una documentación de proyecto precisa y actualizada que permitirá al cliente un desarrollo de proyecto más seguro y eficiente.

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Situación de partida**

El trabajo que se presenta a continuación tiene como punto de partida la publicación por parte de Aena de los pliegos de los trabajos de “Asistencia Técnica para la Redacción del Proyecto y Asistencia Técnica Arquitectura mejoras de T123 de acuerdo a diseño funcional Aeropuerto de Adolfo Suárez Madrid-Barajas” con número de expediente DIN 3/2017.

Estos trabajos implican la redacción de un proyecto de reforma con afección a determinadas áreas de las terminales 1,2 y 3, abarcando espacios exteriores: viales de acceso y aceras en el lado tierra y el patio de carrillos y la plataforma de maniobras de aeronaves en el lado aire; así como espacios interiores de diferente grado de privacidad, desde vestíbulos de circulación de pasajeros hasta filtros de seguridad y dependencias policiales.

La licitación de dicho proyecto de mejoras fue adjudicada a Prointec S.A., referente internacional en diversos sectores de la ingeniería, la arquitectura y, en general, en consultoría relacionada con las infraestructuras, el urbanismo y el medio ambiente.

Parte del pliego de condiciones indicaba a Prointec que debía emplear la metodología BIM en la elaboración del proyecto de mejoras y además incorporaba la necesidad de generar un levantamiento topográfico tridimensional de las zonas afectadas por el diseño funcional mediante tecnología de escaneado láser.

Para cumplir las condiciones de proyecto mencionadas Prointec llevó a cabo una consulta a diferentes agentes del mercado con capacidad de realizar dichos trabajos de levantamiento tridimensional y modelado BIM, resultando adjudicatario de dichas labores la empresa Tecnalia, el primer centro privado de investigación aplicada y desarrollo tecnológico del Estado y uno de los más importantes de Europa.

## 1.2 Alcance de los trabajos y objetivos planteados

Los trabajos contratados por Prointec a Tecnalía se enmarcan dentro de los trabajos previos a la elaboración del proyecto básico y constructivo y tienen como alcance las labores de levantamientos de las zonas interiores a modificar y/o ampliar mediante técnicas de escaneo láser que permitan la obtención de nubes de puntos exportables a sistema BIM, así como el posterior modelado de las zonas afectadas hasta la elaboración de un modelo BIM de estado actual.

Los objetivos asociados a dichos trabajos son los siguientes:

Fase 1: Escaneo 3D en campo.

- Escanear la totalidad de zonas afectadas por el proyecto de mejoras mediante el empleo de equipos láser escáner.
- Fotografiar la totalidad de zonas afectadas por el proyecto de mejoras mediante el empleo de equipos fotográficos 360°.
- Obtener puntos topográficos de parte de las zonas afectadas por el proyecto de mejoras mediante el empleo de equipos de medición GNSS.

Fase 2: Post-procesado de la información y obtención de nube de puntos.

- Registrar todas las nubes de puntos parciales obtenidas.
- Unificar todas las nubes de puntos parciales en una única nube de puntos general.
- Generar fotografías esféricas de cada estacionamiento realizado.
- Vincular las fotografías esféricas con la nube de puntos general para aportar textura y color.
- Georreferenciar la nube de puntos general al sistema ETRS-89 UTM Zona 30N.
- Subdividir la nube de puntos general en segmentos exportables al programa de modelado Autodesk Revit 2017.

Fase 3: Modelado BIM.

- Modelar las diferentes zonas de actuación en 2 niveles de desarrollo: LOD 100 y LOD 200.
- Exportar el modelo y entregarlo a Prointec.

Fase 4: Generación de infografías y paseos virtuales.

- Elaborar renders de alta calidad, videos animados o modelos 3D inmersivos a petición del cliente.

## 2. DESARROLLO/METODOLOGÍA

### 2.1 Planteamiento general (organización de trabajos, plazos, recursos humanos y recursos técnicos)

Comprensión del proyecto y primeras comunicaciones.

La organización general de los trabajos tiene como punto de partida el análisis y la comprensión del proyecto de mejoras en todo su alcance: distribución de zonas afectadas, objetivos generales del proyecto de mejoras, uso de la información generada por Tecnalía.

A continuación se procede a contrastar el planteamiento realizado con todos los agentes participantes en el proyecto de manera que se alineen estrategias, esfuerzos y objetivos y se eliminen errores conceptuales que desemboquen en futuros problemas o contratiempos.

#### Organización de recursos y acreditaciones

Una vez se ha acordado el alcance concreto de los trabajos se elabora una primera estrategia de elaboración de los trabajos que se ve determinada principalmente por la previsión del número de estacionamientos necesarios por cada zona afectada y los tiempos de escaneado por estacionamiento y de desplazamiento entre escaneos.

Esta primera estrategia se ve modificada al incluir los factores de privacidad y restricción de determinadas zonas a las cuales solo se puede acceder mediante la obtención de acreditaciones. Como dicho proceso es susceptible de alargarse en el tiempo se decide comenzar con los escaneos de las zonas públicas (lado tierra) y continuar con las zonas restringidas (lado aire) una vez se consigan las debidas acreditaciones.

La organización de recursos humanos y técnicos se plantea con la intención de reducir en la mayor medida posible el tiempo de los trabajos de escaneado láser y fotografía 360°. De esta manera se organizan 2 equipos de una persona con un equipo de escaneado láser y un equipo de fotografía 360° cada uno.

Cumpliendo una de las mejoras incluidas en la oferta de Tecnalía los trabajos se llevan a cabo en horario diurno y nocturno, en función de las necesidades concretas de cada zona escaneada. Como norma general, las zonas públicas se escanean en horario nocturno para evitar el tráfico de pasajeros que pueda dificultar la limpieza de la toma de datos mientras que las zonas privadas o restringidas se escanean en horario diurno, para coincidir con el personal que debe facilitar el acceso a cada zona.

#### Plazos

La previsión realizada estima en 9 semanas el tiempo total necesario para llevar a cabo todas las fases, mientras que los hitos parciales son los siguientes:

- Fase 1- Escaneo 3D: 3 semanas.
- Fase 2- Post-procesado de la información: 3 semanas.
- Fase 3- Modelado BIM: 3 semanas.

#### Equipos empleados

Los equipos utilizados para el levantamiento topográfico son:

- Laser escáner Leica Geosystems, modelo ScanStation P40.
- Cámara fotográfica Canon EOS 7000D.
- GPS topográfico Leica GS14.

## 2.2 Fase 1.- Escaneado 3D

La primera fase del proyecto ha consistido en el escaneado 3D, realizándose estacionamientos de los equipos de escaneo y de fotografía 360° en diferentes puntos de las plantas afectadas por la intervención abarcando la totalidad de su superficie. La posición de cada estacionamiento ha sido aquella que permitiera obtener la máxima información posible del entorno, de manera que, una vez realizados todos los estacionamientos el archivo conjunto incluya información geométrica, textura y color de toda la superficie afectada por la inter-

vención. El número de estacionamientos realizados ha superado los 1.000 escaneos y de media se han necesitado en torno a 7 minutos para completar cada estacionamiento.

Además todos los resultados obtenidos se deben posteriormente georreferenciar, de tal forma que tengan una localización geográfica única y bien definida en un sistema de coordenadas y datum específicos. En este caso se ha utilizado un GPS topográfico Leica GS14 para obtener coordenadas de 16 localizaciones en el exterior de los viales de las Terminales 1 y 2 del aeropuerto.

### **2.3 Fase 2.- Registro, texturización y georreferenciación**

La segunda fase del proyecto ha comprendido, en primer lugar, el registro de todas las nubes de puntos obtenidas y su unificación en una única nube de puntos general. La alineación de todos los escaneos realizados ha sido posible gracias a que los escaneos sucesivos tienen un registro en común de entre 20-40%, dependiendo de las características de la zona escaneada. Por otra parte, los escaneos no sucesivos también tienen un porcentaje de registro en común lo que aumenta la precisión de la nube de puntos final. Utilizando estas zonas de registro común se han unido todos los escaneos con precisión milimétrica obteniendo una nube de puntos completa de toda la zona afectada por el proyecto de mejoras. La unión entre escaneos del exterior e interior del aeropuerto se ha realizado a través de los núcleos de acceso que existen entre ambos. Una vez obtenida la nube de puntos completa, se ha optimizado su precisión a través de un proceso iterativo que realiza un muestreo de los puntos utilizados para realizar las uniones entre diferentes escaneos. En este caso el algoritmo utilizado calcula de manera iterada la desviación de cada uno de los puntos respecto al más cercano de la otra nube. En cada iteración se modifica la posición relativa de los modelos y se vuelve a evaluar la precisión de la unión.

Simultáneamente se han generado fotografías esféricas a partir de las fotografías obtenidas mediante la cámara 360°. El siguiente paso ha consistido en vincular las fotografías esféricas con la nube de puntos general para añadir colores y texturas reales a cada objeto representado en la nube de puntos.

El último paso de la segunda fase ha consistido en georreferenciar la nube de puntos general y texturizada a su posición exacta en el sistema de referencia geodésico oficial en España, el ETRS-89 UTM Zona 30N. La distribución de los puntos utilizados para realizar la georreferenciación ha sido lo más homogénea posible, asegurando así un posicionamiento exacto de la nube de puntos en su totalidad.

### **2.4 Fase 3.- Modelado BIM (Actualmente en proceso)**

En último lugar y después de haber obtenido la nube de puntos general texturizada y georreferenciada, se ha comenzado con el modelado BIM de todas las zonas afectadas por el proyecto de mejoras empleando el software Autodesk Revit 2017. Este proceso empleará la nube de puntos como una plantilla fiel a la realidad que servirá para situar cada elemento modelado en su posición exacta.

Se modelarán todos los elementos vistos de las disciplinas de arquitectura y estructura, en 2 niveles de desarrollo diferentes LOD 100 y LOD 200. El modelo BIM final permitirá a Prointec la implementación de procesos de trabajo colaborativo y la gestión integrada de la información de acuerdo a la metodología BIM.

Dentro de la fase 3 se incluye una subfase pendiente de ser aceptada por el cliente que consiste en el empleo de la nube de puntos general para la generación de infografías de alta calidad y/o paseos virtuales que permitiría mejorar considerablemente la visualización de los espacios involucrados en el proyecto de mejoras. Otra de las aplicaciones que se podría generar sería una herramienta de gestión 3D basada en modelos inmersivos fotorrealísticos sobre los cuales se pueden añadir capas de información, tomar medidas en verdadera magnitud y/o vincular diferentes tipos de documentos almacenados en bases de datos centrales o de tipo cloud.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Presentación de resultados obtenidos



Figura 1: Nube de puntos del vial de acceso a T1 sin texturizar.



Figura 2: Nube de puntos del vial de acceso a T1 texturizada.



Figura 3: Fotografía esférica del interior de T2.



Figura 4: Fotografía esférica del interior de T2.



Figura 5: Fotografía esférica de la plataforma de maniobras.



Figura 6: Modelo BIM parcial.



Figura 7: Modelo BIM parcial.

## 4. CONCLUSIONES

En estos momentos el proyecto que se presenta en éste trabajo se encuentra en desarrollo por lo que las conclusiones que se presentan a continuación son de carácter parcial y susceptibles de verse modificadas una vez se concluya la elaboración del proyecto.

### Digitalización 3D

El empleo de la tecnología de medición láser escaner ha permitido la obtención de una documentación de estado previo fiable y exacta en un plazo de tiempo y bajo un coste económico considerablemente mejor que mediante las técnicas de medición tradicionales.

Además la posibilidad de disponer de un documento tridimensional actualizado que representa geoméricamente todos los espacios afectados por el proyecto de mejoras permite realizar consultas, analisis y mediciones de dichos espacios directamente desde la oficina, con el consiguiente ahorro de recursos.

Por ultimo la ventaja de elaborar un proyecto sobre una documentación de gran fiabilidad permite aumentar la calidad del proyecto elaborado y reducir el número y tamaño de los errores en el proceso constructivo.

### Metodología BIM

Una de las ventajas que ofrece la aplicación de la metodología BIM y en especial en un proyecto de estas dimensiones consiste en la posibilidad de trabajo colaborativo o multidisciplinar. Los diferentes agentes implicados en el proceso constructivo pueden trabajar en la misma herramienta, integrando y compartiendo información en tiempo real.

Además esta metodología permite generar de forma automática toda la documentación del proyecto: presupuestos, planificación estructuras, etc. consiguiendo un aumento de la productividad y, por tanto, un ahorro de tiempo y costes.

En último lugar, la posibilidad de comprobar interferencias antes de comenzar a construir representa otra de las mayores ventajas del trabajo sobre un modelo BIM único. De esta forma, podemos comprobar si hay algún problema de integración entre los diferentes elementos de una forma segura y rápida, evitando los consiguientes sobrecostes de la obra.

## MÉTODO SIMPLIFICADO DE GESTIÓN DE CONSTRUCCIÓN MEDIANTE LA APLICACIÓN EN DISPOSITIVOS MÓVILES

COLLADO LÓPEZ, MARÍA LUISA<sup>1</sup>; SÁEZ PÉREZ, MARÍA PAZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Universitat Politècnica de València, Valencia, España*

*E-mail: mcollado@csa.upv.es,*

*Web: <http://www.upv.es/ficha-personal/mcollado>*

<sup>2</sup> *Universidad de Granada, Granada, España*

*E-mail: mpsaez@ugr.es,*

*Web: [http://directorio.ugr.es/static/PersonalUGR/\\*/show/b0110d8f90752699e5b25241b7c300a2](http://directorio.ugr.es/static/PersonalUGR/*/show/b0110d8f90752699e5b25241b7c300a2)*

**PALABRAS CLAVE:** Digitalización, Ejecución obras, Construcción, Gestión.

### RESUMEN

La necesidad de ordenar y optimizar los procesos en el seguimiento de la ejecución de las obras de construcción ha provocado que algunas empresas de dirección y gestión de proyectos desarrollen su propio modelo basado en la experiencia, creando un método de trabajo para el seguimiento de obras de construcción con el objeto de documentar de manera ordenada y controlar adecuadamente los procesos a través de un dispositivo móvil.

La base parte principalmente de la definición de una cuadrícula denominada grid, de dimensiones variables según el tipo de proyecto, fase, unidad de obra, o elemento que se desee representar. La aplicación consiste en introducir datos, marcando el avance sobre la cuadrícula mediante el uso de la huella digital, de modo que, el sistema permitirá, a partir de los datos, generar documentos como las relaciones valoradas y certificaciones de la obra ejecutada y llevar un seguimiento actualizado del control de costes.

Esta metodología permite de manera sencilla e intuitiva monitorizar la producción por unidades de obra, por capítulos o por fases, u otros elementos definidos por el usuario. Al

disponer de una información de producción homogénea, con una sistemática de toma de datos y una frecuencia temporal, se obtienen instantáneamente unas curvas de producción y KPI's que, además, pueden segmentarse en función de la tipología de proyecto, de la fase de obra, del capítulo de obra, de la unidad de obra, del contratista adjudicado, o de la Dirección de obra que ha supervisado. También permite obtener información asociada que posteriormente comparará con otros proyectos futuros, detectando en estados tempranos de producción posibles desviaciones y acometer, en su caso, medidas correctoras.

Los resultados obtenidos tras la aplicación en distintos casos de proyectos, comprendidos entre los años 2005-2014, garantizan la validez del modelo, que a su vez ha permitido el desarrollo de un software que agiliza la toma de datos, la estructuración de la información, la generación de informes y el desarrollo de modelos de referencia entre proyectos similares.

## 1. INTRODUCCIÓN

Según CES [1], entre 2008 y 2015, la mayor caída en el número de empresas se registró en la actividad dedicada a la construcción de edificios, con un descenso del 37,8 %. Por su parte, el número de grandes empresas dedicadas a la construcción de edificios en su conjunto se redujo en un 90 %.

La gran crisis sufrida en el sector de la construcción, como ocurre en otras situaciones de crisis, en general, ha provocado la aparición de nuevas oportunidades y posibilidades de mejorar la metodología y procesos de gestión, siendo la tecnología el elemento dinamizador para ello.

En general, el sector de la construcción avanza más lento que otros sectores cuando se habla de entrada en la era digital y uso de tecnologías. Aún conserva modelos de gestión anticuados. Sin embargo, desarrollo y tecnología van unidos cuando se trata de optimizar procesos, ya que ello repercute en la mejora de la productividad. El acceso a la información en tiempo real, desde cualquier lugar, mediante el uso de las tecnologías de información y comunicación, permite ajustar tiempo y coste. Y en este sentido, unido al internet de las cosas, se observa un avance en las implementaciones de modelos en la gestión integrada de proyectos, como la metodología BIM, o la que se presenta a continuación. Este proceso de cambio afecta también a los agentes que intervienen en el proceso, la forma de trabajo se modifica, habrá que adaptarse a los nuevos entornos y métodos, y por tanto cambia el espectro del perfil profesional, y muy concretamente en el ámbito de la arquitectura técnica.

Basado en las necesidades de sistematizar y ordenar la dirección y gestión de proyectos, se ha desarrollado una metodología de trabajo, bajo el nombre de SOFIA-RTD [2] cuyo objetivo es garantizar la eficacia en los procesos y los proyectos que dirige la empresa 10t Project Management, así como garantizar la transparencia en el uso de la información. Partiendo de esa idea, esta comunicación describe una propuesta para modelizar de forma sencilla los procesos de construcción, utilizando una metodología probada y que, permite implementarse en dispositivos móviles, como tabletas y teléfonos.

Su forma de trabajo facilita que diversos elementos convivan virtualmente en un sistema integrado que funciona en tiempo real, mediante paneles de información que funcionan a semejanza de los cuadros de mandos de los vehículos, permitiendo que todos los agentes que intervienen en el proyecto conozcan el estado real de avance del proyecto y observar los cambios que se van produciendo. De esta manera, se puede planificar, programar, ges-

tionar contratos, controlar la ejecución y, en caso necesario adoptar medidas correctoras en el menor tiempo posible.

La experiencia ha consistido en la comprobación de la aplicación en diversos proyectos, correspondientes a distintas tipologías edificatorias, analizando los resultados y comprobando las diferencias obtenidas en la gestión del proceso de ejecución de obras por el método convencional en otros casos similares.

## 2. DEFINICIÓN DEL MODELO

El modelo se basa principalmente en la definición de una cuadrícula (a partir de ahora grid) representada en la “Figura 1”, de dimensiones variables según el tipo de proyecto que se desee representar. Así, por ejemplo, la representación de las dimensiones de la cuadrícula oscila entre 0,50x0,50 m en proyectos de habilitación interior, de reformas en viviendas o pequeñas actuaciones de decoración o elementos de acabado, donde las unidades de obra son específicas o de mucho detalle, hasta 5x5 m en proyectos terciarios o grandes urbanizaciones, con unidades de obra cuya medición es de gran magnitud, como superficies de aparcamientos o pavimentos de centros comerciales.

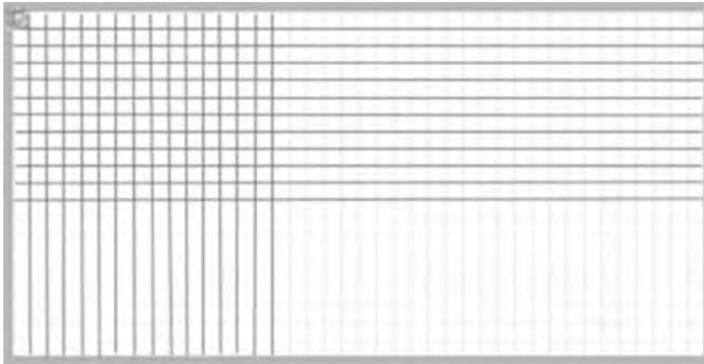


Figura 1: Representación base de la grid, a modo de cuadrícula que se superpone a los planos del proyecto. Fuente: SOFIA-RTD [2].

Esta cuadrícula, grid, funciona como una capa que se posiciona sobre la realidad física del proyecto representada por los planos o imágenes generados por otras aplicaciones informáticas. La superposición sobre las plantas y alzados identifica cada celda con una unidad constructiva o conjunto de ellas posicionada en el plano, de forma que se incorpora diversa información asociada a dicho elemento, tal como informes, datos de campo, detalles técnicos, control de calidad, procesos de ejecución, imágenes de soluciones constructivas que posteriormente quedarán ocultas como canalizaciones enterradas, disposición de las armaduras en elementos de hormigón armado, etc. Cada plano o representación gráfica se amolda a una grid diferente, ajustando su escala al nivel de detalle que se desea, pudiendo un elemento del plano ocupar varias celdas de la grid.

En la “Figura 2” se indica con una flecha una celda sobre la que se incorporará la información asociada. El ejemplo representa la planta de equipamiento de una superficie comercial en la que se observa que sobre la grid se pueden además identificar las distin-

tas unidades de obra, ubicadas en la localización real, sombreando los elementos sobre la representación gráfica del proyecto. Como ejemplo aparecen localizadas las zapatas en la “Figura 3”, utilizando el mismo plano de base.

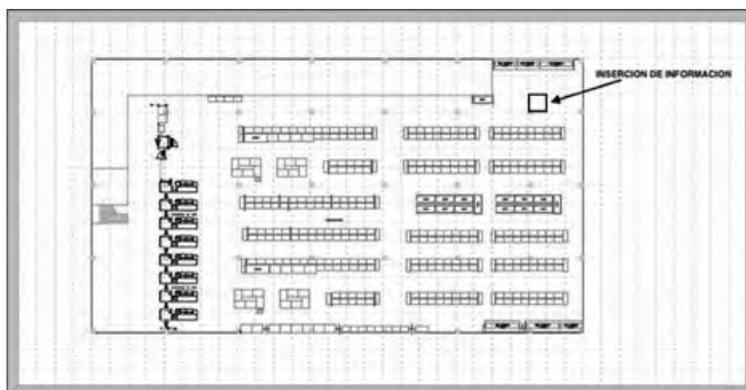


Figura 2: Ejemplo de representación de la grid sobre plano. Fuente: SOFIA-RTD [2].

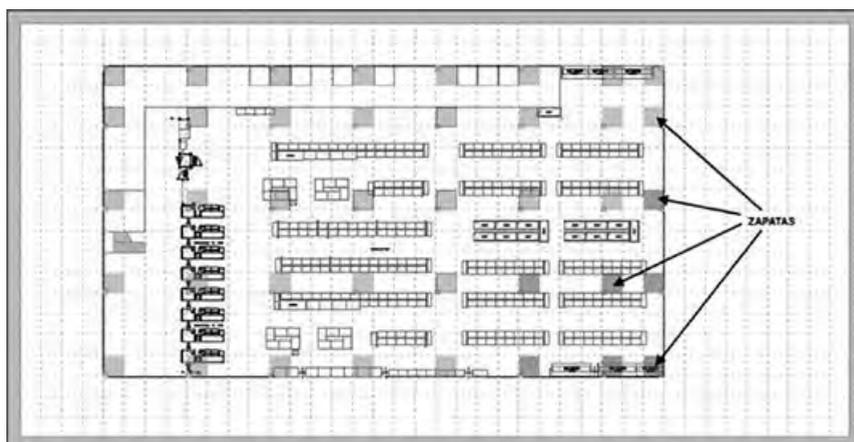


Figura 3: Ejemplo de grid en el mismo plano para identificación de elementos de cimentación y estructura. Fuente: SOFIA-RTD [2]

Finalizada la superposición de la grid sobre los planos y definida la posición de cada elemento, se puede entonces, mediante la utilización de dispositivos móvil como teléfonos y tabletas, modificar el color de las celdas para identificar si los elementos corresponden a unidades ejecutadas tal como representa la “Figura 4” (gris oscuro) o a falta de finalización (gris claro), obteniendo, por tanto, el estado de avance de la unidad de obra, del capítulo, fase o lote y del proyecto en su globalidad.

Como la toma de datos se realiza con el propio dispositivo móvil en obra, se obtiene una medición fiable del estado de la obra en tiempo real. A modo de ejemplo, la “Figura 4”, representa los datos del seguimiento de una obra, con un 57.21% de ejecutado sobre importe total del proyecto, un 98.25% ejecutado sobre el lote o fase de cimentación y un 94.17% ejecutado en unidades de obra de zapatas aisladas.

A partir de los datos que se van introduciendo, el sistema permite además generar documentos estándares para elaborar informes.

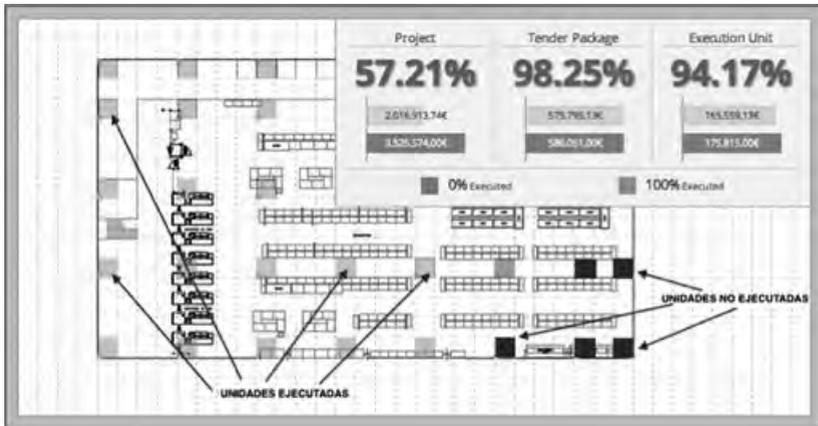


Figura 4: Nivel de avance de ejecución de cimentación (unidades ejecutadas y no ejecutadas) y porcentajes de ejecución sobre proyecto, sobre lote o fase de cimentación y sobre las unidades de obra de zapatas. Fuente: SOFIA-RTD [2]

El concepto de “huella digital” [3] que se genera en la obra mediante el empleo de la grid, permite adjuntar a cada cuadrícula en la toma de datos en obra, información asociada - como se ha indicado anteriormente sobre la “Figura 2”- a cada elemento tipificado como unidad de obra, capítulo o lote. Por una parte, información gráfica como imágenes del seguimiento constructivo, como representa la “Figura 5”, videos de procedimientos o croquis, obtenidos de la realidad física donde se produce; por otra, información documental como informes, actas de ensayo, proyecto, plano, o cualquier otra información crítica para entender el proceso de obra. De esta forma, la propia huella digital permite que una gran cantidad de información (big data) quede registrada y accesible para el seguimiento, monitorización, mantenimiento y explotación del proyecto.

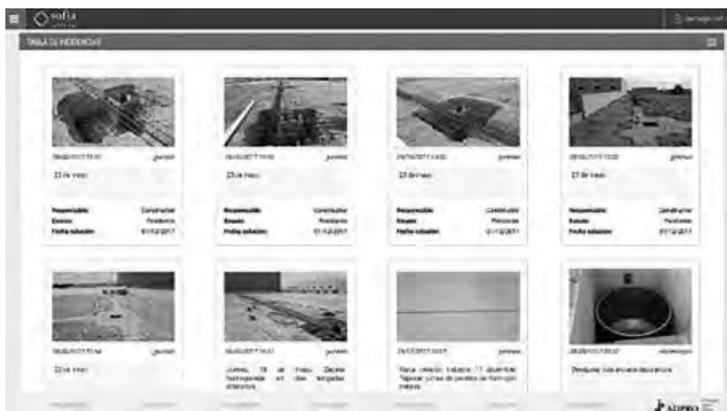


Figura 5: Listado de incidencias con imágenes asociadas, con fecha, responsable y seguimiento. Fuente: SOFIA-RTD [2]

En las siguientes imágenes se observa las distintas unidades de información asociadas a elementos que se han ido generando en la aplicación de los casos reales.

La “Figura 6” muestra ejemplos de información gráfica asociada, con la fecha en la que se produce, el usuario que incorpora el dato al sistema y la incidencia que representa (imágenes superior izq. y dcha.). Las dos imágenes inferiores muestran (izq.) el total de elementos de información, a modo de índice, de una fase, en este caso una planta completa y (dcha.) muestra un documento referente al plan de calidad asociado a la planta que se visualiza, como en los casos anteriores, con la fecha en la que se crea y el usuario.



Figura 6: Información gráfica asociada. Superior: fecha, incidencia y usuario. Inferior: elementos de información y plan de calidad. Fuente: SOFIA-RTD [2]

Además, el empleo del modelo en estos proyectos ha permitido depurar el método y adaptarse a las distintas tipologías de proyectos y necesidades de los clientes. De hecho, se encuentra en proceso de estudio sobre posibles mejoras y actualizaciones. A continuación, se muestran dos ejemplos, uno sobre un centro comercial “Figura 7” y otro sobre un proyecto de urbanización “Figura 8”, en los que se observa el nivel de avance de la producción, respecto al proyecto, a la fase de obra y a la unidad de obra, como en los ejemplos anteriores, y la documentación almacenada para cada proyecto concreto.



Figura 7: Ejemplo nave comercial. Fuente: SOFIA-RTD [2]



Figura 8: Ejemplo urbanización. Fuente: SOFIA-RTD [2]

Su puesta en uso en varios proyectos como centros comerciales, plataformas logísticas, edificaciones industriales y de oficinas y proyectos de urbanización, ha garantizado la optimización de los procesos en tiempo y coste.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El resultado de la utilización del modelo es la generación de una huella digital completa del proyecto desde su inicio hasta su finalización, con la documentación oportuna y que permite criterios de búsqueda y filtros para localizar y obtener la información requerida en cada momento [4]. Además, se generan informes en los que se visualiza un resumen de datos de previsión, un avance de la producción y las correspondientes desviaciones económicas si las hubiera.

Al disponer de una información de producción homogénea, con una sistemática de toma de datos y una frecuencia temporal, se pueden obtener instantáneamente las curvas de producción y KPI's. (Key Performance Indicator), indicadores clave del rendimiento, permitiendo medir el nivel de cumplimiento de un objetivo prefijado [5]. Estas curvas de producción permiten segmentarse en función de la tipología de proyecto, del lote de obra, del capítulo de obra, de la unidad de obra, del contratista adjudicado, de la Dirección de obra que ha supervisado y obtiene información asociada que posteriormente permitirá comparar con otros proyectos futuros, detectando en estados tempranos de producción posibles desviaciones y con ello la necesidad de acometer medidas correctoras.

Como ejemplo de proyectos reales se muestra a continuación distintas formas de visualizar la información en tiempo real, así como las gráficas de comportamiento resultantes de la evolución.

Por ejemplo, la adaptabilidad del modelo permite que éste acoja las particularidades que en cada caso se estimen oportunas, como ejemplo, en determinados casos, al ser obras de plazo corto y ejecución inmediata como la adecuación de un local comercial, se agrupan las unidades de obra por capítulos, como representa la “Figura 9”, permitiendo una gestión óptima adaptada a la intensidad de la producción.



Figura 9: Ejemplo de agrupación por capítulos. Fuente: SOFIA-RTD [2]

La toma de datos de manera continuada y con una frecuencia establecida bien diaria o bien semanal obtiene el grado de avance en la producción. A partir de ahí, permite además obtener de manera sencilla las curvas características por unidad de obra, capítulo, lote y tipología de proyecto, tal como muestra la “Figura 10”.



Figura 10: Curvas características de comportamiento de las distintas unidades de información. Fuente: SOFIA-RTD [2]

La obtención de los datos de producción se genera de manera instantánea, lo que se denomina en tiempo real, alimentando los paneles de información y control del proyecto que anteriormente se ha comentado. La “Figura 11” (izq.) refleja datos económicos totales de la inversión, planificación de costes anual, estado de avance de distintas tramitaciones y porcentajes de producción, nivel de riesgo y de calidad. La misma figura (dcha.) desarrolla la información vertida en la figura anterior, detallando aspectos sobre la inversión.



Figura 11: (Izq.) Resumen de datos en tiempo real. (Dcha.) Desglose de inversión por capítulos. Fuente: SOFIA-RTD [2]

La representación gráfica mediante el sombreado con distintas tonalidades permite identificar el estado de la obra, lote, o unidad de ejecución, como un gradiente térmico del avance y estado de la producción en tiempo real, tal como muestra la “Figura 12”, ofreciendo una visión global.



Figura 12: Ejemplo termografía de producción. Fuente: SOFIA-RTD [2]

Finalmente, la sistemática en la toma de datos y su homogeneidad, independientemente del proyecto, y de los agentes que intervienen, permite trabajar con portafolios de proyectos que se comparten garantizando una documentación transparente y bien organizada.

### 3. CONCLUSIONES

La profesionalización en la forma de llevar a cabo la gestión de los proyectos y de la propia construcción, constituye la principal virtud de este modelo, abarcando la práctica totalidad de los procedimientos necesarios desde que se elabora el proyecto arquitectónico hasta la finalización o desagregación del proyecto, conservando un expediente completo con toda la información que se va generando durante el proceso.

La metodología empleada basada en los casos descritos permite de manera sencilla e intuitiva monitorizar la producción de una obra, unidad de obra a unidad de obra, por capítulos o por lotes o siguiendo el criterio de agrupación que el usuario considere más adecuado. Los resultados obtenidos de aplicar este modelo en proyectos reales permiten modelizar las curvas de producción para emplearlas en proyectos futuros y detectar cualquier tipo de desviación respecto a la previsión cuando un proyecto concreto empieza a desvincularse del modelo óptimo, dejando así de manifiesto la bondad del sistema, cuyo principal objetivo es la optimización de los procesos en obras de construcción.

La mejora resulta al disponer del estado de producción con frecuencia diaria o semanal, con la información estructurada y en tiempo real, permitiendo la toma de decisiones anticipada que afectan a tiempo y coste.

Esta estrategia así diseñada ha permitido en los proyectos gestionados con esta metodología durante el periodo 2005-2014 ahorros de hasta de un 90% de los sobrecostes y de un 80% de las incidencias por retrasos [6].

#### 4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CES. Consejo Económico y Social. Informe 02/2016 EL PAPEL DEL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN EN EL CRECIMIENTO ECONÓMICO: COMPETITIVIDAD, COHESIÓN Y CALIDAD DE VIDA.
- [2] SOFIA RTD. Accedido el 18 de diciembre de 2017 desde <https://sofia-rtd.com>.
- [3] DÍEZ TORRIJOS, S. (2017). Transformación digital, sí. Sentido común, también. *Andalucía Inmobiliaria*, 138: 24-25.
- [4] DÍEZ TORRIJOS, S., RAMÓN ALBERT, A., BENLLOCH MIRALLES, B., AYALA LÓPEZ, R., LILLO ARNALTE J.A., TENA GIL, L. (2015). Parameterization of the construction promoter's Responsibilities throughout the project's life cycle. *Organization, Technology and management in construction. AN International Journal*, 7 (1): 1228-1242. DOI 10.5592/otmcj.2015.1.7
- [5] ESPINOSA, R. (2016). Indicadores de gestión: ¿Qué es un KPI?. Accedido 26 de enero de 2018 desde <http://robertoepinosa.es/2016/09/08/indicadores-de-gestion-que-es-kpi/>
- [6] 10t Project Management. Accedido el 15 de enero de 2018 desde [www.10t.es](http://www.10t.es).

#### 5. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la empresa 10t Project Management y Sofia-RTD la cesión de las imágenes contenidas en esta comunicación para mostrar el ejemplo real de un modelo integrado de gestión de proyectos.

## LAST PLANNER SYSTEM YA ES UNA REALIDAD. AHORA HACIA LA TRANSFORMACIÓN LEAN DE LA EMPRESAS DE CONSTRUCCIÓN

LLEDÓ PARDO, MARÍA JESÚS<sup>1</sup>; CERVERÓ ROMERO, FERNANDO<sup>2</sup>

<sup>1</sup> COO en THiNK Productivity, Valencia, España. Profesor de Lean Construction en el Máster en Gestión de Información de la construcción BIM, de la Universidad Politécnica de Valencia, España. Profesor de Lean Construction en diversos Programas de Postgrado de Escuelas de Negocios en España.

e-mail: [mj@think-productivity.com](mailto:mj@think-productivity.com), web: <http://www.think-productivity.com>

<sup>2</sup> CEO en THiNK Productivity, Valencia, España. Profesor Asociado de Lean Construction en el Máster de Gestión de Edificación, en la ETSIE y el Máster de Planificación de la ETSICCP, de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV), España. Profesor de Lean Construction en el Máster en Gestión de Información de la construcción BIM, de la UPV, España.

Profesor de Lean Construction en diversos Programas de Postgrado de Escuelas de Negocios en España.

e-mail: [fernando@think-productivity.com](mailto:fernando@think-productivity.com), web: <http://www.think-productivity.com>

**PALABRAS CLAVE:** Lean Construction, Last Planner System, Lean Project Delivery System, Transformación Lean, Value Stream Mapping.

### RESUMEN

El sector de la construcción en España y en el mundo, está experimentando un cambio en su forma de operación: las empresas han comenzado a plantearse que deben modificar su forma de gestión, para adaptarse al entorno. Las nuevas tecnologías, las nuevas herramientas, el trabajo colaborativo y las filosofías de gestión, que están llegando al sector de la construcción, han removido las entrañas del mismo, hacia una gestión más colaborativa, eficiente, transparente, productiva y respetuosa, que lo hace más competitivo.

Una filosofía que está calando fuertemente, es Lean Construction (LC). En este sentido,

los arquitectos técnicos están teniendo un papel muy importante, tanto divulgando, como implementando las diferentes herramientas de Lean, adaptadas a la construcción.

Tras la experiencia acumulada, después de haber implementado Last Planner System (LPS) de forma directa, en más de 22 proyectos en España y más de 18 proyectos en México; en empresas de todos los tamaños y de diversa tipología (comercial, hospitalario, residencial, retail,...), es posible afirmar, con datos, el éxito de la aplicación de esta herramienta en todos ellos.

Last Planner System es una herramienta de LC, basada en la planificación colaborativa, que ayuda a la generación, seguimiento y control de la producción a través de la planificación y sus indicadores, ayudando a todo el equipo a ser más eficientes.

Todas las empresas con las que se han realizado los proyectos piloto, han solicitado la aplicación de LPS en el resto de sus proyectos. En base a la experiencia, las organizaciones que aplican Last Planner System, de forma rutinaria, comienzan a tener la inquietud de aplicar otras herramientas lean, como 5s o la optimización de procesos, obteniendo unos resultados muy positivos, hasta llegar a la transformación total de la organización, hacia la forma de gestión Lean, no sólo en las áreas productivas, sino en toda la organización.

## 1. INTRODUCCIÓN

Durante los años de recesión sufridos en nuestro país, que el Banco De España acota entre los años 2007, cuando marca su inicio y el 2015, donde considera su fin definitivo en su “Informe sobre la crisis financiera y bancaria en España, 2008-2014”[1], el sector de la construcción ha sido el más afectado. No es de extrañar que, las empresas que han sobrevivido a esta enorme recesión o las de nueva creación en estos últimos años, hayan realizado una retrospectiva de la forma de operar y hayan aprendido de los errores cometidos, por parte de todos los agentes que formaban parte del sector.

Esto les ha llevado a investigar otros modelos de operación, otras maneras de gestión de la construcción, que les pudiese ayudar a ser más productivos, más eficientes, más respetuosos y más competitivos. Una filosofía que ha ido despertando el interés de las organizaciones del sector, ha sido Lean Management y su aplicación a la construcción, denominado Lean Construction.

La filosofía Lean, proviene del sector de la automoción, más concretamente del sistema de producción, que desarrolló Toyota (Toyota Production System) y que les permitió, en un entorno de crisis, ser un referente mundial en cuanto a productividad, variedad en la producción, reducción de stocks y de costes. John Krafcik, investigador del MIT, fue el primero en acuñar el término “lean” a la filosofía del Toyota Production System, refiriéndose a ella como un sistema de producción “magro”, es decir, sin grasa, donde se elimina todo aquello que sobra, que no añade valor: el desperdicio o despilfarro [2].

La filosofía lean, mediante sus herramientas, se centra en agregar valor al cliente, a través de procesos optimizados, utilizando el conocimiento de quien realiza el trabajo y aplicando la mejora continua. Estos conceptos se han adecuado al sector de la construcción y desde el año 1992, en el que Lauri Koskela escribió su artículo “Application of the new production philosophy to construction” [3], se ha avanzado considerablemente en la adaptación de las herramientas del Lean Manufacturing a la idiosincrasia del sector de la construcción.

Por su particularidad, es necesario aprender a administrar la variabilidad, la incertidumbre y la complejidad propias de la construcción, donde cada producto es un prototipo, que

depende de las condiciones del entorno y que se ejecuta con organizaciones temporales y cada vez diferentes [4], tratando además de eliminar el despilfarro. En un estudio realizado por Alfredo Serpell, sobre el despilfarro en construcción, concluye que el sólo el 47% del trabajo en construcción es productivo. El 53% restante, lo divide en un 28% de trabajo, que no añade valor, pero que es trabajo contributivo y en un 25% del trabajo, que es despilfarro puro. Estas cifras obligan a replantearse el modo de operar en la construcción [5].

Es por esto, que cada día atraen a más empresas, las herramientas que de Lean Manufacturing están adaptándose a la construcción y a la particularidad de sus proyectos. Normalmente en construcción, las empresas se inician en la aventura de Lean, aplicando Last Planner System, para tratar de mejorar en el ámbito productivo. Tan pronto como obtienen los resultados de la primera implementación, suelen decidir que esta filosofía, ha de llevarse a los demás ámbitos de la organización y que ha de abarcar más fases del proceso y no sólo a la propia de ejecución, sino que deberían incluirse estas u otras herramientas, además en la fase de desarrollo de proyecto, en los aprovisionamientos, en la postventa, etc.

## 2. LAST PLANNER SYSTEM, YA ES UNA REALIDAD EN ESPAÑA

### 2.1 Qué es Last Planner System

Last Planner System (LPS), es una herramienta enmarcada en los principios de la filosofía lean, aplicada al sector de la construcción. Fue desarrollado a principios de la década de los noventa por Glenn Ballard y Greg Howell y propone un sistema de planificación y control de la producción que busca maximizar el valor del proceso constructivo, disminuir la incertidumbre y la variabilidad en el flujo de trabajo, para alcanzar compromisos confiables [6]. El fundamento teórico del sistema, se consolidó y se amplió, en la tesis doctoral que Glenn Ballard publicó en el año 2.000, donde propuso, en base a un estudio de investigación realizado además de su experiencia en la implementación, mejoras en el sistema, que derivaron en nuevos conceptos y técnicas de aplicación [7].

LPS se compone de tres niveles de planificación: el plan maestro, el plan intermedio o lookahead y el plan semanal. En el plan maestro se define de forma colaborativa *aquello que debe realizarse* (actividades, secuencia, duraciones, solapes, alcances, hitos y fecha de entrega). Semanalmente se revisa el plan intermedio, para definir *aquello que puede realizarse* en una ventana de 4 a 12 semanas vista, con el fin de detectar las restricciones que impiden el flujo de trabajo y reducir la incertidumbre. Semanalmente también, se revisa y detalla el plan semanal, donde se define aquello que se hará en la semana siguiente, en función de lo cumplido en la semana que finaliza [8].

En definitiva, se trata de un método de Planificación Colaborativa, en el que se involucra a quienes van a ejecutar la obra, esto es, los “últimos planificadores”, para la generar la planificación del proyecto, su gestión y su seguimiento, consiguiendo el compromiso del equipo, donde la comunicación es un factor predominante del éxito del sistema. Esta metodología de trabajo, ayuda a la generación de la planificación de un proyecto, teniendo en cuenta a todas las partes que van a estar implicadas en él y que van a intervenir, anticipándose a los problemas y llevando el control y seguimiento semanal de la producción, a través de la planificación.

## 2.2 Last Planner System en España

Los autores de la presente comunicación, ha tenido la oportunidad de implementar Last Planner System en más de 50 proyectos desde el año 2.015, principalmente en obras de edificación y alguna obra de infraestructura civil, fundamentalmente en España, México, Colombia y Cuba. Ambos son Arquitectos Técnicos y trabajan con un equipo multidisciplinar, pero de mayoría Graduados en Arquitectura Técnica e Ingenieros de Edificación y en menor medida Ingenieros Civiles, Arquitectos e Informáticos.

En España han sido ya más de 33 proyectos, en los que los autores han participado de forma activa o dando soporte. Los datos que se presentan en este documento, responden a la información recopilada en estos años, en las implementaciones llevadas a cabo por ellos, en la fase de construcción.



Figura 1: Implementaciones LPS en España, por tipología de obra.

Según los datos mostrados en la Figura 1, donde más se está implementando la herramienta Last Planner System, está siendo en los edificios de viviendas en altura, llegando al 48% de la muestra analizada. En esta tipología, al tener un producto que se puede llegar a considerar como un estándar ya que se repite durante toda la construcción: como es la unidad de vivienda, la aplicación de Last Planner System ayuda a los equipos y les permite tener un control de en qué fase se encuentra cada vivienda y ayuda a visualizar a los últimos planificadores las oportunidades para optimizar sus tiempos y a tratar de llevar un ritmo constante de producción. Son obras que tienen una duración de entre 11 y 18 meses y en las que los equipos se complementan muy bien y se crea la rutina de reunirse para planificar cada semana y de sacar los problemas a la luz de modo que entre todos se tome la solución más conveniente.

Le sigue con un 24%, las obras de retail, que normalmente son de 8 semanas de duración, en las que no hay posibilidad de error, ya que un retraso en un suministro o una definición, puede acabar con el plazo comprometido. En este tipo de obras, la importancia de detectar en una fase temprana todos los problemas y anticiparse a ellos, haciendo una buena gestión de las restricciones, es fundamental para alcanzar el éxito. Además, la rutina de reunirse todos cada semana para organizar los trabajos y los espacios, es de gran ayuda al equipo además, para organizar los trabajos a realizar y los suministros, gestionando las zonas donde depositar cada material.

En el resto de tipologías, como en las anteriormente citadas, las actuaciones realizadas al implementar LPS, han ayudado a los equipos a su gestión diaria, tanto entre los propios subcontratistas con el jefe de obra, como a las relaciones entre la constructora (jefe de obra) y el cliente o con la Dirección Facultativa. En todos los casos, ha supuesto una mejora en la organización y la productividad de las obras y una reducción de la variabilidad considerable, para todos los implicados, como así lo han manifestado los participantes.

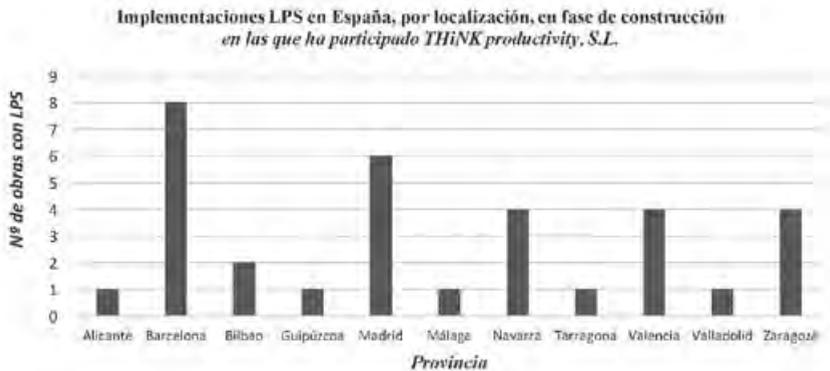


Figura 2: Implementaciones LPS en España, por provincias.

En cuanto al ámbito geográfico de las implementaciones de Last Planner System en las que THiNK productivity S.L. ha participado en estos casi tres años, como muestra la figura 2, destacan Madrid y Barcelona con mayor número de implementaciones, provocadas también por la coyuntura económica en el despegue del sector en estas zonas.

El 62,50% de las actuaciones en Barcelona ha sido de Retail en sucursales bancarias, mientras que el 37,50% ha sido en edificación residencial en altura. En Madrid, el 100% de las actuaciones ha sido en edificación residencial en altura. Lo mismo ocurre con las obras del País Vasco, que han sido todas de edificación residencial en altura. En Valencia, hay más diversidad, ya que de las 4 obras, dos han sido adecuaciones para laboratorios en hospitales, una fue una reforma de un piso en el ensanche de Valencia y la otra una obra de retail, de una sucursal bancaria. En Málaga se ha tratado de una remodelación en un hotel de la costa, en Valladolid de una reforma en un hospital, en Alicante una vivienda unifamiliar de alto standing y en Tarragona, una sucursal bancaria. En Navarra, el 50% de las actuaciones ha sido en edificación residencial en altura, el 25% en un colegio y el otro 25% en una sucursal bancaria. Por último en Zaragoza ha sido un 50% de las actuaciones, edificación residencial en altura, un 25% una obra industrial y el otro 25% una obra de 16 viviendas pareadas.

Desde principios del año 2015, coincidiendo con la incipiente recuperación económica del sector, fueron varias las empresas que comenzaron a interesarse por la filosofía lean y a plantear proyectos en los que probarla. Normalmente, se ha recomendado aplicar Last Planner System en uno o varios proyectos piloto, para poder obtener resultados y tomar decisiones en cuanto a qué beneficios se han obtenido y qué sensaciones han tenido, tanto el personal propio de la empresa (Jefe de Grupo, Jefe de Obra, Ayudante, Encargado, etc.), como los últimos planificadores, es decir las empresas que han participado en la ejecución del edificio. Además para, a la vista de los datos, poder adaptar el método a las particularidades de la empresa.

Lo que ya es una realidad que prácticamente todas la empresa que han comenzado a trabajar con Last Planner System en los proyectos piloto, lo han hecho extensible al resto de proyectos que han ido comenzando, pasando a ser la forma de gestión de la producción en sus obras, a través de la planificación colaborativa.

### 3. TRANSFORMACIÓN LEAN DE LAS EMPRESAS DE CONSTRUCCIÓN

#### 3.1 Introducción

Son muchas las empresas y personas que ya han experimentado la aplicación de la filosofía lean, a través de la vivencia en proyectos en los que se ha utilizado Last Planner System en su gestión y seguimiento. Además han podido conocer los beneficios, tanto a nivel organizativo y económico, como a nivel personal. Este beneficio, no sólo ha sido percibido por las empresa constructoras o promotoras que han implementado LPS, sino también por las personas que han gestionado los proyectos y por las empresas que han colaborado como proveedores o subcontratistas.

Es por esto, que las demás herramientas del entorno lean, también han comenzado a ser atractivas para los empresarios de la construcción, que comienzan a demandar que la filosofía lean, sea su guía en el desempeño organizacional. Con ello, pretenden un cambio, una transformación en los procesos, con el fin de mejorarlos. Esta filosofía de trabajo se centra en la eliminación de “desperdicios”, es decir, de todos aquellos procesos innecesarios que no producen ningún valor para la empresa.

Lean se apoya en 5 principios claves para su correcta implementación: identificar el valor para el cliente; desarrollar el mapa de valor de cada producto o servicio; dar fluidez, mejorar el flujo de actividades; emplear la producción Pull y crear la cultura de la mejora continua mediante la búsqueda de la perfección [9].

Estos principios, son los que las empresas que han iniciado su transformación lean, persiguen implementar en todos los niveles organizativos, buscando la máxima eficiencia.

#### 3.2 Herramientas que las empresas están empleando para iniciar su transformación lean

Además de Last Planner System, en la parte de producción, tomando como referencia los datos obtenidos en el desempeño de las diferentes implementaciones llevadas a cabo por THiNK productivity en los tres últimos años, las empresas de construcción analizadas han ido implementando en su sistema organizacional, diferentes herramientas basadas en la filosofía lean.

##### PARA IDENTIFICAR EL VALOR DEL CLIENTE

Tanto a nivel de proyecto, como a nivel de organización, se han empleado herramientas que ayudan a detectar e identificar el valor del cliente. Se ha seguido la metodología de *LEAN APPROACH*, por la que, mediante unas dinámicas, se detecta el valor de los clientes y se alinean de modo que puedan obtenerse los factores de éxito que conducirán la estrategia a seguir.

##### PARA EL DESPLIEGUE DE LA ESTRATEGIA

En las organizaciones, con el objetivo fundamental de hacer entender la estrategia de la empresa y cómo cada uno participa en ella, de modo que todos los integrantes de una empresa trabajen hacia una misma dirección y de forma simultánea, se está empleando la herramienta *HOSHIN KANRI*, para definir básicamente tres aspectos: los objetivos estratégicos de la compañía, los planes que deben desarrollar los responsables de equipo y el trabajo realizado por cada grupo.

En definitiva, el método se basa en una estrategia que ayuda a las empresas a dirigir sus esfuerzos hacia un fin común, mejorando la eficacia, el talento y la comunicación interna entre sus distintas áreas.

#### PARA CONOCER EL MAPA DE VALOR DEL PROCESO Y ELIMINAR EL DESPERDICIO

Para este cometido, se está utilizando la herramienta visual *VALUE STREAM MAPPING*, en los procesos elegidos, para poder analizar de forma detallada todas las actividades que incurrir en la realización de un proceso, tanto las que aportan valor como las que no. Es una forma de, mediante una dinámica con el equipo que participa del proceso y sus clientes internos, mapear “cómo lo estamos haciendo realmente”, no siguiendo los procedimientos escritos de la empresa, sino plasmando la realidad. En estos gráficos se muestra el flujo del producto o servicio, el flujo de materiales y el flujo de información y permite detectar qué actividades agregan valor al proceso y cuáles no, por lo tanto, detectamos el desperdicio o despilfarro del proceso.

Es entonces, con el equipo, cuando se traza el mapa de estado futuro, a través de las ideas de mejora que ellos plantean y se establecen las acciones a tomar para poder conseguirlo, categorizándolas en base a su impacto y esfuerzo/coste. Se definen los indicadores que servirán para monitorear la mejora y mostrar la realidad del cambio. Pero sobre todo, lo más relevante es que se inculca la cultura de la mejora continua en el equipo y se consiguen personas motivadas, a favor del cambio y la mejora de forma autónoma.

En este sentido, están analizándose procesos como el de compras, el de administración, el de estudios, etc., llevando la filosofía lean al resto de la organización. Es curioso cómo, al principio, con los equipos con los que se inicia esta herramienta son percibidos como los “conejos de indias” de “otra dinámica más de la empresa”, pero conforme van difundándose las experiencias de los participantes y los resultados, son los demás departamentos los que solicitan que se realicen estas dinámicas en sus procesos, para sentir esos beneficios.

#### PARA GARANTIZAR EL FLUJO Y CONSEGUIR UNA PRODUCCIÓN PULL

Además de utilizar *LAST PLANNER SYSTEM* en la parte de ejecución de obra e incluso en la fase de diseño, se están empleando en entornos de oficina, tableros *KANBAN* que ayuden a visualizar el flujo de trabajo, a visualizar limitar el trabajo en curso, a conocer quién hace cada tarea, a nivelar la producción y a detectar los problemas. Además, se está llevando a la oficina, herramientas de *GESTIÓN VISUAL* que ayuden al equipo a visualizar de modo transparente el desempeño de sus procesos y les ayude a tomar decisiones en fases tempranas, anticipándose a los problemas.

#### PARA EL ORDEN Y LA LIMPIEZA EN LOS ENTORNOS DE TRABAJO

Para conseguir entornos de trabajo más productivos, más seguros y más eficientes, las empresas han comenzado a implementar una metodología de gestión conocida como las

“5s”. Se trata de cinco principios básicos, que en japonés comienzan por la letra “S”: seiri, seiton, seiso, seiketsu y shitsuke. Como siempre, con las personas que trabajan en un determinado espacio (ya sea en entornos de obra o en entornos de oficina), se realizan dinámicas por las que se visualiza y se clasifica el material que existe en el lugar de trabajo entre necesario o innecesario (seiri). A continuación, se analiza el espacio disponible y se establece el orden y la organización que se llevará a cabo, de forma que exista “un lugar para cada cosa y así cada cosa estará en su lugar” (seiton). Posteriormente se da el paso de aprovechar para la limpieza, pero inculcando la necesidad de mantener el entorno de trabajo limpio de forma continua (seiso). El siguiente paso, está encaminado a la estandarización del método, para poder hacerlo extensible a todos los participantes y que de un vistazo pueda comprobarse si hay algo que no está bien (seiketsu). Por último, hay que crear el hábito (shitsuke), para que esta técnica sea mantenida en el tiempo y que los equipos la sigan de forma rutinaria.

En los entornos de oficina el cambio es significativo para los trabajadores y para el entorno de trabajo, pero es en la obra, donde el impacto es muy alto ya que por primera vez, se trabaja en un entorno limpio, ordenado y organizado, donde cada equipo se encarga de recoger sus sobrantes y dejar limpio el tajo terminado para que el siguiente lo encuentre limpio, lo mismo con los medios auxiliares que utilizan: tienen un lugar establecido, que es respetado por todos tras su uso.

#### PARA LA REALIZACIÓN DE PROYECTOS COLABORATIVOS DESDE EL DISEÑO. DISEÑAR PENSANDO EN LA PRODUCCION

Aunque pueda parecer un tema novedoso, el Empire State Building, inaugurado en 1931, que dedicó 20 meses entre la fase de diseño, la licencia, la demolición de un edificio anterior y la construcción del nuevo edificio ya utilizaba metodologías y procesos que hoy conocemos como *LEAN PROJECT DELIVERY SYSTEM (LPDS)* o *INTEGRATED PROJECT DELIVERY (IPD)* [10].

LPDS se define como un modelo para llevar a cabo un proceso colaborativo, que comprende la gestión integral del proyecto, durante todo el ciclo de vida de éste. Se forma un equipo colaborativo para todo el proceso, con la misión de alinear fines, recursos y restricciones, mediante la gestión del proyecto, considerando un enfoque por etapas que comprende: la definición del proyecto, el diseño, el suministro, el montaje o ejecución y el uso y mantenimiento posterior del edificio o infraestructura, utilizando conceptos y técnicas destinadas a maximizar el valor para el cliente y minimizar las pérdidas en la producción.

En este tipo de proyectos, es el propietario quien determina el coste objetivo del proyecto, que es la cantidad máxima que el modelo de negocio puede soportar y a partir de ahí, el equipo colaborativo trabaja para ofrecer el mejor valor para el cliente, eliminando todas las actividades que no añaden valor.

Los acuerdos del contrato colaborativo que regula este tipo de proyectos, permiten la flexibilidad entre los miembros del equipo (propietario, proyectista, constructor y subcontratas significativas) para ofrecer un proyecto de mayor valor para el cliente y participar a riesgo-beneficio compartido, en el resultado del proyecto [11].

Por la experiencia de los autores, es cierto que actualmente en España, este tipo de contratos causan cierta expectación, por lo novedoso de la forma de gestionarse, pero cuando los diferentes agentes comienzan a conocer las ventajas de este tipo de acuerdos colaborativos y los beneficios que tienen para cada una de las partes, la mayoría proponen continuar trabajando bajo este método en los siguientes proyectos.

Mediante la implementación de estas herramientas principalmente, las empresas están consiguiendo iniciarse en el cambio tanto cultural como organizacional, que provoca la filosofía lean, obteniendo unos resultados muy satisfactorios y beneficiosos para todos los agentes que participan de estas dinámicas y por ende del cambio.

### **3.3 El papel del Arquitecto Técnico en las implementaciones lean construction.**

El arquitecto técnico ha venido participando en el proceso constructivo, desde las fases más tempranas, como puede ser la de la gestión de suelo; colaborando en la fase de diseño; participando en la contratación de los colaboradores; dirigiendo la ejecución material de la obra o incluso encargándose de la producción completa de la misma; gestionando la calidad y la seguridad y desempeñando trabajos de atención al cliente en la postventa. Es por esto que, el Aparejador, Arquitecto Técnico o Ingeniero de Edificación, tiene una visión completa del proceso y un conocimiento del sector que le permitirá comprender la particularidad del mismo (bien diferente a los entornos manufactureros), para poder liderar las implementaciones de lean en el sector y empresas de la construcción.

Tan sólo ha de comprender la filosofía lean y formarse en sus técnicas y herramientas que, junto con su conocimiento en el entorno de la construcción y desarrollando habilidades para la gestión del cambio en las personas, le permitan ser el técnico idóneo para provocar y conseguir el cambio en las organizaciones y por ende en todo el sector.

Actualmente en España, de entre los consultores especializados en Lean Construction, son muchos los que son Arquitectos Técnicos, dedicados al 100% a formar a los equipos, a transmitir y a implementar lean construction en las organizaciones.

## **4. CONCLUSIONES**

La práctica totalidad de las empresas analizadas en este documento, que han utilizado Last Planner System en sus obras piloto, han decidido que este sistema se estandarice para el resto de obras de su organización, independientemente del tamaño de la obra/s elegida/s como piloto y de la tipología de la misma. Ya es una realidad en España el uso sistematizado de Last Planner en construcción.

Actualmente está permeando el sistema entre todos los agentes que participan del proceso de Last Planner: empresarios, mandos intermedios, jefes de obra, subcontratistas, etc., logrando que exista una mayor difusión y transmisión de las ventajas del sistema por todo el sector, desde la propia experiencia de quienes lo han vivido: la mejora en el ahorro de costes y en los tiempos de ejecución; la mayor colaboración y comunicación entre el equipo y la mejora de la productividad.

Tras estas experiencias, son muchos los que optan por adoptar Lean como estrategia de trabajo y elemento diferenciador, por lo que comienzan la transformación lean de sus organizaciones. Para el éxito de esta transformación es necesario el compromiso de la Dirección, también tener unos objetivos definidos medibles, para realizar un seguimiento de su progreso y motivar al personal para que participe en las dinámicas propuestas en las herramientas, hasta ser capaces de realizarlas de forma autónoma.

Cuando se inicia en una empresa, proyecto u obra, una implementación de una nueva herramienta, se genera gran expectación por lo novedoso del sistema. Entre otros aspectos, por lo respetuoso con las personas y el concepto de colaborativo y por tratar de sacar los problemas a la luz en lugar de esconderlos.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS (Y CITAS EN EL TEXTO)

- [1] de España, B. (2017). Informe sobre la crisis financiera y bancaria en España, 2008-2014. *Other publications*, 1-257.
- [2] Krafcik, J. F. (1988). Triumph of the lean production system. *MIT Sloan Management Review*, 30(1), 41.
- [3] Koskela, L. (1992). *Application of the new production philosophy to construction* (Vol. 72). Stanford, CA: Stanford university.
- [4] Ballard, G., & Howell, G. (1998, August). *What kind of production is construction*. In Proc. 6 th Annual Conf. Int'l. Group for Lean Construction (pp. 13-15).
- [5] Serpell, A., Venturi, A., & Contreras, J. (1995). *Characterization of waste in building construction projects*. *Lean construction*, 67-77.
- [6] Hoyos, M. F., & Botero, L. F. (2018). *Evolución e impacto mundial del Last Planner System: una revisión de la literatura*. *Ingeniería y Desarrollo*, 36(1).
- [7] Ballard, H. G. (2000). *The last planner system of production control* (Doctoral dissertation, University of Birmingham).
- [8] A. D. Rodríguez, L. F. Alarcón, E. Pellicer, *La gestión de la obra desde la perspectiva del último planificador*. *Revista de Obras Públicas*, pp.1-9, 2011.
- [9] Picchi, F. A., & Granja, A. D. (2004, August). *Construction sites: using lean principles to seek broader implementations*. In Proceedings of the 12th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC-12), Helsingør, Denmark (pp. 3-6).
- [10] Ghosh, S., & Robson, K. F. (2014). *Analyzing the Empire State Building Project from the Perspective of Lean Project Delivery System*. In ASC Proceedings of the 50th Annual Conference.
- [11] Ballard, G. (2008). *The Lean Project Delivery System: An Update*. *Lean Construction Journal*.



ÁREA II.

CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LA EDIFICACIÓN



**USO DEL GEORRADAR PARA LA IDENTIFICACIÓN Y DEFINICIÓN  
GEOMÉTRICA DE ESTRUCTURAS DE CIMENTACIÓN  
EN EDIFICACIONES EXISTENTES**

LÓPEZ JULIÁN, PEDRO LUIS<sup>1</sup>; PUEYO ANCHUELA, OSCAR<sup>2</sup>;  
POCOVÍ JUAN, ANDRÉS<sup>3</sup>; PÉREZ BENEDICTO, JOSÉ ÁNGEL<sup>4</sup>;  
SÁNCHEZ CATALÁN, JUAN CARLOS<sup>5</sup>.

<sup>1</sup> *Escuela Universitaria Politécnica de La Almunia, La Almunia, España*  
*E-mail: pllopez@unizar.es, Web: <http://www.eupla.unizar.es/>*

<sup>2</sup> *Universidad de Zaragoza, Zaragoza, España*  
*E-mail: opueyo@gmail.com,*

*Web: <http://wzar.unizar.es/perso/geotransfer027/opueyo.html>;*

<sup>3</sup> *Universidad de Zaragoza, Zaragoza, España*  
*E-mail: apocovi@unizar.es*

*Web: <http://wzar.unizar.es/perso/geotransfer027/miembros.html>;*

<sup>4</sup> *Escuela Universitaria Politécnica de La Almunia, La Almunia, España*  
*E-mail: joanpebe@unizar.es, Web: <http://www.eupla.unizar.es/>*

<sup>5</sup> *Escuela Universitaria Politécnica de La Almunia, La Almunia, España*  
*E-mail: jucasan@unizar.es, Web: <http://www.eupla.unizar.es/>*

**PALABRAS CLAVE:** Cimentaciones, rehabilitación, georradar, dimensiones

**RESUMEN**

El conocimiento detallado de las estructuras de cimentación de edificaciones existentes es un factor fundamental a la hora de planificar una actuación que implique una modificación del estado de cargas y su adecuación a los nuevos códigos. Dicha información no

siempre está disponible, ocurriendo no sólo en edificios históricos sino también en construcciones más recientes, incluso de mediados del siglo XX. Los procedimientos habituales de inspección de cimentaciones no van más allá de comprobaciones directas puntuales, relativamente válidas para obtener información general de las estructuras superficiales pero claramente insuficientes para conocer la distribución completa de las mismas en planta, las variaciones de diseño o la cota de apoyo, especialmente en el caso de cimentaciones profundas.

Se presenta aquí un resumen de los resultados obtenidos en los últimos años en la caracterización de distintas estructuras de cimentación mediante georradar, metodología no invasiva que con la combinación de antenas de distintas frecuencias permite conocer el tipo de cimentación superficial (zapata, losa), sus dimensiones en planta y en profundidad, así como los niveles de armadura interna existentes. En el caso de las cimentaciones profundas su aplicabilidad es más limitada pero, en determinadas condiciones, puede suministrar los parámetros geométricos principales.

La información así obtenida permite abordar los proyectos de rehabilitación con una mayor seguridad y economía de recursos, al permitir conocer las geometrías de los elementos de cimentación y su variación, sin necesidad de acceder al subsuelo de forma directa o al menos para reducir la caracterización directa o dotar a dichos resultados de representatividad. La evolución de las políticas públicas de vivienda, que tiende a dar mayor peso a la rehabilitación, podría beneficiarse de la aplicación de esta metodología en el redimensionado o caracterización actual de cimentaciones a partir de datos parciales o no comprobables del diseño e implantación original.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las características concretas de las estructuras de cimentación en edificios existentes no siempre se conocen de forma detallada, especialmente en ámbitos como la restauración monumental, donde la documentación técnica suele adolecer frecuentemente de falta de datos esenciales. En otras situaciones, son los planteamientos de rehabilitación de edificios los que precisan del conocimiento lo más preciso posible de las características de una concreta estructura de cimentación, en especial el tipo y las dimensiones de sus elementos.

El método tradicionalmente más empleado es la combinación del análisis de la documentación técnica recabada (que puede ser existente o inexistente, y con un grado de definición y fiabilidad variable) con la comprobación visual mediante un estudio de dimensiones basado en observaciones mediante la apertura de catas o pozos. Dichas observaciones, huelga decirlo, son comprobaciones puntuales que no pueden presentar gran extensión para no comprometer la integridad estructural del edificio, ya que se trata de una metodología invasiva.

El georradar (también conocido como radar de penetración terrestre, o GPR según sus iniciales en inglés) es un método de prospección geofísica ampliamente utilizado en Geología, pero cuyo empleo se está extendiendo cada vez más en Ingeniería y Arquitectura, ya que se está mostrando especialmente eficaz como medio de inspección no invasiva para la identificación de estructuras enterradas. Entre sus aplicaciones en el ámbito constructivo destaca la localización de servicios enterrados, pero también se está utilizando cada vez más en evaluación de estructuras de cimentación [1] [2] [3] como un método para su identificación y definición geométrica, principalmente en las de tipo superficial [4]. En el presente

trabajo se ofrece una serie de resultados que ilustra la potencialidad de esta metodología en la inspección no sólo de las estructuras de cimentación superficial, sino también en el caso de cimentaciones profundas, basados en la experiencia acumulada en la prestación de asesoría para rehabilitación de edificios en ámbitos tanto de edificación residencial como industrial.

## 2. METODOLOGÍA

La prospección geofísica se basa en la emisión y recepción de ondas mediante dispositivos móviles. El georradar trabaja con ondas electromagnéticas moduladas en un medio, de manera que tanto la emisión como la recepción tienen lugar desde la superficie. Las ondas retornadas provienen de su reflexión en el subsuelo, producida por cambios en las propiedades eléctricas del medio (constante dieléctrica). En medios totalmente naturales, dicha reflexión se debe principalmente a variaciones en el contenido en agua, pero también a variaciones del contenido en materia orgánica, en la mineralogía del medio o en la proporción de sales disueltas [5]. Por otra parte, en medios donde ha intervenido el hombre, las reflexiones se deben principalmente a los cambios impuestos por la presencia de materiales constructivos o por alteraciones del medio natural (por ejemplo, excavaciones).

Los resultados de la prospección geofísica por georradar dependen de las frecuencias de las antenas utilizadas. Los resultados que se presentan en este trabajo se han obtenido utilizando antenas con frecuencias centrales de 100, 250 y 500 MHz. Así, para un mismo emplazamiento sometido a estudio, existe una relación entre la frecuencia empleada y los resultados que se pueden obtener: a mayor frecuencia, mejor resolución, pero menor profundidad alcanzada. Por ello, la elección de las antenas para cada caso deberá realizarse en función de los objetivos concretos a alcanzar, pero es normal combinar los resultados obtenidos con antenas de varias frecuencias.

Como se ha comentado anteriormente, la prospección por georradar registra las reflexiones producidas en el subsuelo y provocadas por cambios en la constante dieléctrica del medio. En la prospección de estructuras de cimentación, el material no natural de presencia más frecuente es el hormigón. La constante dieléctrica del hormigón se encuentra entre 6 y 8, mientras que los suelos arcillosos pueden variar entre 3 y 15 [6]; además, cuanto más húmedo está el suelo, mayor será el valor de su constante dieléctrica y menor su velocidad de propagación. El registro de las reflexiones producidas a lo largo de un perfil permitirá definir, de forma no invasiva, las zonas de contacto entre los elementos de cimentación y el terreno que los rodea (tanto de forma lateral como por debajo del mismo), y la calidad de dicha definición dependerá del contraste entre las constantes dieléctricas de ambos grupos de materiales. En general y por esta razón, la caracterización en planta de la extensión de elementos de cimentación superficial suele ser sencilla, pero la localización precisa de su base de apoyo sobre el sustrato puede presentar resultados ambiguos.

Finalmente, cabe añadir que los resultados brutos obtenidos en una campaña de prospección necesitan ser procesados, eliminándose ruido, ecos y/o reverberaciones, y su adecuada interpretación precisa del conocimiento de las características geológicas del sustrato. No obstante, en los casos en que no existe información previa y la interpretación del origen de las anomalías no puede contrastarse, los resultados pueden aun así utilizarse de forma eficaz para evaluar la homogeneidad de las cimentaciones, así como para realizar análisis comparativos entre distintos elementos.

En el apartado siguiente se presenta un grupo de perfiles de georradar realizados en construcciones apoyadas sobre distintos tipos de cimentaciones: zapatas aisladas, losa de cimentación y pilotes.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Zapatas aisladas

En este primer ejemplo se realizó la prospección en una edificación industrial, en las proximidades de pilares apoyados sobre elementos de cimentación aislados (zapatas), y el objetivo era conocer con la mayor precisión posible las dimensiones en planta y el canto de dichos elementos. Como ejemplo de la prospección, llevada a cabo en cada uno de los pilares existentes, se presentan los perfiles de la Figura 1, que corresponden a la prospección mediante georradar realizados con antenas con frecuencias centrales de 250 y 500 MHz. En ambos casos se puede identificar claramente los contactos laterales de las zapatas con el terreno circundante, apareciendo la zapata como un medio comparativamente mucho más reflectivo y delimitado espacialmente por contactos subverticales. En este sentido, los resultados obtenidos mediante la antena de 250 MHz son mucho más netos, mientras que los obtenidos con la de 500 MHz muestran morfologías más irregulares. Las dimensiones en planta de los elementos aislados eran aproximadamente de 1x1 m.

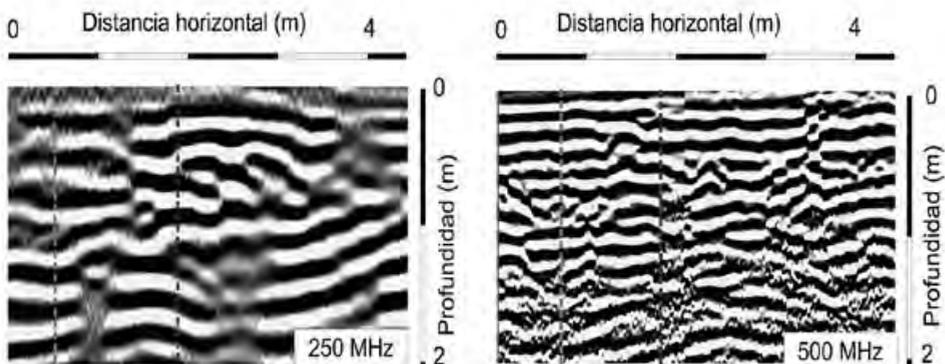


Figura 1. Perfiles de georradar sobre un mismo elemento de cimentación aislado (zapata), realizados con antenas de 250 y 500 MHz.

Las líneas discontinuas indican los límites laterales de una de las zapatas.

Por otra parte, en la búsqueda de la definición geométrica del canto de la zapata, el refinamiento de los registros ha permitido constatar que el contacto inferior del elemento portante se identifica como una reducción de la amplitud neta en el perfil mediante la antena de 250 MHz, mientras que en el otro caso apenas se identifica dicho cambio. Para localizar la base de la zapata (y poder así definir su canto), se ha utilizado la identificación de la morfología esperable para la onda en un medio homogéneo, ya que en la vertical se pasa de un medio relativamente heterogéneo (elemento de hormigón con armadura metálica embebida, materiales que tienen un comportamiento dieléctrico muy diferente entre sí), a un sustrato

de apoyo en general mucho más homogéneo en este sentido. No obstante, se ha podido comprobar que la definición de la base de las zapatas no es tan directa como la determinación de sus dimensiones en planta, lo que implica un tratamiento especial de los resultados brutos de la prospección. El contacto identificado entre la base de la zapata y el terreno de apoyo se localizó a 1 m de profundidad, lo que permitió definir el canto de los elementos de cimentación existentes.

### 3.2 Losa de cimentación

El segundo ejemplo presenta los resultados de la prospección de la cimentación de un edificio de viviendas apoyado sobre una losa armada. Para la prospección se han empleado antenas con frecuencias centrales de 100, 250 y 500 MHz, ya que el objetivo no era sólo la definición de la estructura de cimentación, sino también la observación de posibles heterogeneidades en el sustrato de apoyo de la misma. La prospección llevada a cabo mediante tres antenas con distintas frecuencias centrales ha permitido identificar el mismo elemento pero con diferente grado de profundidad y resolución.

Un ejemplo de los resultados obtenidos en la prospección se muestra en la Figura 2, con diferentes grados de detalle y de procesamiento. Los resultados obtenidos y su tratamiento han permitido comprobar que la losa tenía un canto de aproximadamente 1 m, poseía dos niveles de armado embebidos (detectados por tratarse de anomalías puntuales de alto contraste), y se apoyaba sobre una capa de hormigón de limpieza a modo de homogeneización topográfica. La identificación de todos estos elementos ha resultado difícil con la antena de 100 MHz, mientras que el registro obtenido con la de 250 MHz permite localizar la base de la losa. Por su parte, la antena de 500 MHz, que permite obtener un grado de precisión mucho mayor aunque con un alcance total más limitado que las otras dos, ha suministrado un perfil que permite identificar de forma clara y evidente todos los elementos constructivos citados.

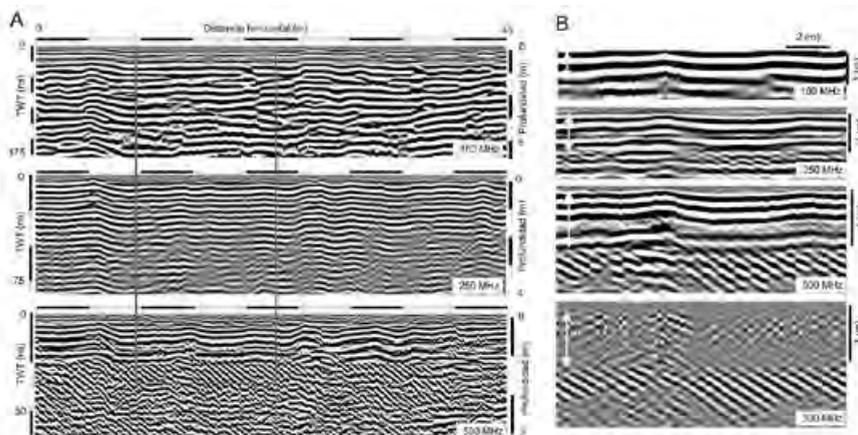


Figura 2. A) Perfiles de georradar realizados sobre una estructura de losa de cimentación con antenas de 100, 250 y 500 MHz. B) Detalles de los perfiles previos, con indicación de la extensión del canto de la losa (en el caso del perfil de 500 MHz, se incluye un segundo procesado con otra metodología de refinamiento de los datos).

A la hora de estudiar las características del terreno situado por debajo de la losa, la potencialidad de las tres antenas se invierte, ya que mientras la de 500 MHz no permite obtener información interpretable por debajo de la base de la losa, el perfil obtenido con la de 100 MHz identifica anomalías o cambios en el subsuelo donde se apoya la cimentación estudiada.

### 3.3 Pilotes

Las condiciones en la prospección de cimentaciones profundas cambian drásticamente respecto de las existentes en el caso de estructuras superficiales. Cuando se prospectan elementos tipo zapata o losa, la emisión y recepción de las ondas se lleva a cabo en la vertical del elemento portante prospectado, ya que éste se extiende en planta más allá del espacio ocupado por los pilares, y la reflexión de las ondas emitidas muestra los cambios en la vertical del punto de estudio. Por el contrario, en el caso de una cimentación sobre pilotes, que en edificación en general se suele tratar de elementos aislados bajo pilares (y no como grupos de pilotes), la prospección mediante georradar debe adaptarse a buscar contrastes entre estructura y terreno no situados en la vertical de los puntos de prospección.

La prospección geofísica por georradar emite en un cono de propagación de ondas en la vertical del punto de muestreo. Esta evaluación geométrica supone que la identificación de la propagación del elemento portante analizado, asumido como relacionado con pilotes que se desarrollan como propagación vertical de los pilares superficiales, va a realizarse a través de la caracterización indirecta lateral de la prospección. En este sentido, los registros mostrarían tanto la presencia de cambios en la vertical de prospección, como también de forma lateral a éste y que se puede producir tanto registros asociados a los cambios en la reflectividad de los materiales localizados en la vertical, como también la propagación lateral del elemento portante, que podrá producir un registro de reflexión múltiple. A partir de todo ello se ha realizado la interpretación de los registros en relación a la presencia de elementos de alto contraste (estructuras verticales de hormigón), a partir de la caracterización lateral e indirecta de los registros obtenidos.

Los datos obtenidos permiten identificar la presencia de un nivel superficial continuo (losa) de un canto ligeramente superior a 1 m, y bajo el mismo se observan los pilotes como continuidad en la vertical de los pilares superficiales identificados; los pilotes se detectan en este caso a partir de la propagación lateral de las ondas emitidas y que definen una extensión de la estructura constructiva del pilar en profundidad (ver ejemplo del tipo de perfiles y su interpretación en la Figura 3). La distribución de los cambios mencionados y de los reflectores identificados permite definir una estructura de cimentación constituida por un sistema losa-pilotes, estando los elementos de cimentación profunda localizados bajo los pilares principales, hasta una profundidad aproximada de 6 m bajo la superficie de la apoyo de la losa.

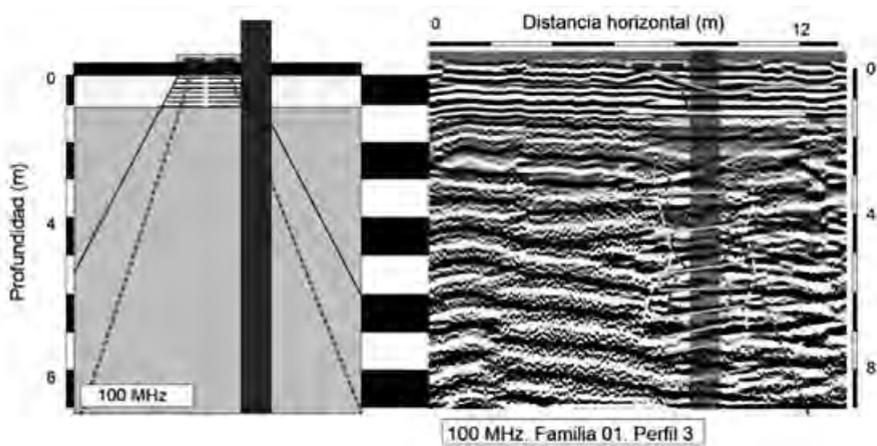


Figura 3. A la izquierda, esquema de la propagación cónica de las ondas emitidas por el georradar.

A la derecha, ejemplo de perfil obtenido en la prospección de pilotes.

#### 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La prospección geofísica mediante georradar se está mostrando como una metodología aplicable a la identificación y definición de las estructuras de cimentación en situaciones en las que, partiendo de una insuficiencia en la información técnica previa, resulta preciso conocer qué tipo de estructuras existen y qué dimensiones presentan. Esta metodología permite ir más allá de las simples y puntuales comprobaciones mediante catas o pozos, y cubrir de una manera rápida y no invasiva grandes superficies de prospección.

A la vista de los resultados presentados y de la información recabada a lo largo de varios años de investigación aplicada, los aspectos clave de la prospección mediante georradar son los siguientes:

- a) Uso combinado de antenas de diferentes frecuencias centrales. Cada frecuencia permite un alcance y una definición distintos. Así, las frecuencias menores (por ejemplo, 100 MHz) permiten alcanzar mayores profundidades pero menor resolución geométrica, mientras que las frecuencias mayores (500 MHz) permiten definir con precisión las dimensiones de los elementos de cimentación superficiales y la existencia de sus armaduras internas, pero sólo hasta profundidades limitadas. El uso de antenas de 100 MHz permite además la inspección del terreno de apoyo de la losa, especialmente útil en el caso del estudio de patologías que puedan tener relación con algún problema del subsuelo.
- b) Importancia de la información geotécnica. La prospección permite recoger perfiles de reflexión de ondas por parte de los elementos del subsuelo, tanto los naturales como los constructivos. Para su interpretación es necesario el tratamiento de los datos recogidos, por lo que el conocimiento de los materiales naturales presentes en el subsuelo (por ejemplo, mediante una adecuada prospección geotécnica) permitirá refinar las conclusiones alcanzables.

- c) La interpretación de los perfiles no siempre da lugar a definiciones precisas de las dimensiones de los elementos de cimentación, ya que depende en gran medida del tipo de material natural que los rodea y de la información disponible. Así, mientras las estructuras de cimentación suelen estar constituidas por hormigón y armaduras metálicas, los materiales del subsuelo poseen un rango variable de valores de la constante dieléctrica. Además, la presencia de contenidos variables de humedad en el subsuelo e incluso de un nivel freático próximo a la superficie interfieren en la propagación de las ondas, todo lo cual es preciso tener en cuenta a la hora de interpretar los perfiles obtenidos y alcanzar el mayor grado de precisión posible.

Los casos seleccionados corresponden a las tres soluciones de cimentación más generales, y en todos ellos se ha conseguido obtener información de interés indudable para las actuaciones proyectadas, normalmente relacionadas con proyectos de rehabilitación en los que era necesario conocer la tipología de las cimentaciones existentes y sus dimensiones. La prospección permite, en primer lugar, conocer la tipología de cimentación empleada en los casos en los que no se posee conocimiento previo.

En el caso de las cimentaciones superficiales tipo zapata, la prospección geofísica permite definir con precisión si se trata de elementos aislados o corridos, así como sus dimensiones en planta. Por su parte, la definición del canto puede ser más o menos compleja, en función del tipo de material donde se apoya, aunque la disponibilidad de información geotécnica permite alcanzar una mayor precisión en su determinación.

En el caso de cimentaciones superficiales mediante losa, esta metodología permite definir el canto de la misma con los mismos condicionantes expresados en el caso de las zapatas. Además, el uso de antenas de frecuencias centrales altas (500 MHz) permite discriminar la presencia y el número de niveles de armadura presentes en el interior de la losa.

Finalmente, para el caso de prospección de cimentaciones tipo pilotes se ha presentado un caso en el que ha sido posible definir la longitud y diámetro de los pilotes situados bajo una losa de hormigón. La propagación de ondas con geometría cónica por debajo del dispositivo emisor permite realizar el estudio mediante una caracterización indirecta lateral. En general, la definición de la longitud de los pilotes perderá precisión conforme aumente su profundidad, pero la prospección permitirá conocer una longitud mínima que en algunos casos será suficiente como comprobación de la cimentación existente.

Esta metodología también se puede emplear como control de calidad en la ejecución de cimentaciones, cuando exista algún tipo de duda o en el marco de una reclamación que involucre a un posible defecto en la ejecución de la obra. Por todo ello, queda demostrado el interés que presenta la prospección geofísica mediante georradar en el ámbito constructivo, y que todavía tiene margen de mejora vía investigación, sobre todo en el caso de la definición de las dimensiones en pilotes.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Abbas, A. M., Kamei, H., Helal, A., Atya, M. A. & Shaaban, F. A. (2005). Contribution of geophysics to outlining the foundation structure of the Islamic Museum, Cairo, Egypt. *Archaeological Prospection*, 12, 167-176.
- [2] Booth, A. D., Clark, R. A., Hamilton, K. & Murray, T. (2010). Multi-offset ground penetrating radar methods to image buried foundations of a medieval town wall, Great Yarmouth, UK. *Archaeological Prospection*, 17, 103-116.
- [3] De Domenico, D., Teramo, A., & Campo, D. (2013). GPR surveys for the characterization of foundation plinths within a seismic vulnerability analysis. *Journal of Geophysics and Engineering*, 10, 034007.
- [4] Pueyo Anchuela, O., López Julián, P., Pérez Benedicto, J.A., Bartolomé, J.I., y Pocoví Juan, A. (2016). Evaluación sobre la caracterización de distintos tipos de cimentaciones superficiales por medio de georradar. *Geogaceta*, 60, 123-126.
- [5] Van Dam, R. L., and Schlager, W. (2000). Identifying causes of ground-penetrating radar reflections using time-domain reflectometry and sedimentological analyses. *Sedimentology*, 47, 435-449.
- [6] Reynolds, J. M. (1997). *An introduction to applied and environmental geophysics*. John Wiley, Chichester, England, 796 p.

## PROPIEDADES DEL HORMIGÓN RECICLADO PARA EL USO COMO SOLERAS DE HORMIGÓN EN PAVIMENTOS INDUSTRIALES

MORALES ARRIBAS, MIGUEL ÁNGEL<sup>1</sup>; PÉREZ BENEDICTO, JOSÉ ÁNGEL<sup>2</sup>;  
DEL RÍO MERINO, MERCEDES<sup>3</sup>; SÁNCHEZ CATALÁN, JUAN CARLOS<sup>4</sup>;  
CASBAS GIMÉNEZ, JESÚS<sup>5</sup>; GIL HERNÁNDEZ, DANIEL<sup>6</sup>

<sup>1</sup> UPM/Doctorando, Madrid, España

E-mail: [m.moralesarribas@hotmail.com](mailto:m.moralesarribas@hotmail.com), Web: [www.edificacion.upm.es](http://www.edificacion.upm.es)

<sup>2</sup> EUPLA\_UNIZAR/Profesor Titular, La Almunia de Doña Godina, España

E-mail: [joanpebe@unizar.es](mailto:joanpebe@unizar.es), Web: [www.eupla.unizar.es](http://www.eupla.unizar.es)

<sup>3</sup> UPM/Catedrática, Madrid, España

E-mail: [mercedes.delrio@upm.es](mailto:mercedes.delrio@upm.es), Web: [www.edificacion.upm.es](http://www.edificacion.upm.es)

<sup>4</sup> EUPLA\_UNIZAR/Profesor Titular, La Almunia de Doña Godina, España

E-mail: [jucasan@unizar.es](mailto:jucasan@unizar.es), Web: [www.eupla.unizar.es](http://www.eupla.unizar.es)

<sup>5</sup> TECNALIA/Director de Proyecto, La Almunia de Doña Godina, España

E-mail: [jesus.casbas@tecnalia.com](mailto:jesus.casbas@tecnalia.com), Web: [www.tecnalia.es](http://www.tecnalia.es)

<sup>6</sup> TECNALIA/Responsable de laboratorio, La Almunia de Doña Godina, España

E-mail: [daniel.gil@tecnalia.com](mailto:daniel.gil@tecnalia.com), Web: [www.tecnalia.es](http://www.tecnalia.es)

**PALABRAS CLAVE:** Pavimentos de hormigón, hormigón reciclado, módulo de deformación.

### RESUMEN

El hormigón elaborado con áridos reciclados procedentes de residuos de hormigón posee un módulo de deformación menor que el hormigón elaborado con áridos de primer uso sin merma en sus características resistentes. Esta propiedad capacita a este material para su empleo en elementos estructurales cuyo estado tensional tenga una mayor importancia que el estado deformacional, como pueden ser las placas para pavimentos industriales. El

presente estudio analiza el estado tensional de distintas placas delgadas apoyadas sobre terreno elástico empleando modelos de elementos finitos para distintos tipos de hormigones reciclados y de primer uso, distintos valores de las cargas y de las condiciones de apoyo del terreno, concluyendo que las tensiones que se obtienen en hormigones reciclados son aproximadamente un 4,5% menores que en hormigones fabricados con áridos de primer uso, en cualquiera de los casos analizados. Con los datos obtenidos para las tensiones, se han elaborado gráficas de dimensionamiento del espesor mínimo necesario en Estado Límite Último de flexión. Estas gráficas muestran menores espesores necesarios en el caso de hormigones reciclados, si bien las reducciones posibles no superan los 0,5 cm para las cargas analizadas. Otro aspecto a tener en cuenta es que, dado que el proceso de agotamiento por fatiga en el hormigón depende fundamentalmente de la máxima tensión alcanzada en el hormigón respecto de su capacidad resistente y no solo de la oscilación de tensiones, el hormigón reciclado permite alargar la vida útil de la estructura.

## 1. INTRODUCCIÓN

La construcción genera una gran cantidad de residuos que es necesario reciclar. Su puesta en valor y la viabilidad de empleo en nuevos materiales con fines estructurales nos ha llevado a estudiar el comportamiento mecánico de un hormigón elaborado con áridos reciclados procedentes de residuos de hormigón con la finalidad de utilización en la construcción de pavimentos de hormigón en naves industriales.

El estudio compara las tensiones de tracción que resultan en la base de soleras sometidas a las cargas aplicadas por distintos tipos de carretillas elevadoras en un rango de 13 kN a 85 kN de carga por rueda, para distintos valores del módulo de reacción del terreno y distintos tipos de hormigón. Se analizan losas de hormigón con resistencia característica  $f_{ck} = 20, 25$  y  $30$  MPa y espesores 15 cm, 20 cm y 25 cm. Para cada uno de los tipos de hormigón se comparan los resultados obtenidos en hormigones de primer uso (HIU) y en hormigones en los que el 100% de la fracción gruesa ha sido sustituida por áridos reciclados procedentes de demolición de hormigón (HR).

El comportamiento mecánico en flexión de una losa continua de hormigón empleada como pavimento rígido, puede ser analizado a través de la teoría de placas delgadas (1) o de modelos numéricos de elementos finitos.

Timoshenko (2) presenta la expresión de Westergaard para la tensión de tracción máxima producida en la cara inferior de una placa elástica “*infinitamente grande*” apoyada sobre un terreno elástico, caracterizado por su módulo de reacción, sometida al efecto de una carga aislada actuando en una superficie circular de radio  $c$ .

El Technical Report 34, 4ª edición (3), nos da unas expresiones con las que obtener las cargas últimas bajo la placa para carga puntual, carga dual y carga cuádruple.

Podemos analizar el efecto de una carga de tráfico puntual en régimen elástico aplicando las expresiones de Westergaard o empleando un modelo de elementos finitos con elementos planos soportados en su cara inferior por un muelle elástico que reproduzca el módulo de reacción del terreno.

En cualquiera de todas las expresiones teóricas anteriormente indicadas interviene el módulo de deformación longitudinal del hormigón  $E_c$ , produciendo mayores valores de las tensiones para valores mayores del módulo de deformación.

El menor módulo de deformación que presentan los hormigones reciclados en los que

se sustituye el 100% de la fracción gruesa (4), confiere un nivel de tensiones en las losas de pavimento fabricadas con este tipo de hormigones, inferior a las diseñadas con los hormigones de primer uso (H.1U.), no viéndose reducido el valor de la resistencia a compresión (5), (6) y (7).

Esta propiedad permite diseñar de manera eficiente los pavimentos rígidos de hormigón alargando su vida útil o reduciendo los costes de ejecución.

## 2. METODOLOGÍA

En el presente estudio se lleva a cabo el cálculo de las tensiones de tracción en la cara inferior de una placa de pavimento rígido de hormigón de grandes dimensiones en planta sometida a cargas de tráfico, para el caso de placas fabricadas con hormigón de primer uso y para el caso de placas de hormigón en el que el 100% de la fracción gruesa se sustituye por áridos reciclados procedentes de residuos de hormigón. Se consideran las cargas interiores, sin tener en cuenta los efectos de borde o esquina.

Se compara el comportamiento de las losas, para distintos valores de las cargas aplicadas, del módulo de reacción del terreno y del hormigón y espesores empleados, utilizando un modelo de elementos finitos. No se han tenido en cuenta efectos térmicos ni de retracción.

### 2.1 Cargas aplicadas

Se han considerado las cargas aplicadas por distintas carretillas elevadoras tipo.

Clase de carretilla	Carga por eje (kN)
FL1	26
FL2	40
FL3	63
FL4	90
FL5	140
FL6	170

Tabla 1. Cargas por eje de distintas carretillas tipo.

De las indicadas en la tabla 1, se han empleado las carretillas FL1, FL4 y FL6, de 26 kN/eje, 90 kN/eje y 170 kN/eje, respectivamente. Se ha considerado la misma separación entre las dos ruedas de un eje, 0,80 m, para tener en cuenta únicamente el efecto de aumento del valor de la carga. De modo que la carga por rueda, se obtiene dividiendo entre dos la carga por eje. La superficie de aplicación de la carga es un cuadrado de lado 0,20 m.

### 2.2 Terreno de apoyo

En todo el análisis se han considerado tres módulos de reacción del terreno:  $k = 30.000$  kN/m<sup>3</sup>,  $k = 60.000$  kN/m<sup>3</sup> y  $k = 90.000$  kN/m<sup>3</sup>. En (8), se relaciona el módulo de reacción con el índice CBR del terreno y el tipo de suelo.

La tabla 2 muestra una correspondencia entre los módulos de reacción considerados para el terreno subyacente, el índice CBR y el tipo de suelo.

k (kN/m <sup>3</sup> )	CBR	Tipo suelo
30.000	3	Arcillas alta compresibilidad
60.000	13	Arenas mal graduadas o con finos
90.000	30	Gravas mal graduadas o con finos

Tabla 2. Tipo de suelo en función del módulo de reacción k.

### 2.3 Hormigón

El análisis emplea tres tipos distintos de hormigón: HM-20, HM-25 y HM-30, caracterizados por su resistencia a compresión simple ( $f_{ck}$ ), resistencia a flexotracción ( $f_{ctm,fl}$ ) y módulo de deformación longitudinal ( $E_c$ ). Se trata de hormigón en masa, no conteniendo fibra ni malla metálica que proporcione ductilidad a la losa después de la primera fisura, por lo que el análisis se realiza en régimen elástico.

Para obtener los valores que caracterizan a los hormigones se utilizan las expresiones contenidas en (9):

$$f_{ctm,fl} = \left[ 1,6 - \left( \frac{h}{1000} \right) \right] \cdot f_{ctm} \geq f_{ctm} \quad (1)$$

$$f_{ctm} = 0,3 \cdot f_{ck}^{2/3} \quad (2)$$

$$E_c = 1,175 \cdot 8500 \cdot \sqrt[3]{f_{cm}} \quad (3)$$

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 \quad (4)$$

En las anteriores expresiones, h representa el espesor de la losa en mm y  $E_c$  el módulo de elasticidad para cargas instantáneas o rápidamente variables.

Teniendo en cuenta lo establecido en las referencias (4) y (5), se toma para los hormigones en los que se sustituye el 100% de la fracción gruesa por árido reciclado procedente de hormigón, un módulo de deformación longitudinal  $E_c$  un 25% menor que en los hormigones de primer uso y se mantiene la resistencia a compresión  $f_{ck}$ .

La tabla 3 resume los hormigones empleados:

	Resistencias		HIU	HR
	$f_{ck}$ (MPa)	$f_{cm}$ (MPa)	$E_c$ (MPa)	$E_c$ (MPa)
HM-20	20	28	30.328	22.746
HM-25	25	33	32.035	24.026
HM-30	30	38	33.578	25.183

Tabla 3. Propiedades de los hormigones empleados.

El coeficiente de Poisson  $\nu$  para todos los hormigones toma el valor 0,2.

## 2.4 Método

Dado que las expresiones de Westergaard presentadas por Timoshenko (2) se refieren a cargas aisladas y el caso de estudio corresponde a carga dual, se utilizan los resultados proporcionados por dichas expresiones para calibrar el modelo de elementos finitos empleado para calcular las tensiones elásticas producidas por cada eje de las carretillas consideradas.

Timoshenko (2) presenta la expresión de la tensión máxima de tracción de Westergaard que se produce bajo el punto de aplicación de una carga aislada actuando uniformemente repartida sobre un círculo de radio  $c$ :

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{3 \cdot P}{h^2} \cdot \frac{1 + \nu}{2 \cdot \pi} \cdot \left( \ln \frac{l}{c} + 0,616 \right) \quad (5)$$

Donde  $P$  es la carga aplicada,  $h$  es el canto de la losa,  $\nu$  es el coeficiente de Poisson del hormigón y  $l$  es el radio de rigidez relativa de la losa, dado por la siguiente expresión:

$$l = \sqrt[4]{\frac{D}{k}} \quad (6)$$

$$D = \frac{E \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \nu^2)} \quad (7)$$

Siendo  $k$  el módulo de reacción del terreno y  $E$  el módulo de deformación longitudinal del hormigón.

Los resultados obtenidos mediante el cálculo analítico para una carga aislada se utilizan para calibrar un modelo de elementos finitos realizado con el programa SAP2000 en el que se analiza una placa cuadrada de 5 m de lado, discretizada con elementos cuadrangulares de 0,10 m de lado, de tipo placa delgada.

Los elementos del modelo están apoyados sobre muelles de constante  $k$ , en  $\text{kN/m}^3$ .

El área donde está aplicada la carga se divide en áreas más pequeñas de manera consecutiva: cuadrados de 10 cm, 5 cm y 2,5 cm de lado, comparando en cada caso los resultados obtenidos del modelo con los resultados analíticos.

Con elementos de 2,5 cm de lado en el área de aplicación de la carga se obtiene una desviación respecto de los resultados teóricos menor del 3%, adoptando esta discretización en el modelo.

Una vez calibrado el modelo se aplican sobre el mismo dos cargas iguales separadas 0,80 m.

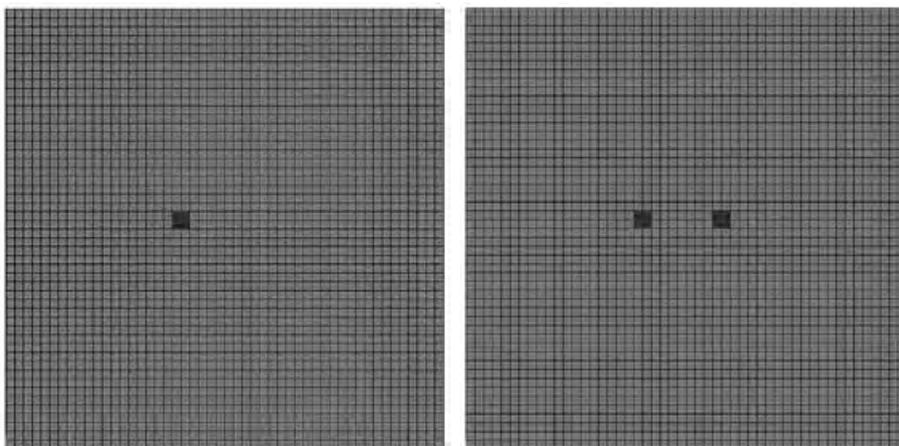


Figura 1. Discretización del modelo empleado en la calibración (izquierda) y en el cálculo (derecha).

Así se obtienen las tensiones de tracción máximas bajo el punto de aplicación de las cargas, para las tres carretillas seleccionadas (FL1, FL4 y FL6), los seis hormigones seleccionados (H1U HM-20, HR HM-20, H1U HM-25, HR HM-25, H1U HM-30 y HR HM-30), los tres módulos de balasto ( $k = 30.000 \text{ kN/m}^3$ ,  $k = 60.000 \text{ kN/m}^3$  y  $k = 90.000 \text{ kN/m}^3$ ) y los tres espesores de losa ( $e = 15 \text{ cm}$ ,  $e = 20 \text{ cm}$  y  $e = 25 \text{ cm}$ ).

Con los datos obtenidos de tensiones se realiza una representación gráfica de las variaciones tensionales de cada caso en función de las distintas variables. Para llevar a cabo dicha representación realiza un ajuste por mínimos cuadrados mediante un polinomio de grado 1 (línea recta).

En dichas gráficas se representan las tensiones mayoradas y las tensiones de tracción admisibles de cada hormigón minoradas, de manera que tengan utilidad para el dimensionamiento en Estado Límite Último de flexión de espesores de cada tipo de hormigón necesario para cada carga aplicada y cada módulo de reacción del terreno.

Se han empleado los coeficientes de mayoración de las cargas y de minoración de la resistencia del hormigón indicados en (3):

Coeficiente de mayoración de cargas dinámicas:  $\gamma_f = 1,6$ .

Coeficiente de minoración de la resistencia del hormigón:  $\gamma_c = 1,5$ .

### 3. RESULTADOS

La representación gráfica de los resultados presenta para cada tipo de hormigón y módulo de reacción del terreno, las tensiones mayoradas de tracción máximas bajo el punto de aplicación de las cargas que se producen en losas de distintos espesores. En las gráficas se representa también la recta de tensión de tracción admisible minorada, cuyo punto de corte con las rectas que representan a cada valor de la carga, indica el espesor necesario para el cumplimiento del Estado Límite Último de flexión. El espesor mínimo representado en cada recta de cada valor de la carga corresponde al espesor necesario para el cumplimiento del ELU de punzonamiento.

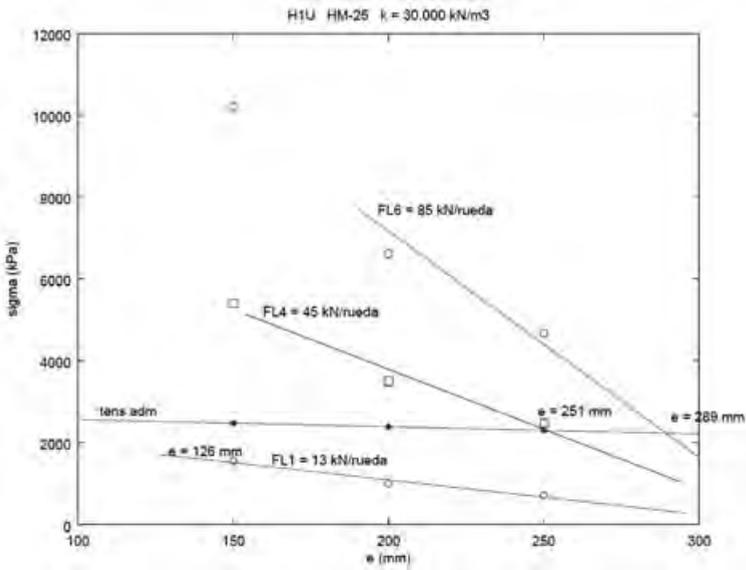


Figura 2. Tensiones H1U HM-25 para  $k = 30.000 \text{ kN/m}^3$

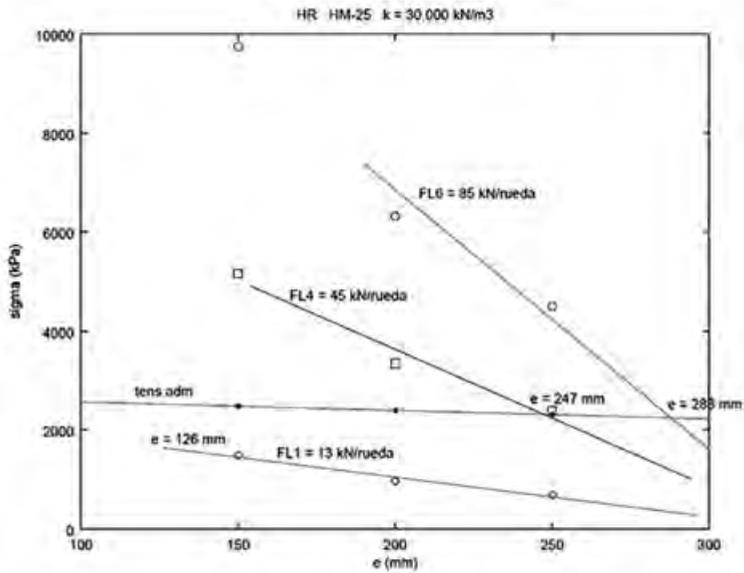


Figura 3. Tensiones HR HM-25 para  $k = 30.000 \text{ kN/m}^3$

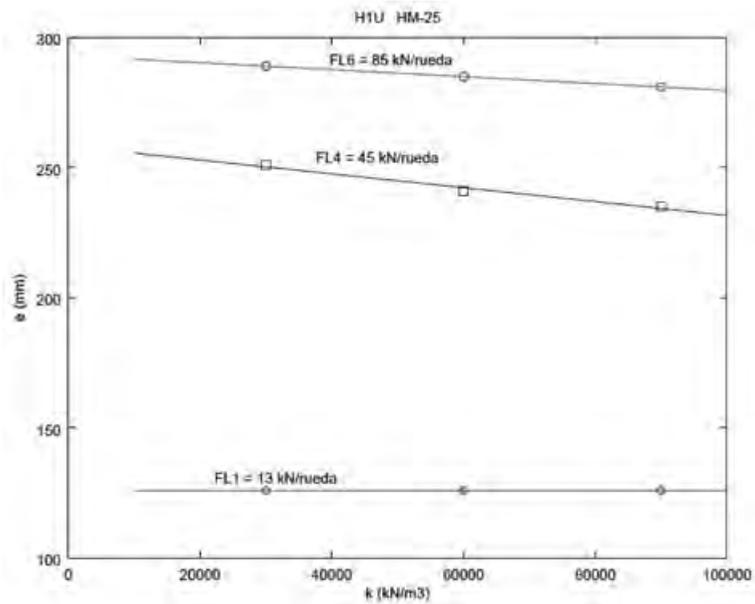


Figura 4. H1U HM-25.Espesores en función del módulo de balasto para distintas cargas

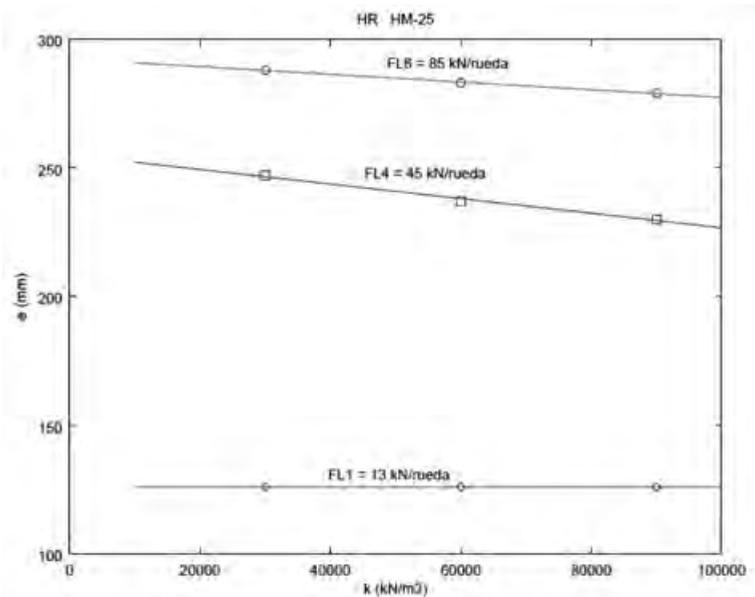


Figura 5. HR HM-25.Espesores en función del módulo de balasto para distintas cargas

También se han representado gráficas que determinan el espesor necesario de hormigón en función del módulo de balasto y de la carga actuante (figuras 5 y 6).

### 3.1 Discusión de resultados

Del análisis realizado se deduce que las tensiones de tracción máximas bajo el punto de aplicación de las cargas que se producen en las losas con hormigón reciclado (HR) son en todos los casos aproximadamente un 4,5% menores que las tensiones que se producen en los hormigones de primer uso (H1U).

Esto permite utilizar menores espesores con hormigón reciclado (HR) si bien la reducción no supera en ningún caso analizado los 0,5 cm.

## 4. CONCLUSIONES

Se ha utilizado un modelo de elementos finitos para analizar las tensiones de tracción máximas producidas en la cara inferior de una losa sometida a carga dual de tráfico de carretillas elevadoras bajo el punto de aplicación de la carga.

Se han analizado 6 tipos de hormigón (H1U HM-20, HR HM-20, H1U HM-25, HR HM-25, H1U HM-30 y HR HM-30), con tres clases de carretilla (FL1, FL4 y FL6), tres módulos de balasto distintos ( $k = 30.000 \text{ kN/m}^3$ ,  $k = 60.000 \text{ kN/m}^3$  y  $k = 90.000 \text{ kN/m}^3$ ) y tres espesores de losa ( $e = 15 \text{ cm}$ ,  $e = 20 \text{ cm}$  y  $e = 25 \text{ cm}$ ).

El empleo de hormigones reciclados produce una reducción en el nivel de tensiones respecto de las tensiones en la placa de hormigón de primer uso, aspecto que permite optimizar el dimensionamiento del espesor, aunque sea ligeramente.

Además, tal como se indica en la referencia (10), el proceso de fatiga que sufre el hormigón, depende del nivel de tensión:

$$\left( \frac{\sigma_{\text{máx}}}{f_c} \right) \quad (8)$$

Siendo  $\sigma_{\text{máx}}$  la tensión máxima a la que se ve sometido el hormigón y  $f_c$  la tensión resistente.

Cuanto menor es la tensión alcanzada respecto de la tensión resistente, mayor es el número de ciclos de carga al que podemos someter a la estructura, de modo que puesto que el hormigón reciclado produce un menor nivel de tensión, consecuencia de su menor módulo de deformación longitudinal  $E_c$ , sin ver reducida su resistencia a compresión, se puede deducir que la placa tendrá una mayor vida útil para uso de cargas repetitivas como son las cargas de tráfico.

En consecuencia, del presente estudio relativo al empleo de materiales procedentes de residuos de hormigón para fabricar nuevos hormigones, basado en estudios anteriores de este tipo de materiales (4), (5), (6) y (7), se deduce la viabilidad de su empleo en pavimentos de naves industriales.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la colaboración a las empresas Acciona Construcción, S.A., Tecnalia y Cemex, que están participando activamente en una prueba industrial que se pretende llevar a cabo para corroborar en la práctica estos estudios acerca del hormigón reciclado.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Westergaard, H.M. (1926, abril). Stresses in concrete pavements computed by theoretical analysis. *Public Roads*, 7(2), 25-35.
- [2] Timoshenko, S., & Woinowsky-Krieger, S. (1970). *Teoría de placas y láminas*. Bilbao: Ediciones Urmo.
- [3] Concrete Society. (2013). *Concrete industrial ground floors: a guide to design and construction*. (4th ed.). UK: The Concrete Society.
- [4] Pérez Benedicto, J. A. (2011). *Estudio experimental sobre propiedades mecánicas del hormigón reciclado con áridos procedentes de la no calidad en prefabricación (Tesis Doctoral)*. Universidad Politécnica de Madrid, pp. 206-211
- [5] Pérez Benedicto, J. A., del Río-Merino, M., Peralta Canudo, J. L., & de la Rosa-La Mata, M. (2012, marzo). Características mecánicas de hormigones con áridos reciclados procedentes de los rechazos en prefabricación. *Materiales de Construcción*, 62(305), 25-37.
- [6] Salesa, A., Pérez Benedicto, J. A., Colorado-Aranguren, D., López Julián, P. L., Sanz- Baldúz, L. J., Sáez-Hostaled, J. L., Olivares, D. (2017). Physico mechanical properties of multi recycled concrete from precast concrete industry. *Journal of Cleaner Production*, 141, 248-255.
- [7] Salesa, A., Pérez Benedicto, J. A., Esteban, L. E., Vicente Vas, R., & Orna Carmona, M. (2017). Physico mechanical properties of multi recycled self compacting concrete prepared with pre-cast concrete rejects. *Construction and Building Materials*, 153, 364-373..
- [8] Doc 9157-AN/901. *Manual de diseño de aeródromos. Parte 3. (s. f.) (2a Edición)*. Montreal: Organización de Aviación Civil Internacional.
- [9] *Instrucción del Hormigón Estructural. EHE-08. 2006*. España. Ministerio de Fomento.
- [10] Zanuy, C., Albajar, L., de la Fuente, P. (2011, julio-septiembre). El proceso de fatiga del hormigón y su influencia estructural. *Materiales de construcción*, 61(303), 385-399.

## **PRODUCCIÓN CIENTÍFICA Y TÉCNICA DE LOS APAREJADORES<sup>1</sup> Y SU DIFUSIÓN. CREACIÓN DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL RIARTE**

DURÁN ÁLVAREZ, JOAQUÍN MANUEL<sup>1</sup>; LÓPEZ-ASIAÍN MARTÍNEZ, JUAN<sup>2</sup>

*<sup>1</sup>ETSIE. Universidad de Granada, Granada, España*

*E-mail: [jdaeuat@ugr.es](mailto:jdaeuat@ugr.es), Web: <https://jdafbdblog.wordpress.com/>*

*<sup>2</sup>E.T.S. Edificación. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España*

*E-mail: [juan.lopezasiain@upm.es](mailto:juan.lopezasiain@upm.es), Web: <http://www.arquitectura-tecnica.com/>*

**PALABRAS CLAVE:** Producción científica. Bibliometría, Arquitectura Técnica, RIARTE, Tesis doctorales.

### **RESUMEN**

En el área de la arquitectura-ingeniería, se ha penalizado el retraso existente en la formación documental en producción y difusión de documentos científicos (tesis doctorales, artículos, ponencias), junto a la poca tradición en publicación, con una alta obsolescencia en la producción científico-técnica realizada.

Pero todo ello ha cambiado. El número de tesis ha crecido exponencialmente desde el año 2001, así como la producción científica realizada por los AT indizada en las bases internacionales WOS Y SCOPUS.

En el nuevo modelo de producción y difusión científica, los repositorios cobran un especial protagonismo, convirtiéndose en herramientas de primer orden para la revisión, difusión y puesta en valor de documentos científico-técnicos.

Por ello, se ha planteado con la colaboración del CGATE la creación de un repositorio científico, RIARTE, con filosofía Open Access e implementación en grandes redes de repositorios como HISPANA y EUROPEANA. Este modelo de gestión permite una triple faceta. Canalizar la producción de los AT, recuperar documentos de interés que se han perdido y

transmitir a la sociedad los conocimientos aportados por nuestra profesión.

Este trabajo, expone el inicio y desarrollo de este repositorio institucional, en donde se registrarán los documentos técnicos científicos con autoría o coautoría de AT. Además, se ha realizado un análisis de los descriptores registrados como metadatos de las tesis doctorales y su relación con la profesión.

En su estadio inicial se están registrando las tesis doctorales, para ampliar en futuros plazos con ponencias, artículos, patentes e informes con información novedosa y calidad contrastada, para el uso y visualización por parte de la sociedad.

## 1. INTRODUCCIÓN

La Ley de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación [6], en su preámbulo, dice: “la generación de conocimiento en todos los ámbitos, su difusión y su aplicación para la obtención de un beneficio social y económico, son actividades esenciales de la sociedad española...”

En esa definición se alude a algo que va implícito con el conocimiento, su difusión y aplicación para obtener un beneficio social. Pero esta generación de conocimiento no es teórica. La plasmación de las investigaciones se refleja en documentos de diferente génesis, desarrollo y registro en distintas bases de datos, según su tipología.

Uno de los medios para su registro y análisis son los repositorios institucionales. Como dice la definición de Clifford Lynch [10] un repositorio institucional, es un conjunto de servicios ofrecidos a la comunidad científica para la gestión y disseminación de los materiales en forma digital generados por su comunidad. Esto significa un compromiso de la institución, no sólo para facilitar el alojamiento de estos materiales, sino que se compromete a garantizar su preservación, el acceso a los mismos y su distribución.

Dentro de los repositorios se puede albergar todo tipo de materiales, conllevando una revisión o verificación de los metadatos, pero no una certificación, entendida desde el punto de vista de la calidad de contenidos [11]. En el amplio abanico de los repositorios institucionales, los dependientes de las Universidades han experimentado un gran auge como elemento fundamental en la difusión de la información en fechas recientes. Entre los múltiples existentes, señalamos DIGIBUG [21], RUA [16], RIUBU [17], RUIDERA [18], DUGI-DOCS [20], RUC [15], DEHESA [19], UPCOMMONS [23], ADUPM [24], RIUNET [25] o IDUS [22].

Además, se identifican con el movimiento de acceso abierto (Open Access) para la difusión libre y gratuita de la producción científica. La filosofía Open Access imbrica la filosofía de un repositorio.

Tal y como se dice en el informe “Directrices de desarrollo y promoción del Acceso Abierto” [14] se resumen estos aspectos del acceso abierto:

i.- La Web ofrece nuevas oportunidades de construir un sistema óptimo para una ciencia comunicativa, una base de datos científicos de investigación totalmente vinculada, totalmente interoperable, explotable y accesible para todos.

ii.- Los científicos están utilizando esas oportunidades para desarrollar rutas de Acceso Abierto para la literatura formal y tipos informales de comunicación.

iii.- En el creciente cúmulo de información de Acceso Abierto, la preservación a largo plazo es un aspecto clave.

iv.- Los nuevos servicios que prevean las necesidades de los científicos y los gerentes de la investigación son esenciales para la aceptación y uso de la literatura en Acceso Abierto.

Respecto al tipo de documentos a incluir, y dentro de la clasificación de repositorios hay múltiples formatos. Dentro de los distintos documentos, las tesis doctorales son un medio enormemente provechoso ya que éstas constituyen uno de los mejores espejos en donde se reflejan las líneas, tendencias y potencialidades de la investigación de las Universidades. Asimismo, es un medio idóneo para conocer la estructura social de la investigación permitiendo analizar no sólo la evolución científica de un área concreta de estudio, sino también identificar cuáles son sus principales protagonistas y cómo se relacionan entre sí [13].

Por ello, la visualización de las tesis doctorales, como documento primario es una rica fuente de información sobre un área de investigación abordada [1].

Además, desde la perspectiva de la investigación, las tesis son un buen método para conocer tanto los focos de generación de investigación como las escuelas científicas en que se concretan [8].

Los trabajos analizando tesis doctorales son múltiples. Por ejemplo, en Biblioteconomía y Documentación el trabajo sobre dichas tesis en el periodo 1976-2003 y una propuesta de criterios de evaluación [9] o, en el mismo área un análisis de redes sociales [3], Análisis cuantitativo de las tesis doctorales en Didáctica de las Ciencias Sociales (1976-2012) [2], un estudio sobre las tendencias de uso de la información por parte de las tesis en Odontología (1965-2002) [1], o análisis cuantitativo y cualitativo en tesis doctorales del área de Marketing (1980-2005) [12].

## 2. METODOLOGÍA

La creación de repositorios especializados, contribuye a la difusión y conservación del patrimonio documental existente, además de añadir valor esencial en cuanto a los metadatos correspondientes. Una buena información añadida al documento facilita su recuperación, investigación y puesta en valor del mismo.

Por ello, se ha planteado hacer un repositorio para la producción científico-técnica de los AT por parte del CGATE. Su razón de ser es múltiple:

- Comunicación y visualización de trabajos.
- Digitalización y conservación de materiales dispersos.
- Organización de las colecciones.
- Conservación de los materiales a largo plazo.
- Puesta en valor e interés por la formación documental.
- Conservación de colecciones digitalizadas.
- Selección y evaluación de la producción técnico-científica.
- Estudios, análisis e investigación sobre la producción técnico-científica.
- Detección de evolución, tipología de documentos y áreas de interés.
- Investigación sobre los datos obtenidos.
- Aumento del prestigio del colectivo y su papel en la sociedad.
- Identificación de autores con más producción o con más impacto para el colectivo.
- Difusión del criterio Open Access.



Figura 1. Logotipo del repositorio RIARTE.

- Ranking de documentos y autores tanto de indicadores de impacto de bases bibliográficas, como indicadores de uso (visualización, descarga de documentos) del propio repositorio.

Para la búsqueda de documentos se ha partido de la siguiente metodología:

- Población de estudio: AT con tesis doctoral.
- Unidad de análisis: Tesis doctorales.
- Periodo de estudio: Se realiza una investigación con marco temporal longitudinal. Desde la primera que se recopile (la carrera se instaura en el año 1970), hasta el año 2017.
- Fuentes de información: Repositorios Universitarios, Bases de datos TESEO, TDR, DIALNET, REBIUN. Escuelas universitarias, Colegios profesionales y autores.

Para la realización del repositorio, se han planteado las siguientes fases:

#### a) PLANIFICACIÓN Y ESTRUCTURA

Identificación de agentes. Creación grupos de trabajo. Planificación plazos. Planificación costos. Planificación de coordinación y flujo información

#### b) DEFINICIÓN DEL PRODUCTO

Tipología de documentos. Metadatos a incluir. Tesauro. Codificación descriptores. Definición usuarios. Definición repositorio. Definición de permisos y accesos. Tipo de software. Tipo de Hardware. Herramientas a implementar. Nombre y logo

#### c) DESARROLLO DE IDEA

Recopilación y adaptación software. Implementación de sistema informático. Implementación tesauro. Herramienta de búsquedas. Herramienta medición usabilidad e impacto. Elaboración interface. Control de plazos y costos. Inserción de datos. Usuarios de estudio y prueba piloto.

#### d) PUESTA EN MARCHA

Conexión a la Web. Visibilidad e integración en redes sociales. Tramitación y enlace con redes de repositorios.

Los programas y herramientas que se están usando son:

- Para la recopilación de datos iniciales: ACCESS, Refworks y Endnote.
- Para la creación del repositorio: Programa DSPACE con los programas auxiliares necesarios (Oracle Java, Apache Maven, PostgreSQL, Oracle 10).
- Inserción en redes; HISPANA y EUROPEANA.

Se ha realizado una toma de datos inicial realizada sobre la totalidad de la producción científica de los AT, iniciada por uno de los autores con la tesis doctoral [5], con el observatorio de Producción Científica de los AT [4] y con el trabajo de revisión de datos realizados hasta la actualidad por los dos autores.

Los metadatos, como parte esencial en la descripción y recuperación de los documentos, se han redefinido en su totalidad, dado que en las referencias bibliográficas vienen muy escasos y con poca concreción. Para ello se ha planteado tres vías dada la diversidad de tipología en los repositorios:

- I. Codificación Decimal Universal (CDU).
- II. SKOS. Nomenclatura de Ciencia y Tecnología de la UNESCO.
- III. Tesauro técnico con descriptores libres creado por los autores.

Esto permite recuperar los metadatos de los repositorios universitarios y las bases de datos, así como un filtro, revisión y mejora de los existentes. Además, el uso de CDU y SKOS permite la traducción simultánea a múltiples idiomas cuando se plantee una versión a inglés o cualquier otro, con una aceptación internacional en las redes de repositorios.

### 3. RESULTADOS

Se han identificado 248 tesis doctorales, desde el año 1978 hasta el 2017. De ellas 226 (91%) de AT docentes universitarios y 22 (9%) de no docentes.

Los descriptores han arrojado los siguientes resultados:

#### 1.- CDU.

Los descriptores de la clasificación creados de las tesis doctorales de los AT tienen metadatos de los 10 campos principales, lo que indica la diversidad de temas tratados por estas tesis. Los subcampos, grupos y subgrupos relacionados han sido 281. El total de metadatos registrados creados ha sido de 1.042 en todas ellas.

0. Generalidades. Ciencia y conocimiento. Organización. Información. Documentación. Enciclopedias. Biblioteconomía. Instituciones. Documentos y publicaciones.
1. Filosofía. Psicología.
2. Religión. Teología.
3. Ciencias sociales. Estadística. Política. Economía. Comercio. Derecho. Gobierno. Asuntos militares. Bienestar social. Seguros. Educación. Folclore.
4. Lingüística.
5. Matemáticas. Ciencias Naturales (incluye auxiliares especiales y división principal)
- 6 Ciencias aplicadas. Medicina. Tecnología.
7. Bellas artes. Juegos. Espectáculos. Deportes.
8. Lenguaje.
9. Geografía. Biografías. Historia.

#### 2.- Descriptores libres

Se han establecido un tesauro, extrayendo descriptores de los títulos, resúmenes y documentos, especificando términos de tipo técnico que precisan y determinan un lenguaje documental técnico especializado en ingeniería y arquitectura. En total se han creado 1.010 descriptores libres. El total de metadatos registrados han sido de 1.386 en todas ellas.

#### 3.- SKOS.

De los descriptores analizados, tenemos registros en 21 campos, 99 Disciplinas, y 277 Subdisciplinas, con un total de 1.827 descriptores registrados.

Se ha realizado un análisis detallado con esta tipología de descriptores, ya que es la más establecida por los repositorios y bases de datos y presenta una amplitud de especificaciones.

Los campos principales han sido: 11 Lógica, 12 Matemáticas, 22 Física, 23 Química, 24 Ciencias de la Vida, 25 Ciencias de la Tierra, 31 Ciencias Agrarias, 32 Medicina, 33 Cien-

cias tecnológicas, 51 Antropología, 52 Demografía, 53 Ciencias Económicas, 54 Geografía, 55 Historia, 56 Ciencias Jurídicas y Derecho, 57 Lingüística, 58 Pedagogía, 59 Ciencia Política, 61 Psicología, 62 Ciencias de las artes y las letras, 63 Sociología.

Con la siguiente distribución según número de descriptores:



Figura 2. Número de descriptores SKOS en Tesis Doctorales de AT, agrupados por campos. Elaboración propia.

Si se analizan por porcentajes, la gráfica es la siguiente:

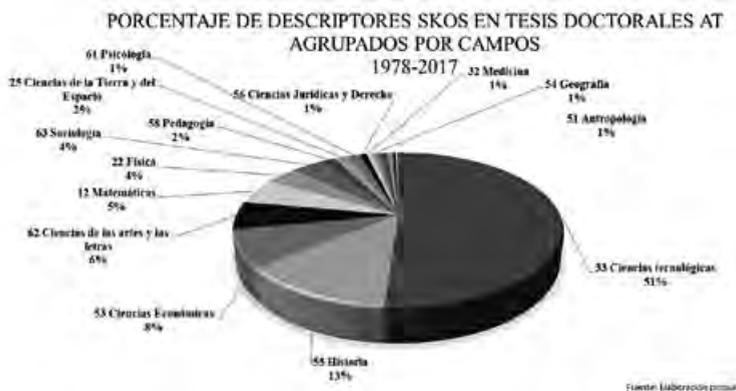


Figura 3. Porcentaje de descriptores SKOS en Tesis Doctorales AT agrupadas por campos. Elaboración propia.

¿Qué indica la distribución? Que hay una gran diversidad de campos en donde han investigado los AT en sus tesis doctorales teniendo como principales:

- Ciencias Tecnológicas: 51 %
- Historia: 13 %
- Ciencias Económicas: 8 %
- Ciencias de la Artes y las letras: 6 %

Y pormenorizando en Ciencias Tecnológicas como campo principal, nos salen las siguientes disciplinas:

Los resultados hallados indican varias informaciones:



Figura 4. Porcentaje de Descriptores por disciplinas en Tesis Doctorales AT agrupadas en el campo Ciencias Tecnológicas-SKOS. Elaboración propia.

En el caso de los campos generales y dada la identificación de la carrera de AT, es lógico que el campo “Ciencias Tecnológicas” sea el de mayor porcentaje, con un 51 %, dada la identidad holística entre Ingeniería y Arquitectura de la profesión.

El campo “Historia” denota la cantidad de tesis realizadas sobre estudios históricos de métodos constructivos, urbanismo, desarrollo urbano y rural, edificios singulares o, incluso biografías de personajes importantes en el ámbito de la Arquitectura.

Ciencias económicas va conectado con la especialización de los AT como expertos en Gestión económica en todo el ciclo de vida del proceso constructivo.

Y Ciencias de las Artes y las Letras, con la Disciplina Arquitectura, que en este Tesoro va dentro de él. Muchas de las tesis están relacionadas con ese mundo.

Detallando el Campo Ciencias Tecnológicas, las Disciplinas Tecnología de la Construcción y Tecnología de los Materiales, Tecnología e Ingeniería Mecánicas, Planificación urbana e Ingeniería y Tecnología del Medio Ambiente son las de mayor incidencia.

Como tema principal está la investigación sobre materiales y los sistemas constructivos, dada la especificidad del AT en la investigación sobre materiales, patologías, conservación e innovación con nuevos productos, con el desarrollo parejo de los elementos complejos constructivos.

Planificación Urbana entra dentro de la tipología de tesis doctorales con estudios sobre urbanismo, relaciones entre grupos sociales y éste y el desarrollo histórico. Ingeniería y Tecnología del Medio Ambiente es una disciplina emergente con mucha incidencia en las nuevas tesis, enfocadas hacia el reciclaje, el aprovechamiento energético, energías renovables y, en general, sistemas de optimización de la envolvente y de las instalaciones de los edificios.

#### 4. CONCLUSIONES

- El desarrollo de repositorios institucionales especializados fomenta la recuperación y visualización de documentos de investigación.
- Las tesis doctorales son una fuente importante de información respecto a la producción científica de un área.
- Los descriptores son metadatos muy importantes para el análisis de la producción científica y deben ser optimizados y adecuados al área de conocimiento de donde se generan los documentos, por personal especializado en ésta.
- Las tesis doctorales de los AT son un indicador muy importante del aumento de investigadores, áreas de investigación y evolución de las mismas.
- En el análisis de las tesis doctorales de AT, y dentro de los metadatos de descriptores, tanto en CDU como en SKOS, se verifica la gran variedad de los descriptores que se han registrado, mostrando la transversalidad de los conocimientos y capacidades de los AT.
- Dentro de los descriptores SKOS, los campos Ciencias Tecnológicas e Historia son los más importantes y en Disciplinas los relacionados con Materiales, Sistemas Constructivos, Gestión económica, Urbanismo y Medio Ambiente.

#### 5. FUTURAS LÍNEAS

El trabajo a seguir desarrollando es la puesta en funcionamiento del Repositorio, la digitalización de Congresos especializados y Revistas Colegiales, la implementación de producción científica (artículos, ponencias, patentes) e informes técnicos. Además, se sigue recogiendo datos acumulados para actualización de la información.

#### 6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Camps, D., Recuero, Y., Samar, M., & Ávila, R. (2005). Análisis bibliométrico de tesis de doctorado del área de ciencias de la salud: primera parte, odontología. *Revista de la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad Nacional de Córdoba*, 62(3), 53-56.
- [2] Curiel-Marín, E., & Fernández-Cano, A. (2015). Análisis Cienciométrico de Tesis Doctorales Españolas en Didáctica de las Ciencias Sociales (1976-2012). *Revista española de Documentación Científica*, 38(4).
- [3] Delgado López-Cózar, E., Torres-Salinas, D., Jiménez-Contreras, E., & Ruiz-Pérez, R. (2006). Análisis bibliométrico y de redes sociales aplicado a las tesis bibliométricas defendidas en España (1976-2002). *Revista española de Documentación Científica*, 29(4), 493-524.
- [4] Durán Álvarez, J. (2016). *Portal de Producción Técnico-Científica de los Arquitectos Técnicos de España*. Obtenido de <http://jdaifbd.wixsite.com/pcientificjda>
- [5] Durán Álvarez, J. (2016). Producción científica de los docentes Arquitectos Técnicos en España. *Tesis Doctoral*. Universidad de Granada. Granada.
- [6] ESPAÑA. Jefatura del Estado. (2011). Ley 14/2011, de 1 de junio, de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación. *Boletín Oficial del Estado*, núm. 131, de 2 de junio de 2011, pp. 54387 a 54455.
- [7] Federación Internacional de Asociaciones de Bibliotecarios y Bibliotecas. Consejo Internacional de Archivos. Unesco. (2005). *Directrices para proyectos de digitalización de colecciones y fondos de dominio público, en particular para aquellos custodiados en bibliotecas y archivos: marzo de 2002 / grupo de expertos de IFLA e ICA ; traducidas por el Grupo de Trabajo de Coleccio*. Madrid: Ministerio de Cultura, Secretaría General Técnica.

- [8] López Yepes, J. (2002). Focos de investigación y escuelas científicas en Documentación a través de la realización y dirección de tesis doctorales. El caso del Departamento de Biblioteconomía y Documentación de la Universidad Complutense de Madrid (1983-2001). *Documentación de las Ciencias de la Información*, 25, 19-54.
- [9] López Yepes, J., Fernández Bajón, M., & Prat Sedeño, M. (2005). Las tesis doctorales en Biblioteconomía y Documentación. Diagnóstico y propuesta de criterios de evaluación. *Documentación de las Ciencias de la Información*(28), 173-187.
- [10] Lynch, C. (2003). Institutional repositories: essential infrastructure for scholarship in the digital. *ARL*(226), 1-7.
- [11] Melero, R. (2008). El paisaje de los repositorios institucionales open access en España. *BiD. Textos Universitarios de Biblioteconomía y Documentación*(20).
- [12] Ortega Martínez, E. (2010). La investigación en marketing a través de las tesis doctorales españolas. *Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de la Empresa*, 16(1).
- [13] Repiso, R., Torres, D., & Delgado, E. (2011). Análisis bibliométrico y de redes sociales en tesis doctorales españolas sobre televisión (1976/2007). *Comunicar. Revista científica de Comunicación y Educación*, XIX(37), 151-159.
- [14] UNESCO. (2013). *Directrices para Políticas de desarrollo y promoción del acceso abierto*. París: Organización de las Naciones Unidas para Educación, Ciencia y Cultura. Obtenido de <https://www.ifla.org/files/assets/preservation.../digitization-projects-guidelines-es.pdf>
- [15] Universidad de A Coruña. (2013). *RUC. Repositorio Universidade Coruña*. Obtenido de <https://ruc.udc.es/dspace/>
- [16] Universidad de Alicante. (s.f.). *RUA. Repositorio Institucional de la Universidad de Alicante*. Obtenido de <https://rua.ua.es/dspace/>
- [17] Universidad de Burgos. (2008). *Repositorio institucional RIUBU*. Obtenido de <http://riubu.ubu.es/>
- [18] Universidad de Castilla La Mancha. (s.f.). *RUIDERA. Repositorio Universitario Institucional de Recursos Abiertos*. Obtenido de <https://ruidera.uclm.es/>
- [19] Universidad de Extremadura. (2017). *Dehesa: el Repositorio Institucional de la Universidad de Extremadura*. Obtenido de <http://biblioguias.unex.es/dehesa>
- [20] Universidad de Girona. (s.f.). *DUGIDocs*. Obtenido de <https://dugi-doc.udg.edu/?locale-attribute=es>
- [21] Universidad de Granada. (2008). *DIGIBUG: Repositorio Institucional de la Universidad de Granada*. Obtenido de <http://digibug.ugr.es/>
- [22] Universidad de Sevilla. (2018). *idUS. Depósito de Investigación Universidad de Sevilla*. Obtenido de <https://idus.us.es/xmlui/>
- [23] Universidad Politécnica de Catalunya. (s.f.). *UPCommons Portal de acceso abierto al conocimiento de la UPC*. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/>
- [24] Universidad Politécnica de Madrid. (s.f.). *Archivo Digital UPM*. Obtenido de <http://oa.upm.es/>
- [25] Universidad Politécnica de Valencia. (s.f.). *Riunet. Repositorio Institucional UPV*. Obtenido de <https://riunet.upv.es/>

## NOMENCLATURA

AT.- Arquitectos Técnicos, Aparejadores, Grado en Ingeniería de Edificación, Tecnología de la Edificación, Grado en Arquitectura Técnica, etc.

CDU.- Clasificación Decimal Universal.

CGATE.- Consejo General de la Arquitectura Técnica de España.

SKOS.- Simple Knowledge Organization System.

RIARTE.- Repositorio Institucional de la Arquitectura Técnica de España.

WOS.- Web Of Science.

## SINGULARIDADES EN EL DISEÑO DE SOLUCIONES DE PROTECCIÓN FRENTE A GAS RADÓN

FRUTOS, BORJA<sup>1</sup>; MUÑOZ, EDUARDO<sup>2</sup>; OLAYA, MANUEL<sup>3</sup>;  
ALONSO RUIZ-RIVAS, CARMEN<sup>4</sup>;  
MARTÍN-CONSUEGRA ÁVILA, FERNANDO<sup>5</sup>

<sup>1</sup> *Departamento de Construcción. Instituto de ciencias de la Construcción  
Eduardo Torroja – (CSIC), Madrid, España*  
E-mail: [borjafv@ietcc.csic.es](mailto:borjafv@ietcc.csic.es), Web: [www.ietcc.csic.es](http://www.ietcc.csic.es)

<sup>2</sup> *Departamento de Construcción. Instituto de ciencias de la Construcción Eduardo Torroja – (CSIC)  
y Departamento de Construcción y Tecnologías Arquitectónicas  
Universidad Politécnica de Madrid (UPM-ETSAM), Madrid, España*  
E-mail: [emunozlorenzo@ietcc.csic.es](mailto:emunozlorenzo@ietcc.csic.es), Web: [www.ietcc.csic.es](http://www.ietcc.csic.es)

<sup>3</sup> *Departamento de Construcción. Instituto de ciencias de la Construcción  
Eduardo Torroja – (CSIC), Madrid, España*  
E-mail: [olaya@ietcc.csic.es](mailto:olaya@ietcc.csic.es), Web: [www.ietcc.csic.es](http://www.ietcc.csic.es)

<sup>4</sup> *Departamento de Construcción. Instituto de ciencias de la Construcción  
Eduardo Torroja – (CSIC), Madrid, España*  
E-mail: [c.alonso@ietcc.csic.es](mailto:c.alonso@ietcc.csic.es), Web: [www.ietcc.csic.es](http://www.ietcc.csic.es)

<sup>5</sup> *Departamento de Construcción. Instituto de ciencias de la Construcción  
Eduardo Torroja – (CSIC), Madrid, España*  
E-mail: [martin-consuegra@ietcc.csic.es](mailto:martin-consuegra@ietcc.csic.es), Web: [www.ietcc.csic.es](http://www.ietcc.csic.es)

**PALABRAS CLAVE:** radón, protección, salud, mitigación, soluciones.

### RESUMEN

El isótopo del radón Rn-222, aparece en la naturaleza como producto de la desintegración natural del radio-226, común en la corteza terrestre. El potencial de exhalación de un

terreno viene definido, por un lado, por el contenido de radio del sustrato (por ejemplo los graníticos), y por otro, por la permeabilidad del mismo que permite la movilidad a través de los poros (fracturados).

El radón, como elemento gaseoso, posee una alta movilidad y puede penetrar en los edificios a través de fisuras o grietas, por advección, o por difusión a través de la propia permeabilidad de los materiales de la envolvente que estén en contacto con el terreno. La acumulación de este gas en los recintos cerrados puede elevar las concentraciones y constituir un riesgo para la salud de las personas que lo inhalen. La OMS advierte de sus efectos, situándolo como agente cancerígeno de grado uno, siendo la segunda causa de contracción de cáncer de pulmón (la primera sería el tabaco).

En el año 2013, la Comisión Europea dictó una directiva en la que obligaba a los estados miembros a incorporar un plan de actuación frente a radón en sus legislaciones nacionales. Uno de los aspectos que deben contemplarse es el de la protección de los edificios frente a la inmisión de este gas. Las estrategias de actuación habituales responden a operaciones constructivas que deben ser cuidadosamente estudiadas para asegurar la efectividad requerida según el tipo de edificio y el terreno de asiento.

En esta comunicación se ofrecen pautas de diseño, y las particularidades asociadas a las estrategias de actuación, basándose en los estudios llevados a cabo a través de proyectos de investigación.

## 1. INTRODUCCIÓN

El radón, como gas noble, se presenta en la naturaleza en tres isótopos, el  $^{220}\text{Rn}$ ,  $^{219}\text{Rn}$ ,  $^{222}\text{Rn}$ , siendo este último el de mayor significación radiológica y al que nos referiremos, de ahora en adelante, como radón. Este gas inerte de origen natural, derivado de la desintegración del radio ( $^{226}\text{Ra}$ ) presente en los suelos terrestres, es capaz de viajar entre los poros del terreno hasta alcanzar la superficie, donde podrá diluirse entre los gases de la atmósfera, o penetrar en el interior de los edificios si éstos no se encuentran debidamente protegidos. Al penetrar en un espacio cerrado, el radón se acumula aumentando su concentración. La inhalación de este gas puede llegar a generar cáncer pulmonar debido a que la radiación que se produce de la desintegración del mismo y de sus descendientes de vida corta ( $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$  y  $^{214}\text{Po}$ ) en el interior de nuestro organismo, es capaz de alterar el ADN de los tejidos pulmonares. La Organización Mundial de la Salud califica al radón como agente cancerígeno de grado 1. Según este Organismo, el radón es la segunda causa de contracción de cáncer pulmonar detrás del tabaco [1].

En base a la percepción del riesgo derivada de estudios médicos epidemiológicos, algunos países han establecido unos niveles de concentración de radón de referencia, por encima de los cuales se recomienda, o se obliga, según el caso, a una intervención arquitectónica para reducir dichos niveles. Esta concentración, expresada en Bequerelios (número de desintegraciones subatómicas por segundo) por metro cúbico de aire, ya aparecía en una Recomendación Europea del 21 de Febrero de 1990 (90/143/EURATOM) [2], con valores  $400 \text{ Bq/m}^3$  para viviendas existentes y  $200 \text{ Bq/m}^3$  para viviendas de nueva construcción (valor de diseño).

Actualmente existe una nueva Directiva Europea, de obligado cumplimiento y transposición directa a los estados miembros, en la que se contemplan valores actualizados (DIRECTIVA 2013/59/) [3], situando el máximo en  $300 \text{ Bq/m}^3$ .

El Consejo de Seguridad Nuclear ha publicado recientemente unos mapas actualizados del potencial de riesgo por comunidades y municipios, donde dibuja el territorio nacional en función del riesgo potencial de encontrar radón en las viviendas sobre él situadas [4]. La división la establece en varios niveles según la concentración estimada. La figura 1 da una imagen de que zonas son las de actuación prioritaria para ser incorporadas dentro del marco regulador, con una referencia de 300 Bq/m<sup>3</sup>.

Sobrepasados estos niveles, resulta necesario realizar una actuación correctora que consiga reducir las concentraciones por debajo de estos límites. Estas actuaciones son de tipo arquitectónico y suponen ejecuciones constructivas de diversa índole, cuyo desarrollo dependerá del nivel de concentración inicial, de la efectividad que se deba conseguir para reducir los niveles por debajo de los límites de seguridad, y de la configuración tipológica de la edificación.

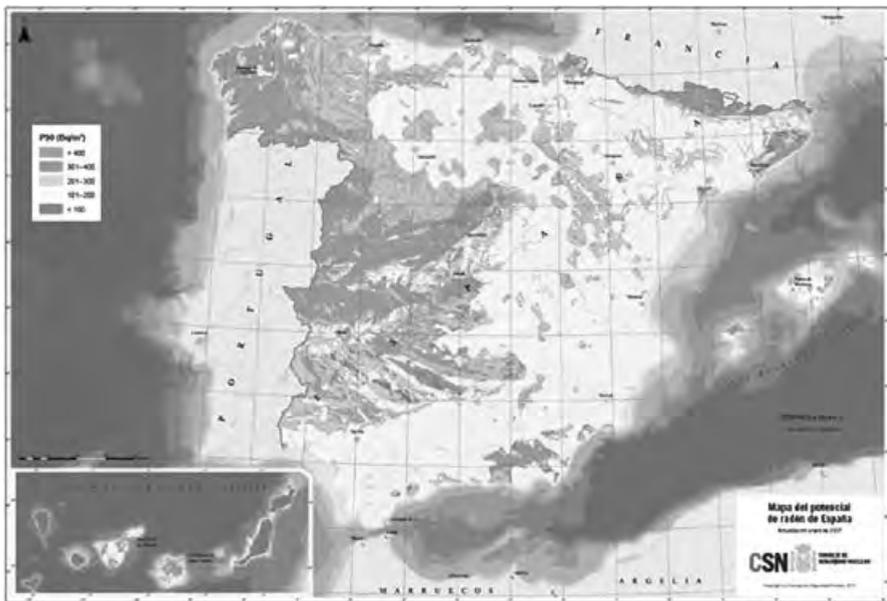


Figura 1. Mapa nacional de Exposición Potencial al Radón. Consejo de Seguridad Nuclear (CSN).

Desde una perspectiva arquitectónica, se han venido estudiando diversas técnicas constructivas destinadas a frenar la inmisión de radón hacia el interior de los edificios. El Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja desarrolló, junto a la Universidad de Cantabria, un proyecto de investigación [5] cuyo fin es el estudio de las efectividades de distintas soluciones de protección, usando metodologías y materiales propios de nuestro país. Los resultados fueron entregados al Ministerio de Fomento, quien tiene el encargo de desarrollar la normativa, en aspectos constructivos, a través del Código Técnico de la Edificación. Con el fin de seguir profundizando en el conocimiento de estas técnicas, y sus singularidades en la aplicación y el diseño, se están desarrollando en la actualidad dos proyectos de investigación que pretenden poder generar una metodología de diseño en base a los resultados de estudios paramétricos que se están obteniendo mediante el uso de cálculos numéricos por elementos finitos aplicados a geometrías distintas, y condiciones de terreno

y contorno diversas. Estos resultados permitirán, en un futuro, implementar las soluciones de remedio con mayores garantías de éxito. En esta comunicación, se presentan los avances en estos estudios, en algunas de las técnicas comúnmente usadas.

## 2. SOBRE LAS ESTRATEGIAS DE PROTECCIÓN

Para poder comprender el objetivo de las soluciones de remedio, es conveniente conocer cómo se transporta el radón, y como penetra en el interior de los edificios.

### 2.1 Mecanismos de entrada del gas radón

El gas radón proveniente del subsuelo, generado por la desintegración del radio, exhala a la atmósfera y se mezcla con el resto de gases, disminuyendo así su concentración sin que alcance niveles importantes. Ahora bien, si existiese una edificación sobre el terreno, y debido fundamentalmente a la diferencia de presión que se establece entre los poros del terreno y el espacio cerrado de la edificación (normalmente alta debido a ventilaciones o ausencia de las mismas), se establecería un flujo del gas hacia el interior. Por su condición de gas, su movilidad es alta entre los poros de los materiales normalmente usados en la edificación y penetrará fácilmente en el interior de la vivienda, atravesando los forjados, soleras, muros, e introduciéndose a través de grietas o fisuras. La acumulación de radón en el interior de los edificios eleva las concentraciones y por tanto el riesgo para la salud de sus habitantes.

De una forma general, la ecuación diferencial que describe la generación, transporte, desintegración y acumulación de radón, puede escribirse de la siguiente manera:

$$\frac{\partial \varepsilon C}{\partial t} = D \nabla^2 C + \frac{k}{\mu} \nabla C \nabla P - \lambda \varepsilon C + \varepsilon G \quad (1)$$

La ecuación (1), contemplada en distintos estudios, [6], define la concentración de radón en un espacio y tiempo determinado, en función de la tasa de entrada descrita por el mecanismo difusivo (primer término), dependiente del gradiente de concentraciones, la tasa advectiva (segundo término), que depende del gradiente de presiones entre la existente en los poros del terreno y la del interior de la edificación, la desintegración del átomo, la desintegración (tercer término) y la generación del mismo en el sustrato de terreno (cuarto término).

Los principales factores que influyen en la tasa de flujo de radón hacia el interior son los siguientes:

- La potencialidad del suelo de generar gas radón. Rocas con contenidos altos de radio.
- La capacidad que tenga el gas de escapar de la estructura de la roca (Emanación).
- La porosidad y humedad que presente el terreno para que el radón pueda alcanzar la superficie (Exhalación).
- La diferencia de presiones entre el terreno y el interior de la edificación.
- Las condiciones meteorológicas que modificarán el flujo de radón por variación del

gradiente de presiones entre los poros del terreno y el interior del edificio.

En la figura 2, se esquematizan los distintos procesos físicos q afectan a las concentraciones de radón interior.

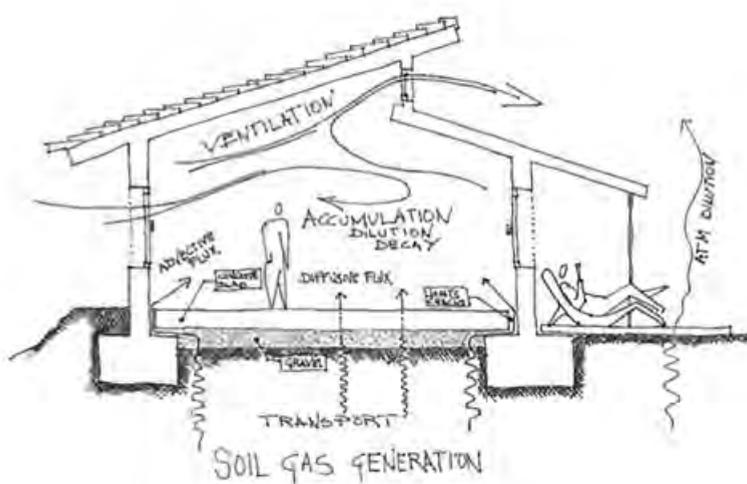


Figura 2. Esquema de procesos físicos de generación, transporte, desintegración, acumulación y dilución.

## 2.2 Estrategias de protección. Sobre su funcionamiento.

Se trata de actuaciones constructivas destinadas a frenar la entrada de radón al interior del edificio. Estas técnicas pueden aplicarse a edificios existentes, en los que habrá que intervenir para la introducción de las mismas, o a edificios de nueva planta en los que podrán ser planteadas en fase de proyecto. Lógicamente, las técnicas planteadas para edificios de nueva planta supondrán un menor coste, una mayor facilidad de ejecución y una integración en el diseño del edificio, además de conseguir efectividades de reducción de radón de mayor rango.

En general, e independientemente de si se trata de un edificio de nueva planta o un edificio ya construido, las técnicas de actuación se basan en 3 estrategias claramente diferenciadas [7] que se exponen a continuación.

### a) Sistemas de extracción de radón desde el terreno. Despresurización

Se trata de despresurizar el terreno extrayendo aire desde el área de asiento del edificio. Tiene una doble función, por un lado forzar una vía de escape del gas del terreno reduciendo la concentración en él, y por otro invertir el gradiente de presiones para anular el mecanismo advectivo de la física de transporte de gases. Este aspecto se comenta más en detalle en el punto de 3.

Como se muestra en la figura 3 (a), para la extracción es necesario un punto de captación en el terreno, un conducto de evacuación hacia el exterior y un extractor mecánico en el caso de que las concentraciones sean excesivas y no funcione por tiro natural.

Este tipo de medidas están clasificadas como las de mayor efectividad de las estrategias

habitualmente empleadas en protección [8].

**b) Sistemas de barreras frente al paso del gas radón.**

Como se observa en la figura 3 (b), consiste en interponer una membrana de material impermeable frente al paso de los gases entre el terreno y los elementos constructivos que están en contacto con el edificio (soleras, muros de sótano, forjados sanitarios, etc.). El objetivo es dotar de mayor estanquidad a la vivienda para atenuar el flujo de radón hacia su interior desde el terreno.

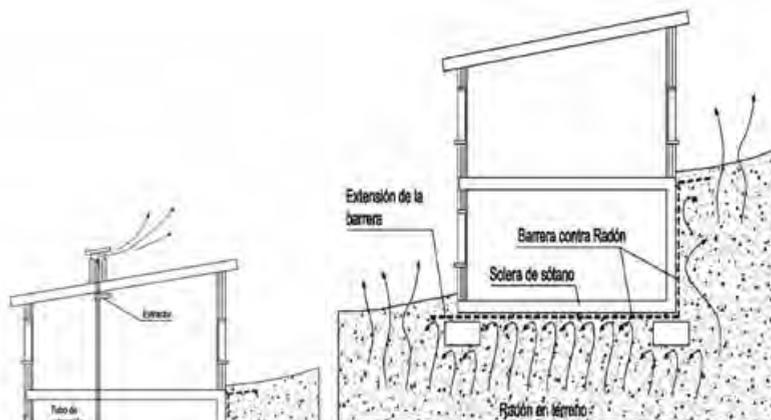


Figura 3 (a y b). Esquema de elementos que componen un sistema de extracción (a), y esquema de colocación de barrera anti radón (b).

**c) Ventilación.**

La ventilación es una técnica habitual en casos de baja concentración. La mezcla de aire con el exterior reduce la concentración interior por dilución. Esta técnica, aunque bastante obvia, no llega a ser de alta efectividad, al menos con las tasas de ventilación habituales en las viviendas. El estudio de tasas requeridas para la reducción implica un conocimiento previo de tasas de hermeticidad que se comentarán más adelante.

### 3. ESTUDIOS PARA EL DISEÑO ÓPTIMO DE LAS SOLUCIONES

El diseño óptimo de estas estrategias requiere de estudios pormenorizados para lograr el máximo de efectividad posible. A través de varios proyectos de investigación [9,10], en el Instituto de ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, se están logrando crear metodologías de estudio combinando modelos numéricos y ensayos de validación, que están permitiendo alcanzar altas efectividades, y particularizar los diseños a casos concretos de geometrías de edificación dadas. A continuación se comentan los avances.

#### 3.1 Técnicas de despresurización

En condiciones normales, la presión en el interior de un edificio tiende a igualarse con la presión atmosférica en el exterior, a través de la comunicación aérea que existe entre los puntos de infiltración como carpinterías, rejillas, chimeneas, etc. Lo mismo ocurre con

respecto a las presiones que se establecen en el terreno pero con un ligero desfase temporal función de la permeabilidad el suelo. Por otro lado, el estado de presiones en el interior sufre una ligera despresurización inducida por la fuga de aire que se produce por las chimeneas y rejillas debido al efecto “stack” y “venturi”, que oscila entre  $-2$  y  $-5$  Pa con respecto a la exterior y la del terreno. Esta gradiente provoca un flujo advectivo del gas hacia el interior del edificio. La estrategia de despresurización persigue invertir este gradiente provocando una presión diferencial negativa en el terreno del orden de  $-10$  Pa respecto a la interior (valor de garantía), normalmente mediante el uso de extractores conectados a la red de inserción. Lograr este objetivo parte por comprender la mecánica de fluidos, en su componente de extensión de presiones en terreno, contando con los parámetros involucrados, tales como el ratio de permeabilidad entre el terreno y el lecho gravoso, la estanquidad del espacio bajo la losa de solera, las potencias de extracción, la distribución de puntos o red de inserción, o las barreras que pueden provocar las cimentaciones.

Para el estudio de la extensión del campo de presiones en viviendas construidas, resulta útil la combinación de las siguientes técnicas:

a) Diagnósticos de presiones diferenciales en distintos puntos de la losa aplicando una aspiración bajo la misma, como se esquematiza en la figura 4 (a). Rojo, aspiración; rojo, registro.

b) Generación de un modelo numérico de predicción, validarlo con el estudio de campo de presiones medido, y aplicarlo al diseño para controlar el área despresurizada con  $-10$  Pa de objetivo. En nuestro caso, se ha hecho uso del Software Comsol Multiphysics, de cálculo numérico mediante elementos finitos. Se pueden ver las referencias y validación en el artículo [6].

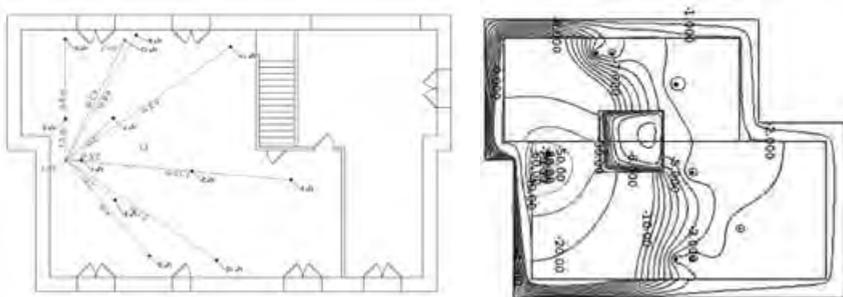


Figura 4 (a y b). Medida de campo de presiones (a), y modelo numérico validado (b).

La aplicación de este modelo validado a las distintas alternativas que se propongan de red y potencias, permite conocer a priori su efectividad y ajustar al óptimo deseado. La figura 5 muestra el ajuste entre medidas de campo, y modelo numérico, que permitieron poder diseñar la red para alcanzar las presiones deseadas en el área de asiento del edificio que se pretendía proteger. Como se puede observar, fue necesario introducir las grietas observadas en la solera, para llegar al ajuste, confirmando de esta manera el punto fundamental de estanquidad de la losa de suelo, en su comunicación entre los ambientes Terreno/Espacio interior.

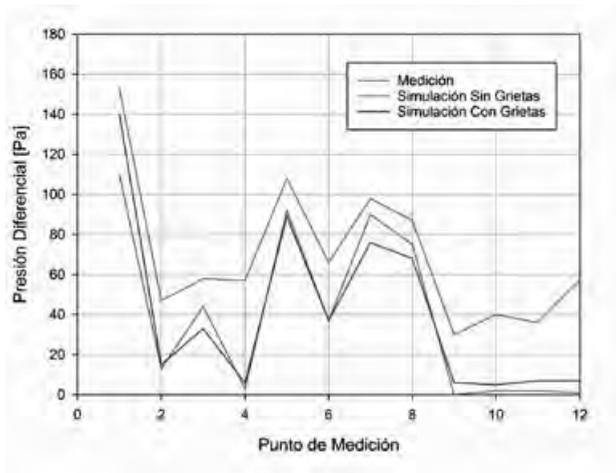


Figura 5. Comparación y ajuste entre la medida de campo y la simulación en modelo numérico.

### 3.2 Técnicas de barreras

En cuestiones de aplicación de barreras, los estudios se enfocan a establecer una serie de requisitos mínimos para garantizar sus prestaciones de estanquidad frente al gas. Entre los ensayos que pueden tenerse en cuenta destacan los propiamente encaminados a analizar su estanquidad, como el ensayo de difusión de membranas a gas radón, y los que analizan las propiedades mecánicas que deban garantizar su durabilidad y resistencia frente a elongaciones, roturas, punzonamientos, ataques químicos, etc. En la actualidad, estos requisitos se están contemplando en los nuevos Documentos de Idoneidad Técnica (DIT) que fabricantes comienzan a solicitar de cara a la puesta en mercado de sus materiales con función de barreras. Estos han quedado reflejados en una comunicación en un congreso que puede encontrarse en [11].

### 3.3 Técnicas de ventilación

La ventilación de un espacio ha sido una práctica muy usada para eliminar contaminantes interiores, suponiendo que el aire exterior está libre de ellos o al menos en concentraciones muy bajas. Eso suele ocurrir con gases como el  $\text{CO}_2$ , exhalado por el ser humano, o los compuestos orgánicos volátiles, emitidos por algunos materiales plásticos, disolventes, combustibles, etc. Las tasas de ventilación, intercambio de aire con el exterior, ya están contempladas para este tipo de contaminantes, como por ejemplo en los cálculos que establece el Documento Básico HS3 del Código Técnico de la Edificación. Sin embargo, de los cálculos teóricos realizados [12], se obtiene que no son suficientes para lograr reducir las concentraciones de radón cuando estas superan valores del orden de  $400 \text{ Bq/m}^3$ .

Para la aplicación de estas técnicas, es necesario conocer la tasa de infiltración inicial del edificio (hermeticidad) para poder proponer el flujo extra necesario que reduzca a valores aceptables. Para ello son recomendables los ensayos de puerta soplante (Blower Door), conforme a la norma UNE-EN 13829:2002 “Aislamiento térmico. Determinación de la estanquidad al aire en edificios. Método de presurización por medio de ventilador”.

Una vez obtenidos, es posible llegar a calcular las tasas necesarias mediante la expresión (2):

$$C=R/V.\lambda t \quad (2)$$

Siendo, R (Bq/s), la tasa de entrada de radón por el suelo, V (m<sup>3</sup>), el volumen de acumulación y  $\lambda t$  (h<sup>-1</sup>) el sumatorio ( $\lambda_d$  cte desintegración +  $\lambda_h$  tasa de hermeticidad +  $\lambda_r$  tasa de renovaciones /h).

El siguiente ejemplo, figura 6, muestra el cálculo realizado para dos situaciones distintas de hermeticidad de partida, ambos con los mismo niveles iniciales de radón, y las tasas asociadas para su reducción hasta los 200 Bq/m<sup>3</sup>, considerado como valor objetivo en este caso.

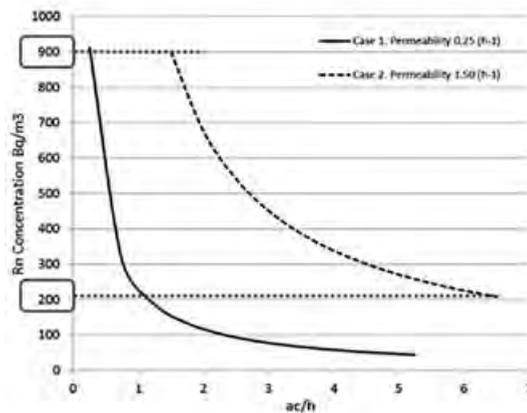


Figura 6. Cálculo de tasas de ventilación necesarias en función del grado de hermeticidad de la vivienda.

#### 4. CONCLUSIONES

Las soluciones de protección se basan en estrategias claramente diferenciadas, con un rango de efectividades desde el 50% (ventilaciones) hasta el 99% (despresurizaciones), con las barreras en un rango intermedio (60-70%). Sin embargo, existe mucha documentación sobre fracasos en la aplicación de dichas técnicas. Sobre todo en el ámbito de las estrategias de despresurización, en las que no se ha tenido en cuenta los aspectos de estudio que se han mostrado en esta comunicación, como los campos de presiones necesarios, las barreras de cimentación, las permeabilidades de los sustratos bajos solera, etc. Los resultados de los proyectos de investigación que se están llevando a cabo están arrojando datos valiosos para poder proponer pautas de diseño que mejoren la efectividad de las técnicas y puedan ser instrumentos de aplicación para proyectistas en el ámbito de la protección.

#### 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS (Y CITAS EN EL TEXTO)

- [1] WHO (2009). *Handbook on Indoor Radon. A public health perspective*. World Health Organization. [http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44149/1/9789241547673\\_eng.pdf](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44149/1/9789241547673_eng.pdf)

- [2] Comisión de las Comunidades Europeas (1990). Recomendación de la Comisión de 21-2-1990 relativa a la protección de la población contra peligros de una exposición al radón en el interior de edificios. (90/143/Euratom). D.O.C.E. L80, 2628.
- [3] Unión Europea (2013). *DIRECTIVA 2013/59/EURATOM DEL CONSEJO, de 5 de diciembre de 2013, por la que se establecen normas de seguridad básicas para la protección contra los peligros derivados de la exposición a radiaciones ionizantes, y se derogan las Directivas 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom y 2003/122/Euratom.*
- [4] Consejo de Seguridad Nuclear (2017). *Mapa de potencial de radón en España.* <https://www.csn.es/mapa-del-potencial-de-radon-en-espana>
- [5] Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja-CSIC (2004). *Estudio de la viabilidad y la efectividad de las acciones de remedio frente a la presencia de gas Radón en los edificios existentes.* Plan Nacional de Investigación (Nº Ref. BIA2004-01460).
- [6] E. Muñoz, B. Frutos, M. Olaya, J. Sánchez (2017). *A finite element model development for simulation of the impact of slab thickness, joints, and membranes on indoor radon concentration.* Journal of Environmental Radioactivity. Volume 177, October 2017, Pages 280–289. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2017.07.006>
- [7] B. Frutos; M. Olaya; J.L. Esteban (2011). *Sistemas de extracción como técnicas constructivas para evitar la entrada de gas radón en las viviendas.* Informes de la Construcción. (2011) Vol. 63, 521, 23-36.
- [8] Scivyer C R; Jaggs M P R (1998). *Dwellings with cellars and basements: a BRE guide to radon remedial measures in existing dwellings.* ISBN: 1860812198.
- [9] Proyecto de Investigación 2014 (Nº Ref. BIA2014-58887-R). 2014. *RADON CERO-Optimización de soluciones constructivas frente a la inmisión de gas radón en edificios y desarrollo de metodologías de diseño de soluciones.*
- [10] Proyecto de Investigación 2015 (RTC2015-34-64-5). *PERFO-RA. Desarrollo y diseño de técnicas de microperforación como solución para la protección de la salud de usuarios frente a la inmisión de radón en espacios habitados.*
- [11] Frutos, B., Olaya, M. (2010). *Las prestaciones en construcción de las barreras anti radón. La evaluación técnica de membranas.* En Proceedings de II Congreso Nacional de Investigación en la Edificación. Madrid. Universidad Politécnica de Madrid.
- [12] Frutos, B., Olaya, M., Martín-Consuegra, F., Alonso, C. (2015). *Radon concentration control by ventilation and energy efficiency improvement.* En Proceedings de AIVC Conference. Madrid.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha podido desarrollar gracias los proyectos de investigación RADÓN CERO (Nº Ref. BIA2014-58887-R) y PERFORA (RTC2015-34-64-5), ambos financiados por el Ministerio de Economía y Competitividad, del Gobierno de España.

## SISTEMA INTELIGENTE, SOSTENIBLE E INTEGRADO DE GESTIÓN DE ESTRUCTURAS

MUÑOZ NAVASCUES, OSCAR<sup>1</sup>; SÁNCHEZ CATALÁN, JUAN CARLOS<sup>2</sup>; CAPELASTEGUI LASSO, ABEL<sup>3</sup>; PÉREZ ESTERAS, JAVIER<sup>4</sup>; PÉREZ BENEDICTO, JOSÉ ÁNGEL<sup>5</sup>; LÓPEZ JULIÁN, PEDRO LUIS<sup>6</sup>

<sup>1</sup> *TECNALIA, La Almunia de Doña Godina, España*

*E-mail: [oscar.munoz@tecnalia.com](mailto:oscar.munoz@tecnalia.com), Web: [www.tecnalia.com](http://www.tecnalia.com)*

<sup>2</sup> *TECNALIA, La Almunia de Doña Godina, España*

*E-mail: [jcarlos.sanchez@tecnalia.com](mailto:jcarlos.sanchez@tecnalia.com), Web: [www.tecnalia.com](http://www.tecnalia.com)*

<sup>3</sup> *TECNALIA, Derio, España*

*E-mail: [abel.capelastegui@tecnalia.com](mailto:abel.capelastegui@tecnalia.com), Web: [www.tecnalia.com](http://www.tecnalia.com)*

<sup>4</sup> *EUPLA, La Almunia de Doña Godina, España*

*E-mail: [jpereze@unizar.es](mailto:jpereze@unizar.es), Web: <http://www.eupla.unizar.es>*

<sup>5</sup> *EUPLA, La Almunia de Doña Godina, España*

*E-mail: [joanpebe@unizar.es](mailto:joanpebe@unizar.es), Web: <http://www.eupla.unizar.es>*

<sup>6</sup> *EUPLA, La Almunia de Doña Godina, España*

*E-mail: [pllopez@unizar.es](mailto:pllopez@unizar.es), Web: <http://www.eupla.unizar.es>*

**PALABRAS CLAVE:** Monitorización estructural; Sistemas inalámbricos distribuidos; Energy Harvesting; LORA; Sistemas mínimos Linux.

### RESUMEN

El sistema de monitorización remota Infrasmart diseñado por Tecnalía es usado como base para el desarrollo de supervisión de infraestructuras civiles tanto existentes como de nueva construcción en donde el despliegue de la instalación debe de ser lo menos intrusiva posible. Para conseguir su objetivo el sistema se basa en módulos de adquisición distribuidos con capacidad de comunicación inalámbrica de larga distancia y auto-alimentación

orientada a la eliminación del cableado propio de este tipo de instalaciones. A su vez el concentrador de datos gestiona la recepción de la información de dichos módulos y la evacuación de los mismos a un servidor de datos seguro orientado a la supervisión remota de la infraestructura.

Actualmente la capacidad de medida de los nodos de adquisición abarca tanto medidas cuasi-estáticas, (sensores de temperatura e hilo vibrante), como medidas dinámicas accionadas por evento, (acelerómetros). En adición existe la capacidad de integrar nuevos sensores conforme a nuevas especificaciones dando como resultado un sistema abierto y escalable en función de los parámetros de interés de la infraestructura a monitorizar.

## 1. INTRODUCCIÓN

Según las prácticas actuales la monitorización de una infraestructura parte en la fase de ejecución de la obra integrando los sensores en función de los parámetros de interés, siendo por norma general sistemas cerrados. Si nos remontamos tiempo atrás podremos observar que existen infraestructuras las cuales carecen totalmente de este tipo de sistemas de supervisión y por ende se confía tanto en el correcto diseño y ejecución de la obra como en las revisiones periódicas previstas en el plan de mantenimiento.

Actualmente existen numerosas tecnologías para la monitorización estructural las cuales pueden ser usadas tanto para ensayos puntuales como para monitorizaciones permanentes, no obstante uno de los mayores inconvenientes de la implementación de este tipo de sistemas es el coste de integración del mismo. El análisis de costes totales de monitorización en sistemas cableados pueden rondar los 5000 dólares por punto de medida según informe proporcionado por Celebi [1], siendo de hasta 8 millones de dólares la estimación asociada a la monitorización de 350 puntos de medida en el puente colgante de Tsing Ma en Hong Kong, [2].

La aplicación de nuevas tecnologías basadas tanto en sistemas inalámbricos como en sensorica de última generación permiten cubrir las necesidades de monitorización actuales con un coste de integración mucho más bajo que los equivalentes tradicionales, [3] [4]. No obstante actualmente la integración de sistemas comerciales inalámbricos de monitorización continua asocia de manera habitual la alimentación de los dispositivos a la red eléctrica lo cual limita la implementación de este tipo de elementos en infraestructuras menores o de cierta edad en donde la conexión eléctrica no está disponible. La alternativa natural a este inconveniente es la integración de elementos de auto alimentación, comúnmente denominados “Harvesting”, asociados a unas políticas de monitorización orientadas al bajo consumo que permiten la operatividad del sistema con independencia de la infraestructura a monitorizar, [5].

Con objeto de solventar los inconvenientes descritos, Tecnalia ha desarrollado un sistema de monitorización estructural inalámbrico, autoalimentado, remoto y seguro para poder ofrecer servicios de monitorización remota, escalable y extrapolable a todo tipo de infraestructura tanto existente como de nueva obra. El proyecto se está realizando en el marco del proyecto “SISGES, Sistema Inteligente, Sostenible e integrado de Gestión de Estructuras”, financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad en el PLAN NACIONAL DE I+D+I dentro de la convocatoria de RETOS-COLABORACIÓN.

## 2. DESARROLLO DEL SISTEMA INFRASMART

### 2.1 Características fundamentales

El sistema Infrasmart se soporta en cuatro pilares fundamentales.

- *Sistema remoto y seguro*: Es posible la consulta de los datos generados por el sistema de manera remota desde cualquier parte del mundo.
- *Sistema con conexión inalámbrica*: se suprime todo el cableado existente típico de cualquier monitorización. Los nodos de instrumentación se comunican con el concentrador a vía radio de altas prestaciones basada en la tecnología LORA.
- *Sistema autoalimentado*: se recurre a técnicas de energy harvesting y programación de bajo consumo para hacer posible que tanto el concentrador de datos como los nodos de monitorización puedan operar de manera autónoma y permanente a lo largo del tiempo sin necesidad de conexión a la red eléctrica.
- *Sistema distribuido y escalable*. El diseño propio del sistema permite añadir puntos de medida adicionales sin gran esfuerzo gracias a las técnicas de plug'n'play.

Las ventajas potenciales de Infrasmart se orientan en su mayoría a la simplificación de la integración del sistema en infraestructuras. La eliminación del cableado junto con la capacidad de autoalimentarse permite un planteamiento de ingeniería de instalación más sencillo y por ende más económico. Al ser un sistema escalable y abierto, Infrasmart permite la inserción de sensores adicionales de cualquier índole en función de las posibles necesidades de supervisión.

La conexión remota al sistema permite la monitorización en tiempo real de la infraestructura así como la interacción con la misma de cara a la programación de umbrales de alarma/supervisión y programación de eventos susceptibles de interés tales como paso de vehículos de gran tonelaje o sobreoscilaciones de la infraestructura.

La escalabilidad del sistema permite a su vez el desarrollo de nuevos tipos de transductores en función de los parámetros físicos de interés e incluso la integración en el sistema, gracias a su procesador embebido, de las conexiones necesarias con sistemas ya existentes tales como estaciones de aforo de carreteras, sistemas de señalización o seguridad los cuales pueden aportar datos adicionales para una mejor interpretación de los resultados.

### 2.2 Topología del Sistema.

La topología del sistema se basa en una red en forma de estrella en donde existe un concentrador de datos el cual hace la función de colector de la información de los diferentes nodos de medición o sistemas auxiliares. Dicho concentrador es el encargado de generar la base de datos de sistema y de mantener la conexión remota a la vez que es capaz de generar alarmas programables en función de los eventos de interés.

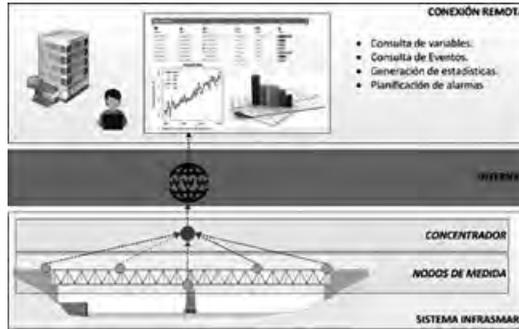


Figura 1. Topología del Sistema INFRASmart.

En esta primera fase de desarrollo se han integrado al sistema, en adición a los nodos específicos desarrollados, un elemento auxiliar compuesto por una estación meteorológica comercial. Dicha estación meteorológica aporta la información de contorno de la infraestructura mientras que los nodos de medida se integran en función de las necesidades de monitorización específicas de la infraestructura.

### 2.3 Modos de trabajo del sistema Infrasmart

Existen dos modos de trabajo en lo referente a los nodos de medición, uno estático y otro dinámico. El modo estático permite observar las variaciones de las magnitudes físicas con un lapso de tiempo programable de entre 5 minutos y una hora y resulta ideal para las observaciones de parámetros cuasi estáticos tales como la temperatura de la estructura o el desplazamiento de las juntas de dilatación. El modo dinámico permite programar al sistema adquisiciones de eventos a una velocidad de adquisición relativamente elevada, que actualmente se establece en 100Hz, durante un periodo determinado de 5sg. Los nodos de medición entran en modo dinámico por la detección de vibración en la infraestructura, (ej. Paso de vehículos pesados), y permite capturar las señales de los acelerómetros con objeto de analizar la frecuencia natural de la infraestructura o la sobreoscilación de la misma. Estos parámetros pueden permitir tanto el estudio de la fatiga de la infraestructura como posibles desviaciones en su frecuencia natural probocadas por un cambio estructural.

### 2.4 Nodo concentrador

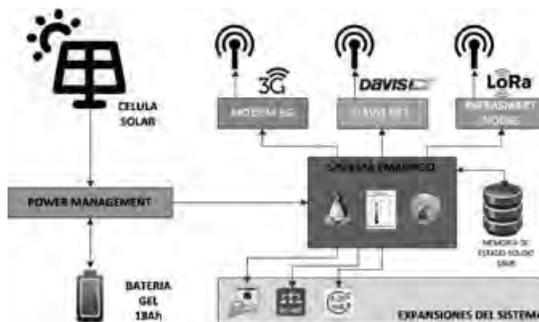


Figura 2. Esquema topográfico del nodo Concentrador

El nodo concentrador se basa en una arquitectura de procesador embebido de altas prestaciones y bajo consumo que permite al sistema elaborar tareas de computación de alto nivel. Sus interfaces de comunicación principales se orientan al uso de modem 3G para las comunicaciones remotas y a dos interfaces inalámbricas de altas prestaciones a través de los cuales se realizan las conexiones tanto con la estación meteorológica como con los nodos de medición del Sistema. Opcionalmente existen interfaces serie y ethernet adicionales para posibles conexiones con sistemas auxiliares.

Todo el bloque del nodo concentrador se alimenta a través de una batería de altas prestaciones soportada por una célula solar que permite al sistema estar encendido y conectado permanentemente.

El software funcional se compone de un sistema mínimo Linux que funciona sobre un dispositivo con procesador ARM y que permite la ejecución de un sistema operativo completo con una prestaciones medias y unos requerimiento muy bajos. La potencia de cálculo de este dispositivo permite la conexión tanto con los módulos de medición como con sistemas auxiliares externos y la gestión de los datos se realiza a través de bases de datos en formato SQLite.

Otra característica destacable es la ejecución de un servidor web que permite la administración y supervisión remota, a la vez que existe la capacidad de automatizar la exportación de datos a centros de supervisión externos.

## 2.5 Estación meteorológica



Figura 3. Set de instrumentos de la estación meteorológica. Imagen: [www.davisnet.com](http://www.davisnet.com).

Debido a que las condiciones meteorológicas de contorno pueden llegar a ser vitales a la hora del estudio de comportamiento de la infraestructura se ha incorporado al sistema Infrasmart una estación meteorológica comercial de altas prestaciones. A través de este sistema auxiliar se adquieren variables tales como temperatura, humedad, velocidad y dirección de viento, presión barométrica y condiciones pluviométricas. La adición de este elemento al sistema es opcional y existiría la posibilidad, en el caso de que estuviese disponible, de descargarse la información meteorológica de la estación AEMET o similar más cercana a la propia infraestructura.

### 2.6 Nodos de medición Infrasmart.

Los nodos de instrumentación se basan en una arquitectura de microcontrolador de bajo consumo encargada de la recolección de los datos provenientes de los sensores. Actualmente existen dos variantes de módulos correspondientes a medidas de temperatura basadas en termopar y a medidas basadas en sensores de hilo vibrante.

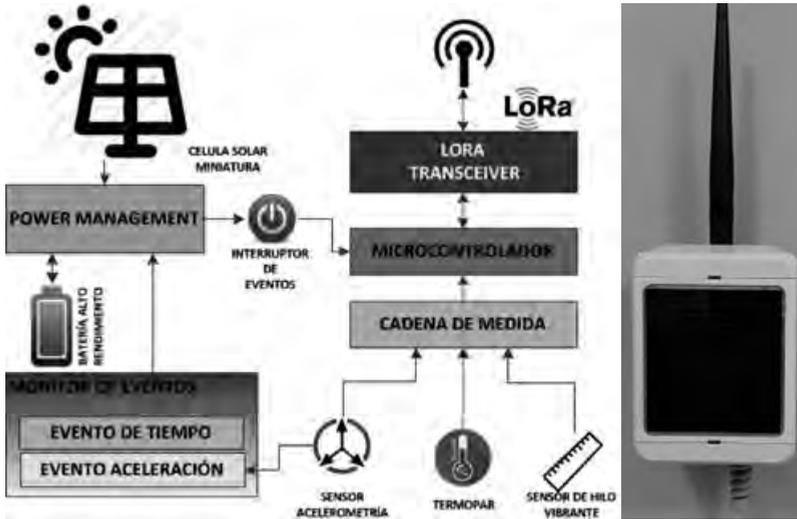


Figura 4. Esquema topográfico del Nodo de instrumentación.

Por defecto el nodo de medida se encuentra en estado de reposo siendo los únicos bloques activos de manera permanente los correspondientes al recolector de energía y al monitor de eventos. En el caso de producirse un evento de tiempo el nodo de medida se activará midiendo los sensores asociados y retransmitiendo los resultados al concentrador para luego volver al estado de reposo, este modo de trabajo corresponde al modo de medido estático y es configurado por el usuario. A su vez es posible programar eventos de aceleración a través del cual el nodo entra en modo dinámico en el instante en que el acelerómetro rebasa un umbral de aceleración, (ej. Paso de vehículo pesado). En este caso el nodo recolectará las medidas de acelerometría correspondientes al evento retransmitiendo el archivo generado al nodo colector para su análisis.

Con el diseño realizado existe la posibilidad de integrar medidas provenientes de otros tipos de sensores como galgas extensométricas o células de carga mediante la reprogramación del nodo de medida sin necesidad de nuevos desarrollos.

### 2.7 Conexión remota

El nodo concentrador dispone de un modem 3G, lo que permite conectarse a internet de forma controlada para la evacuación de los datos adquiridos a almacenes definitivos, al mismo tiempo permite conectarse a ella mediante una dirección pública de internet. Con las credenciales adecuadas, y una conexión segura, su administración se realiza completamente vía portal web.

También dispone de un interfaz para que terceras aplicaciones puedan obtener datos del sistema de forma periódica con el fin de supervisar y/o generar alarmas en función de los datos registrados en tiempo real.

**2.8 Portal de administración.**

El usuario del portal de administración tiene a su disposición una serie de operaciones que puede realizar a través de una interfaz que varía en función de los niveles de acceso, es decir, un usuario administrador puede realizar operaciones de configuración y mantenimiento de datos, mientras que un nivel de acceso de usuario solo permite la consulta y descarga de datos.

Las operaciones destacables son el poder configurar íntegramente el sistema de forma remota, observar en tiempo real los valores adquiridos, los estados de los módulos, niveles de señal, carga de baterías, uso de espacio, etc., así como visualización gráfica y selectiva de datos o su descarga.



Figura 5. Portal de administración del Sistema Infrasmart.

**3. PRUEBAS EN LABORATORIO**

El sistema ha sido probado en laboratorio distribuyendo tanto en ambiente exterior como en interior los nodos de medida del Sistema INFRASMART. Durante dichas pruebas se han desplegado la estación meteorológica y 7 nodos de medida específicos siendo 4 de ellos de medida de hilo vibrante, 2 de detección de paso de vehículos y 1 de medida de temperatura de estructura. La configuración general del sistema de medición se ha establecido con un periodo de activación de 10 minutos y un umbral de evento de aceleración de 100mg.

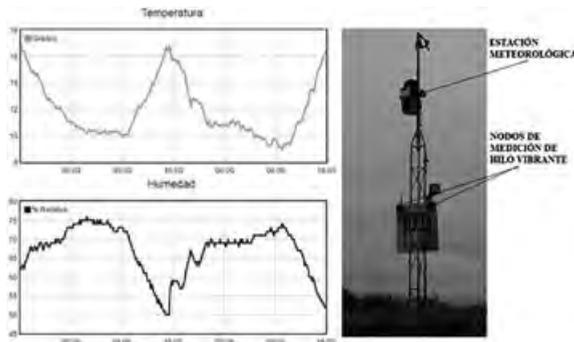


Figura 6. Estación meteorológica y nodos de medida basados en sensores de hilo vibrante.

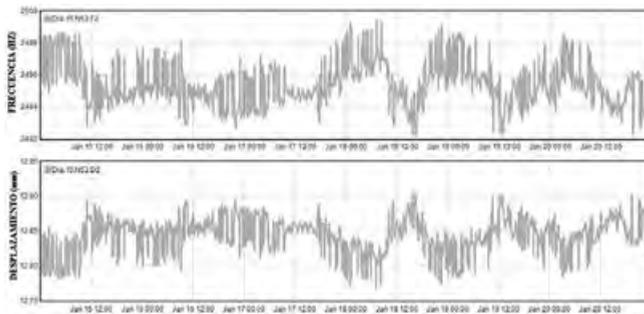


Figura 7. Comportamiento sensor de hilo vibrante, (1 semana).

### 3.1 Modo de medida dinámico. Eventos de vibración captados por los acelerómetros

Para simular en laboratorio el detector de paso de vehículos pesados se han dispuesto los nodos de acelerometría en los marcos de puerta de entrada a las oficinas de tal manera que se ha podido monitorizar las entradas y salidas del personal. Observando en detalle los eventos generados se ha podido observar el impacto de cierre de la puerta y la respuesta en amplitud del evento.

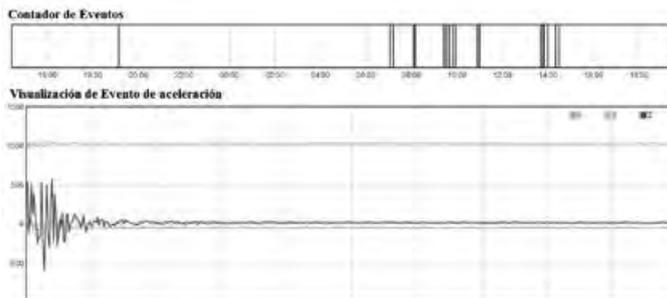


Figura 8. Contador de eventos y visualización de la respuesta del acelerómetro triaxial, (en mg).

### 3.2 Comportamiento de las baterías de los nodos.

El comportamiento de las baterías de los nodos de instrumentación situados en exteriores se han mantenido constantes y sin apreciar descargas significativas de la misma. La baterías utilizadas para alimentar a los nodos poseen un voltaje nominal de 3.6V, (3600mV), con un voltaje de carga máximo de 4.2V, (4200mV). En la Figura 9 se puede apreciar las cargas de batería en las horas de luz y la progresiva descarga en las horas nocturnas.

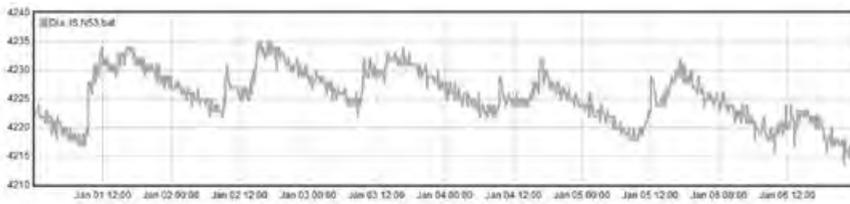


Figura 9. Carga y descarga de baterías del nodo 53, (en mV).

## 4. CONCLUSIONES

Los resultados aportados por el sistema durante el ciclo de pruebas en laboratorio resultan esperanzadores, no obstante quedan pendientes de realizar las correspondientes pruebas en entorno real las cuales se deberán de ejecutar en los próximos meses. En líneas generales la respuestas de los modos de medición estático y dinámico han sido positivas aunque se ha observado la necesidad de ajustes de disparo del modo dinámico, (acelerómetros). Puede existir la posibilidad de falsos positivos en el caso de que el umbral de alarma se configure demasiado sensible, (por debajo de 100mg).

En comparación con sistemas comerciales equivalentes, como los ofrecidos por microstrain, (<http://www.microstrain.com>), o libelium, (<http://www.libelium.com>), el sistema Infrasmart adolece hasta la fecha de no contar con tanta capacidad de integración de sensores. En contrapartida el sistema desarrollado orienta su diseño exclusivamente a la monitorización estructural y en especial al uso de la tecnología de hilo vibrante tan extendida en el campo de la obra civil y ausente en las plataformas mencionadas. A su vez, y gracias al uso de un desarrollo computacional basado en linux, el sistema Infrasmart es capaz de realizar iteraciones con otros sistemas para aportar información adicional específica de relevancia. En este aspecto el desarrollo efectuado no pretende sustituir sistemas altamente especializados sino que dichos elementos son usados como complemento para un análisis de comportamiento estructural más profundo.

En conclusión podremos afirmar que el sistema Infrasmart puede ser usado tanto en aplicaciones puntuales o ensayos específicos como en instalaciones permanentes con un mínimo impacto económico adaptándose de la mejor manera posible a la infraestructura específica a monitorizar.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Celebi, M., 2002, “*Seismic instrumentation of buildings (with emphasis on federal buildings)*”. Special GSA/USGS Project, an administrative report.
- [2] Farrar, C.R., 2011, “*Historical Overview of Structural Health Monitoring. Lecture Notes on Structural Health Monitoring Using Statistical Pattern Recognition*”, Los Alamos Dynamics: Los Alamos.
- [3] Shinae Jang, Hongki Jo; Soojin Cho; Kirill Mechitov; Jennifer A. Rice; Sung-Han Sim; Hyung-Jo Jung; Chung-Bang Yun; Billie F. Spencer, Jr; Gul Agha. “*Structural health monitoring of a cable-stayed bridge using wireless smart sensor technology: Deployment and evaluation*”. Smart Structures and Systems, Vol. 6, No. 5-6 (2010).
- [4] Soojin Cho; Hongki Jo, Shinae Jang; Jongwoong Park; Hyung-Jo Jung ; Chung-Bang Yun; Billie Spencer; Ju-Won Seo. (2010). “*Structural Health Monitoring of a Cable-Stayed Bridge Using Wireless Smart Sensor Technology: Data Analyses*”. Smart Structures and Systems. 6. 10.12989/sss.2010.6.5\_6.461.
- [5] Rosing, Tajana; Todd, Michael; Farrar, Charles; Hodgkiss, William. (2008). “Energy Harvesting for Structural Health Monitoring Sensor Networks”. Journal of Infrastructure Systems - J INFRASTRUCT SYST. 14. 10.1061/(ASCE)1076-0342(2008)14:1(64).
- [6] Zhenyu Wu; Shenglan Liu; Meng Du; Qiang Li; Chengda Han; Jiping Wu. “*Design of vibrating wire sensor signal acquisition board based on STM32*”. Intelligent Control and Automation (WCICA), 2016 12<sup>th</sup> World Congress. DOI:10.1109/WCICA.2016.7578385.
- [7] Bruno Andó; Salvatore Baglio; Antonio Pistorio. “*A distributed monitoring systems for structural early warning*”. Measurement & Networking, 2015 IEEE International Workshop. DOI:10.1109/IWMN.2015.7322990.
- [8] J.M. Ko, Y.Q. Ni, “*Technology developments in structural health monitoring of large-scale bridges*”, see front matter © 2005 Elsevier Ltd, Vol. 27, 2005, pp: 1715-1725.
- [9] Wen-Tsai Sung, Yao-Chi Hsu, “*Designing an industrial real-time measurement and monitoring system based on embedded system and ZigBee*”, see front matter \_ 2010 Elsevier Ltd, Vol. 38, 2011, pp: 4522-4529.
- [10] Lord sensing MicroStrain. Accedido en Enero 2017 desde: <http://www.microstrain.com/> .
- [11] Libelium. Accedido en Enero 2017 desde: <http://www.libelium.com/> .

## **SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS DE LOS PUNTOS SINGULARES DE TRES FACHADAS VENTILADAS EN MADRID**

ROSELL, JUAN JOSÉ<sup>1</sup>; RUIZ, ALBERTO<sup>2</sup>; ORTIZ, JOSÉ ÁNGEL<sup>3</sup>; LUQUE, RAFAEL<sup>4</sup>;  
OLMOS, MARIANO<sup>5</sup>; LÓPEZ, JUAN CARLOS<sup>6</sup>

<sup>1</sup> *Comité Técnico de la empresa constructora ARPADA S.A., Alcorcón, Madrid, España*  
*E-mail: jjrosell@arpada.net, Web: <http://www.grupoarpada.com/>*

<sup>2</sup> *Comité Técnico de la empresa constructora ARPADA S.A., Alcorcón, Madrid, España*  
*E-mail: aruizbarba@arpada.net, Web: <http://www.grupoarpada.com/>*

<sup>3</sup> *Comité Técnico de la empresa constructora ARPADA S.A., Alcorcón, Madrid, España*  
*E-mail: jaortiz@arpada.net, Web: <http://www.grupoarpada.com/>*

<sup>4</sup> *Comité Técnico de la empresa constructora ARPADA S.A., Alcorcón, Madrid, España*  
*E-mail: rafael.luque@arpada.net, Web: <http://www.grupoarpada.com/>*

<sup>5</sup> *Comité Técnico de la empresa constructora ARPADA S.A., Alcorcón, Madrid, España*  
*E-mail: mariano.olmos@arpada.net, Web: <http://www.grupoarpada.com/>*

<sup>6</sup> *Comité Técnico de la empresa constructora ARPADA S.A., Alcorcón, Madrid, España*  
*E-mail: jclopez@arpada.net, Web: <http://www.grupoarpada.com/>*

**PALABRAS CLAVE:** Cerramientos, Fachadas ventiladas, Detalles constructivos, Puntos singulares.

### **RESUMEN**

La Fachada Ventilada es un sistema de cerramiento vertical que presenta una cámara ventilada entre el acabado exterior y el aislamiento. Esta cámara proporciona al cerramiento importantes ventajas frente a los cerramientos tradicionales: se eliminan los puentes térmicos, pues es posible realizar un aislamiento continuo por el exterior del edificio; se reduce el consumo energético y por último, se favorece la durabilidad del edificio. Por todo ello, este tipo de fachadas es considerada como el tipo de envolvente más eficaz y son numerosos los

proyectos arquitectónicos que en la actualidad se resuelven con este sistema.

Sin embargo, también son muchos los problemas que surgen en la ejecución de las mismas, por la gran cantidad de posibles soluciones a adoptar y fundamentalmente por la falta de un estudio constructivo adecuado de los elementos singulares, como: los huecos, el arranque, la coronación, etc. En esta ponencia se describirán tres fachadas ventiladas, resueltas con acabados diferentes, construidas en Madrid. De todas ellas, se analizará el proceso de ejecución con especial hincapié en presentar las soluciones constructivas que han resuelto los puntos más singulares y críticos de las mismas y se determinarán los aspectos más importantes a tener en cuenta.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los edificios de viviendas y servicios son responsables del 40% del consumo total de la energía final en la Unión Europea. En España este porcentaje es menor (27,7%) debido a que las condiciones climáticas son, en general, más suaves que en el centro y norte de Europa. A pesar de ello, la incidencia sobre el global sigue siendo importante a tener en cuenta para reducir el impacto ambiental de los edificios [1]. Por ello, es creciente el interés suscitado en el sector de la Edificación por la búsqueda de soluciones para mejorar la sostenibilidad y el uso eficiente de la energía, a lo largo de todo el ciclo de vida de los edificios. Este interés, se está plasmando en una serie de medidas legales que se derivan de la transposición de la Directiva 2002/91/CE de eficiencia energética de los edificios. En concreto, el Real Decreto 314/2006 de 17 de marzo por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación (CTE) y que contiene un Documento Básico sobre Ahorro de Energía (DBHE), en el que se establece unos requisitos de eficiencia energética, que deben introducirse en la fase de diseño de los proyectos.

En este contexto, también, cada vez son más numerosos los proyectos de investigación que estudian nuevos materiales, soluciones y sistemas constructivos orientados a la mejora de la eficiencia energética de los edificios, cabe destacar el proyecto BUILTHEAT [2] o el Proyecto PRENDE [3]. Dentro de los sistemas analizados en estos proyectos, destaca por sus prestaciones, para mejorar la eficiencia energética de los edificios, los sistemas de Fachada Ventilada (FV).

La FV es un sistema de cerramiento ligero vertical, que básicamente supone una evolución del sistema de aplacado, al que se le introduce una cámara de aire ventilada. La FV se compone de una hoja interior y una hoja exterior separadas por una cámara comunicada con el exterior y de un espesor suficiente como para hacer posible la circulación del aire y, en consecuencia, la difusión del vapor de agua y la transmisión de calor por simple convección. La cámara aloja un aislamiento continuo a lo largo de la fachada. El aislamiento puede ser rígido o semirrígido adherido al soporte. La hoja exterior se fija al muro soporte mediante subestructuras diseñadas al efecto [4].

La cámara proporciona al cerramiento importantes ventajas frente a los cerramientos tradicionales: elimina los puentes térmicos, pues es posible realizar un aislamiento continuo por el exterior del edificio, protegiendo la hoja interior así como los cantos de los forjados; reduce el consumo energético, porque al estar ventilada favorece la evacuación del vapor de agua, proveniente tanto del interior como del exterior del edificio, manteniendo el aislamiento seco y obteniendo un mejor rendimiento de éste y por último, favorece la durabilidad del edificio al actuar, el cerramiento, de parasol y eliminar las radiaciones directas o las

inclemencias meteorológicas, protegiendo muros y forjados de la patología que afecta a los edificios construidos con sistemas tradicionales [5], [6].

Por todo ello, este tipo de fachada es considerada como la envolvente más eficaz, sobre todo en verano, y son numerosos los proyectos arquitectónicos que, en la actualidad, se resuelven con este sistema. Sin embargo, también son muchos los problemas que surgen en la ejecución de las mismas, fundamentalmente porque son muchas las posibilidades constructivas de las FV atendiendo a sus componentes. Además, otro problema, es que estas soluciones, no quedan completamente recogidas en los Documentos Básicos (DB) del Código Técnico de la Edificación-CTE. En consecuencia, gran parte de los cerramientos de FV deben ser planteados como soluciones alternativas del CTE [7] y aunque se ha encontrado algún trabajo que aborde este problema [8], en ningún caso estos trabajos consideran especialmente los aspectos de la ejecución, al ser planteamientos fundamentalmente teóricos.

En este sentido, en esta ponencia se pretende profundizar, a través del análisis de la experiencia de su puesta en obra, en la ejecución de tres fachadas ventiladas construidas en Madrid por la empresa Arpada, determinando aquellos aspectos más importantes a tener en cuenta, en general y en particular (según acabado).

## 2. METODOLOGÍA

**Fase 1:** Selección de FV ejecutadas en los últimos años por la empresa Arpada, atendiendo al proceso de ejecución.

**Fase 2:** Recopilación y análisis de toda la información constructiva aportada por el Proyecto de Ejecución y elaborada a lo largo de la ejecución de la obra.

**Fase 3:** Reuniones con los equipos de obra que ejecutaron dichas fachadas para elaborar la documentación final atendiendo a su experiencia a lo largo de la ejecución de las mismas.

Se hará especial hincapié en los problemas surgidos a lo largo de la ejecución de las FV, así como en la definición de las soluciones constructivas de los puntos críticos, ventajas, inconvenientes y consideraciones a tener en cuenta en la ejecución de casos similares.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Fase 1:** Se seleccionan tres FV, todas con un trasdosado resuelto con doble placa de yeso laminado y un aislamiento de lana de roca, pero con diferente solución portante y acabado:

FV1.  $\frac{1}{2}$  pie de Ladrillo tosco con acabado de piedra caliza sobre anclajes regulables de acero inoxidable.

FV2.  $\frac{1}{2}$  pie de Ladrillo tosco con acabado de paneles ligeros de partículas sinterizadas de gran formato sobre estructura de aluminio.

FV3. Panel composite sobre placa de cemento reforzado de gran formato sobre estructura de aluminio.

**Fases 2 y 3:** Se relacionan algunos detalles de los puntos más singulares de las fachadas analizadas, así como las consideraciones más importantes que se tuvieron en cuenta durante su ejecución.

**Fachada FV1.** Fachada realizada sobre dos edificios de 24 + 44 viviendas, baja + 4 alturas (Alcobendas).

Composición:  $\frac{1}{2}$  pie ladrillo tosco fonoresistente enfoscado con mortero hidrófugo; ais-

lamiento de lana de roca e= 50 mm (Ventirock Duo ); aplacado de piedra caliza Moca de 100x50x3 cm., de espesor con anclaje puntual. Espesor total de la fachada 29 cm.

Evidentemente, los aspectos más importantes a considerar en esta FV tuvieron que ver con el aplacado de piedra, pues en el proyecto no se describía con precisión la piedra caliza que se iba a colocar; por ello, se llevó a cabo un proceso de elección de muestras que duró mucho tiempo. En dicho proceso se valoró el aspecto de la piedra y las características técnicas de la misma (densidad, porosidad, dureza).

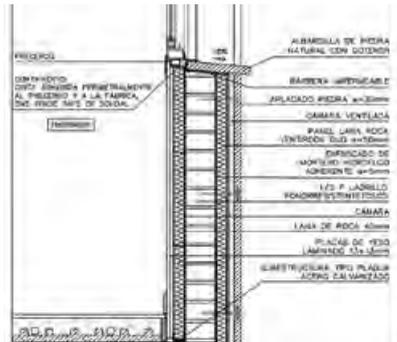


Figura 1. Sección vertical por vierteaguas de FV1.

Consideraciones para la ejecución: Tener en cuenta en el diseño y replanteo tanto las juntas horizontales como las verticales. En cuanto a la modulación es muy importante que la fachada esté lo más modulada posible, con respecto al tamaño de piedra para evitar cortes, distintos tamaños, etc.. En concreto, en esta obra, a pesar de que se consideró la modulación y el replanteo de huecos desde un principio, se realizaron varias modificaciones sobre el mismo, con el consiguiente retraso.

Con respecto al anclaje de la piedra y en el caso de no venir especificado en proyecto, se exigirá a la empresa montadora una propuesta, que debe contener cálculos y documentación técnica suficiente y que deberá aprobarse por la Dirección de Obra. Además, al hacer el taladro del anclaje es importante establecer un tope para evitar que traspase la fábrica de toco al interior y revisar la colocación de las poliamidas en el vástago para evitar la heladicidad del taladro, así como utilizar un tamiz para asegurar la correcta inyección de la resina de anclaje y además controlar los rendimientos de la misma (Figura 1).

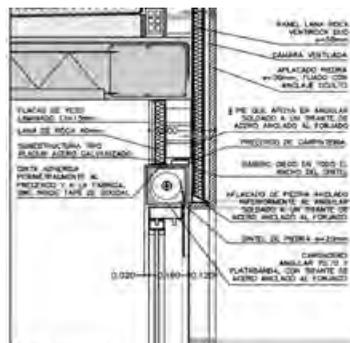


Figura 2. Sección vertical por capialzado de FV1.

Por otro lado, el enfoscado sobre la fábrica de  $\frac{1}{2}$  pie deberá ser perfectamente continuo para asegurar la estanqueidad al aire y al agua, teniendo especial cuidado en los encuentros con los elementos de la estructura, pilares, forjados, etc., y se deberá asegurar la incorporación de armadura anti fisuración en la fábrica de acuerdo al cálculo.

Otras medidas utilizadas y que se recomiendan para conseguir la estanqueidad de los huecos fueron: aplicación del sistema soudal, el cual se compone de un mortero de fijación y una banda que se adhiere al precerco, además, por el exterior se selló entre el aluminio y la banda soudal. También fue necesario colocar sobre el dintel de los huecos, previo al enfoscado del cerramiento, una chapa galvanizada con forma de Z, según detalle (Figura 2), al objeto de evitar afecciones sobre el hueco del posible agua del exterior o condensaciones, y además en el cargadero se colocó un angular para evitar que una vez aplicada la espuma no forzase el capialzado de PVC, de esta manera se consigue bajar la persiana sin entrada de aire.

Como conclusión de la ejecución de fachadas tipo FV1, comentar que requieren mucho estudio previo a su puesta en obra por su acabado “natural”, por tanto con una geometría no perfecta. Por lo que a la hora de definir la modulación es conveniente que sea lo más uniforme posible, para que en la mayor parte del cerramiento se pueda utilizar un tamaño único de pieza. Por ello, es importante colocarlo dejando pequeñas juntas tanto horizontal como verticalmente. Así mismo el mecanizado, taladros para fijación de anclajes, piezas especiales etc, se debe realizar en la medida de lo posible en la propia fábrica para evitar roturas. Por último, es importante tener en cuenta que, cuanto mayores dimensiones tengan las piedras mayor será el rendimiento de la puesta en obra de este tipo de fachadas.

**Fachada FV2.** Fachada realizada sobre dos edificios de 28 + 44 viviendas, baja + 12 alturas (Valdebebas). Composición:  $\frac{1}{2}$  pie ladrillo tosco fonoresistente enfoscado con mortero hidrófugo; aislamiento de lana de roca (60 mm); Panel de DEKTON (12 mm) de gran formato 315x145 cm sobre estructura de aluminio. Espesor total de la fachada 36 cm.

Consideraciones a tener en cuenta: La cuestión más importante a resolver en este tipo de fachadas es la modulación de las mismas, por ello y a pesar de que el Proyecto incluía planos de detalle y de replanteo de la fachada, durante el proceso de ejecución se realizó un nuevo estudio analizando los distintos elementos de su composición.

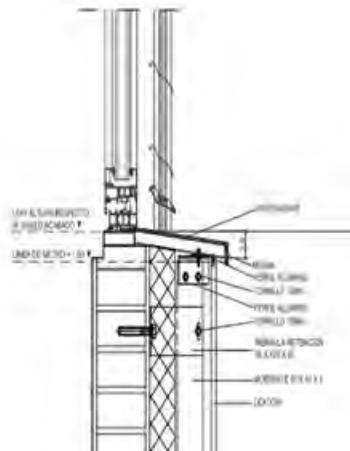


Figura 3. Sección vertical por vierteaguas de FV2.

Además se dedico especial atención al cálculo y dimensionamiento de la estructura de aluminio; la elección del sistema de anclaje con perfil continuo y los detalles constructivos en zonas singulares.

Otro problema que tuvo la resolución de esta FV fueron los huecos de fachada (Figuras 3 y 4) pues debían incorporar una persiana veneciana por el exterior de la hoja de ladrillo y un estor de oscurecimiento por el interior de la misma, obligando a situar las carpinterías de aluminio a haces intermedios de la sección del cerramiento. Para alojar estos elementos fue necesario intercalar un elemento aislante con propiedades térmicas y acústicas, de poco espesor, un “cajón túnel” compuesto por: un bloque de poliestireno expandido de alta densidad con una sección adaptada a las necesidades del hueco, con el que se consiguió aislar térmicamente la separación ext-int, y una manta adhesiva de plomo con acabado asfáltico “Geoplom” para conseguir el aislamiento acústico requerido. El acabado del “cajón” se resolvió mediante una chapa de aluminio lacado.

Por otra parte, para la elección del sistema de anclaje de los paneles DEKTON se tuvo en cuenta que el proyecto exigía un “cargadero continuo” a la altura de los dinteles de ventana y vierteaguas, por toda la fachada, eligiendo un anclaje continuo mediante ranurado, diseñándose su sección de tal forma que el mismo anclaje conformará el perfil horizontal corrido que exigía el proyecto.

Por último, la estanqueidad de la fachada se consiguió mediante el aprisionamiento de la jamba entre la fábrica de ladrillo y la carpintería de aluminio, y un sellado perimetral, rellenando con espuma de poliuretano todo el espacio entre el “cajón túnel” y el forjado (Figura 4).

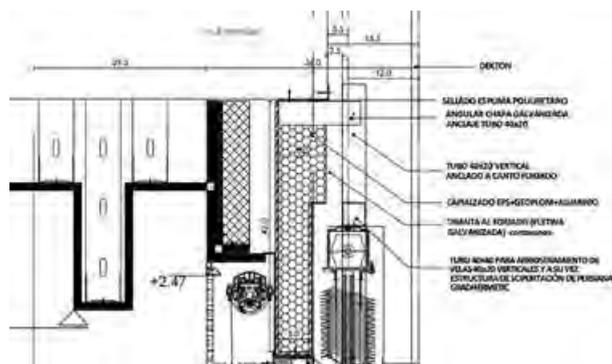


Figura 4. Sección vertical por capialzado de FV2.

Como conclusión de la ejecución de fachadas tipo FV2, esta solución de FV permite la utilización de formatos muy grandes de piezas con un material de muy poco espesor consiguiéndose un acabado de gran calidad y un gran rendimiento de puesta en obra en geometrías de fachadas sencillas. El problema principal es que las placas vienen mecanizadas de taller por lo que hay poca holgura para corregir fallos en la ejecución de la fábrica.

Por ello, se aconseja: realizar un replanteo topográfico previo a la colocación de pre marcos de la carpintería; colocar los pre marcos de suelo a techo (antes de levantar la fábrica) y utilizar despieces similares para hacer compatibles las placas en todas las plantas. Además, es aconsejable que los encuentros entre los distintos planos tengan solapes que permitan cierta tolerancia dimensional.

**Fachada FV3.** Fachada realizada sobre edificio de 15 plantas (50 viviendas) situado en Valdebebas. Composición: resuelta con placa fibrocemento (Hydropanel de 12 mm); estructura en C de acero 80\*60\*1.5 mm; 2 placas de yeso laminado; aislamiento entre placas de lana mineral de 65 mm; estructura de aluminio; aislamiento fijado mecánicamente al Hydropanel y panel EQUITONE TECTIVA TE 90 de 8 mm, fijado con remaches SFS AP14 al perfil en T. Espesor total de la fachada 27 cm (Figuras 5 y 6).

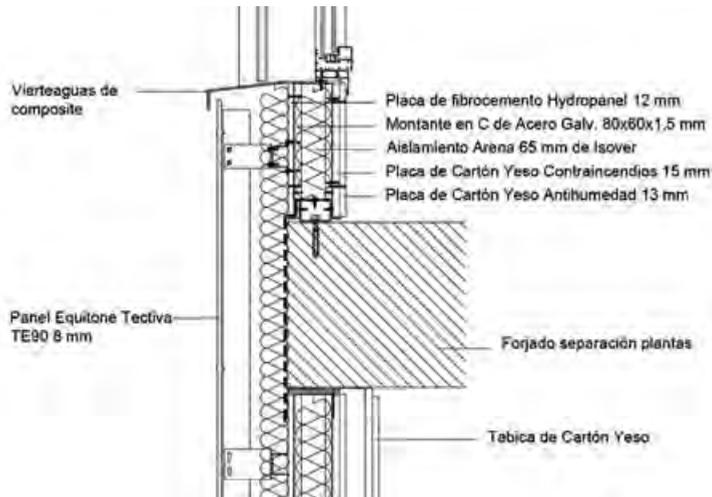


Figura 5. Sección vertical por vierteaguas de la FV3.

Esta FV tiene un planteamiento distinto a las dos anteriores puesto que la hoja soporte hace a su vez de trasdosado y no es una fábrica de ladrillo, si no que es un bastidor metálico al que se le fija una placa (Hydropanel).

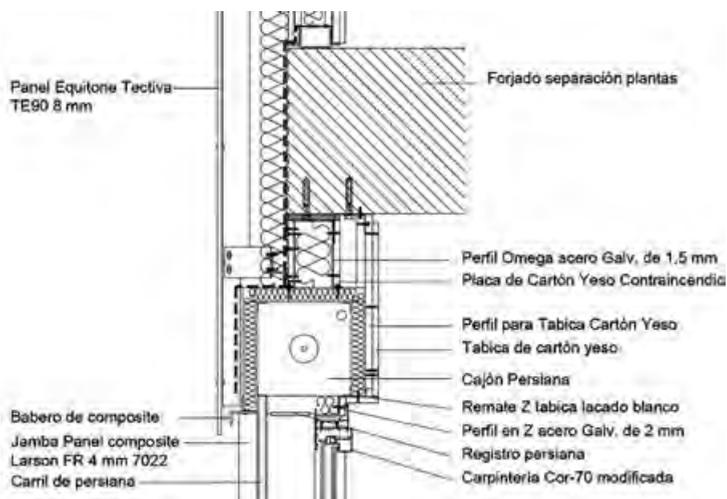


Figura 6. Sección vertical por capitalizado de la FV3.

Consideraciones para la ejecución: Al igual que en la FV2, se procedió al replanteo y toma de datos en obra para la confección de planos de montaje y posterior encaje del despiece establecido; puesta en marcha de la fabricación de la primera tanda de paneles; replanteo definitivo de huecos e inicio de montaje de bastidores (conjunto formado por estructura metálica e Hydropanel). Para ello, se realizó un replanteo de huecos de ventana y línea de tabiques. Posteriormente se fijó la estructura a la cara inferior del forjado superior y se selló con impermeabilizante; después se fijaron los casquillos a cara superior de forjado de planta, nivelándolos para posterior colocación de omegas sobre ellos (Figura 5). Inmediatamente se colocaron los bastidores, apoyados en las omegas y en las L's, fijados en su parte inferior a las omegas. Después se fijaron los bastidores sobre ventanas con los cajones de persiana, y sobre puertas (Figura 6). Todos estos bastidores se empresillaron en su parte superior con otras L's paralelas a las primeras. Por último se fijaron los bastidores bajo ventanas y puertas. Además, para asegurar la estanqueidad de la FV se dispuso entre la omega de nivelación y el bastidor una lámina impermeable transpirable que se descolgó hasta la parte inferior del forjado, solapando con el bastidor de la planta inferior. Del mismo modo el cajón de la persiana se selló contra el Hydropanel y se envolvió con la lámina impermeable transpirable.

Por último, la estanqueidad en las jambas de los huecos, se aseguró con la disposición de un perfil en "L" que monta sobre el Hydropanel y atesta contra la carpintería de aluminio, sellándose en ambos casos. Para asegurar la evacuación de posible entrada de agua o condensaciones, se dispusieron baberos de composite en la parte superior de los dinteles, posibilitando mantener la circulación de aire en la cámara ventilada.

Como conclusión de la ejecución de fachadas tipo FV3, decir que para fachadas con una geometría sencilla, homogénea y diseñada considerando la modulación del panel, es una solución de gran interés.

#### 4. CONCLUSIONES

En general, en los tres casos analizados, el proyecto de ejecución contenía memoria descriptiva, presupuesto y detalles constructivos, así como planos de replanteo de la solución de FV adoptada, pero se necesitó generar mucha más información previa y a lo largo del proceso constructivo siendo sobre todo necesario un planteamiento más pormenorizado de los planos de replanteo de fachada, sobre todo en aquellos casos donde la geometría del proyecto era más complicada.

También cabe destacar que en ninguno de los Proyectos se consideró diseñar composiciones diferentes en la fachada atendiendo a su orientación y a los vientos dominantes, no sacando mayor provecho a esta solución constructiva.

Además, se constató, en las tres fachadas que la FV es un sistema que requiere de una gran especialización por parte del instalador y que demanda un mayor control de la ejecución en obra que un cerramiento tradicional, teniendo que cuidar especialmente los detalles en los puntos singulares (encuentros y remates) y la estanqueidad del sistema. Por todo ello y sobre todo en los casos de fachadas con geometrías complicadas, los rendimientos conseguidos han sido muy inferiores a los que se producen para una fachada de tipo tradicional.

En ese sentido, se hace necesario adelantar en la medida de lo posible las actividades que se puedan ver afectadas por la FV y tratar de ejecutarlas antes de montar los andamios, así como colocar el aislamiento justo antes de ejecutar el acabado y evitar que esté mucho

tiempo expuesto a las inclemencias meteorológicas que lo puedan deteriorar.

En particular, comparando los tres sistemas estudiados, se puede concluir que las FV1 y FV3 se resuelven con espesores totales muy inferiores a la FV2 y que la fachada que menos problemas generó en su ejecución fue la FV1 de piedra caliza y la más complicada la FV3 debido, sobre todo, a la complejidad de la geometría del edificio.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Capdevila, I., Linares. E., Folch. R., “Eficiencia energética en la rehabilitación de edificios. Energía y medio ambiente”. *Guías técnicas de energía y medio ambiente*. Edit: Fundación Gas Natural Fenosa. 1ª. edición, 2012 ISBN: 978-84-616-1379-3
- [2] Available:<http://www.buildheat.eu/facades-and-heating-systems-first-challenges-for-the-build-heat-consortium/>
- [3] Available: <https://www.proyectoprende.com/>
- [4] Santa Cruz Astorqui. J., Porras Amores, C., “Ventilated facade with double chamber and flow control device”. *Energy and Buildings*. vol. 149, 15, pp. 471-482, 2017
- [5] Giancola. E., “Evaluación energética de una fachada ventilada de juntas abiertas”. Tesis doctoral en el CIEMAT, presentada en el Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas de la Universidad Politécnica de Madrid. Julio 2010.
- [6] Sanjuan Guaita. C., “Análisis termo-fluido de fachadas ventiladas de junta abierta”. Tesis doctoral realizada en el CIEMAT, presentada en la Universidad de Oviedo. Marzo, 2012.
- [7] Bento Fernández. M., “Los sistemas de cerramiento de fachadas ventiladas y el CTE”. Unidad de Calidad de Productos ITeC – Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña Available: <http://www.conarquitectura.com>
- [8] Adjemian Oria. A., “La evolución de las fachadas ventiladas. Nuevos materiales y sistemas constructivos”. TFM. ETSIE UPV.

## NUEVA ARQUITECTURA CON CUBIERTAS VENTILADAS DE TEJA

SANTIAGO MONEDERO, ELENA<sup>1</sup>; RIBAS SANGÜESA, ANA<sup>2</sup>;  
GRACIA IGUACEL, ELENA<sup>3</sup>; VALENCIANO ESTÉVEZ, JOSÉ LUIS<sup>4</sup>

<sup>1</sup> *Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. Secretaria General de Hispalyt, Madrid, España*  
*E-mail: marinavn@hispalyt.es, Web: www.hispalyt.es*

<sup>2</sup> *Ingeniera Agrónoma. Departamento Técnico de Hispalyt, Madrid, España*  
*E-mail: anars@hispalyt.es, Web: www.hispalyt.es*

<sup>3</sup> *Ingeniera Agrónoma. Departamento Técnico de Hispalyt, Madrid, España*  
*E-mail: elenagi@hispalyt.es, Web: www.hispalyt.es*

<sup>4</sup> *Hispalyt C/Orense, nº 10 2ª Planta, Oficinas 13 y 14 28020 Madrid, España*  
*E-mail: hispalyt@hispalyt.es, Web: www.hispalyt.es*

**PALABRAS CLAVE:** teja; cerámica; microventilación; eficiencia; energética.

### RESUMEN

Las cubiertas con teja cerámica permiten construir viviendas de elevada calidad aportando valor a los edificios, entre los que podemos destacar, el valor estético, la máxima eficiencia energética, la durabilidad, el mínimo mantenimiento, el confort y la habitabilidad, y la sostenibilidad.

La nueva cubierta ventilada de teja, con microventilación bajo teja y con fijación de las piezas en seco, tiene grandes ventajas frente a la cubierta tradicional, no ventilada y con fijación de las tejas con mortero, ya que evita la formación de condensaciones en las piezas cerámicas y los posibles problemas de heladicidad. La fijación en seco, se realiza mediante clavos, ganchos o clips, bien sobre soporte discontinuo (rastreles), o bien sobre soporte continuo (placas onduladas, etc.).

## 1. INTRODUCCIÓN

El 40% de la energía consumida en Europa corresponde a la edificación. La reducción de su demanda energética y una mayor utilización de energías renovables, evitan el deterioro medioambiental gracias a una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, y consigue un uso racional de la energía disminuyendo la dependencia energética.

Recientemente, las normas de edificación han experimentado un importante cambio en el ámbito relacionado con la eficiencia energética de los edificios, para adaptarlas al cumplimiento del ambicioso objetivo establecido en la Directiva 2010/31/UE de conseguir Edificios de consumo Energético Casi Nulo (EECN) para el año 2020.

De las pérdidas energéticas totales del edificio, del 25 al 30% se producen a través de la cubierta, por lo que su diseño y aislamiento térmico influye considerablemente en el comportamiento térmico del edificio.

Las cubiertas inclinadas, llevan presentes en la arquitectura desde hace de miles de años y siguen estando de total actualidad pudiendo encontrarse múltiples ejemplos de edificios de diseño entre los grandes referentes de la arquitectura moderna.

Las nuevas cubiertas inclinadas microventiladas de teja cerámica con fijación de las piezas en seco que se presentan en este artículo, minimizan las pérdidas energéticas que se producen a través de la cubierta, contribuyendo con ello a la máxima eficiencia energética del edificio.

## 2. COMUNICACIÓN

### 2.1 Teja cerámica: tipos, piezas especiales y características.

Las tejas cerámicas son elementos de cobertura para su colocación en cubiertas inclinadas. Se pueden definir como piezas obtenidas mediante prensado o extrusión, secado y cocción, de una pasta arcillosa, que se utilizan para la realización del elemento de estanqueidad de la cubierta. Dicha estanqueidad se consigue por las características del propio material, la forma de las piezas, los solapes entre ellas y su correcta colocación.

Los diseños de las tejas cerámicas han ido evolucionando desde la teja curva y la teja mixta a la teja plana, cuyas líneas rectas se ajustan a los estándares de los más innovadores diseños arquitectónicos.

La adición de aditivos y la aplicación de tratamientos superficiales (engobes, esmaltes, etc.) permiten obtener diferentes coloraciones y acabados.

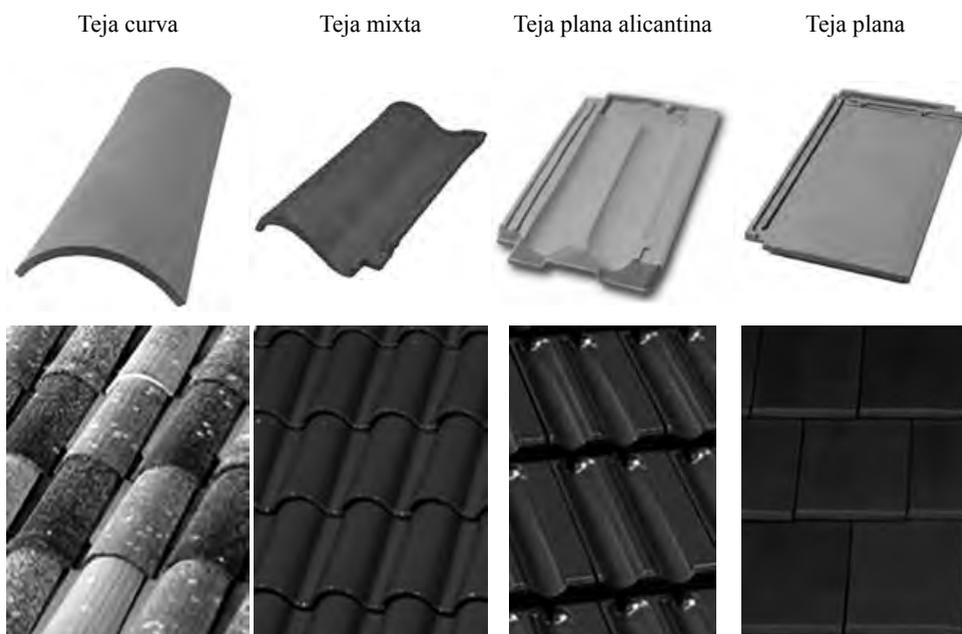


Figura 1.- Tipos de tejas.

Además de la pieza base de teja, los fabricantes disponen de piezas especiales de tejas cerámicas para resolver los puntos singulares o de discontinuidad de la cubierta, asegurando con ellas la estanqueidad, uniformidad y estética de la cubierta.

Las tejas cerámicas disponen de marcado CE, cumpliendo con todas las especificaciones técnicas definidas en la norma UNE-EN 1304 Tejas y piezas auxiliares de arcilla cocida. Definiciones y especificaciones de producto [1]. Los fabricantes de tejas someten a sus productos a rigurosos y constantes controles de calidad aportando la máxima garantía de su buen comportamiento para su uso como cobertura del edificio.

## 2.2 Nuevas cubiertas secas ventiladas con teja cerámica

Tradicionalmente el montaje de las tejas cerámicas se ha realizado empleando pastas o morteros para su fijación. Este tipo de montaje no permite la microventilación bajo las tejas, pudiendo dar lugar a la aparición de condensaciones en las piezas cerámicas, y en consecuencia, a problemas de heladicidad y mohos.

Las nuevas cubiertas microventiladas de teja cerámica eliminan el uso de dichas pastas y/o morteros, empleando en su lugar clavos, tornillos, clips, ganchos o grapas, para la fijación de las tejas, bien sobre un soporte discontinuo (rastreros), o bien sobre un soporte continuo (placas onduladas, etc.).

Los fabricantes españoles de teja cerámica ofrecen los elementos auxiliares y piezas especiales cerámicas imprescindibles para ejecutar correctamente una cubierta inclinada en seco.

A continuación, a modo de ejemplo, se recoge un esquema de cubierta microventilada con soporte discontinuo señalándose algunos de sus componentes:

1. Rastreles primarios y secundarios.
2. Encuentro de la cubierta con el paramento de la chimenea. Bandas impermeabilizantes.
3. Tejas de alero; Rastrel de alero; Peine de alero; Rejilla de alero;
4. Teja de ventilación.
5. Tejas de remate lateral.
6. Soporte de rastrel de cumbrera.
7. Teja de caballete; Taponones laterales.

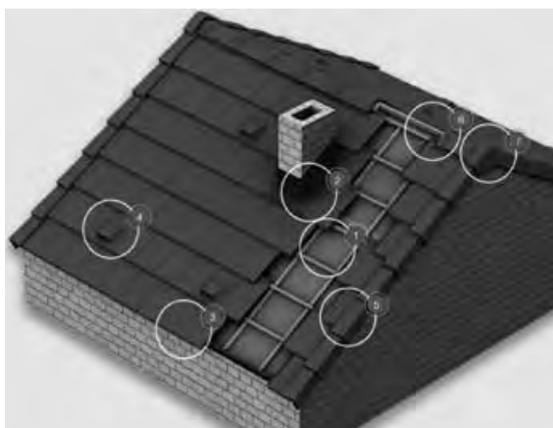


Figura 2.- Componentes de una cubierta microventilada de teja cerámica.

Este tipo de montaje permite la microventilación entre la cobertura de la teja y el soporte mediante la entrada de aire por la parte baja de la cubierta, a través del alero y las limahoyas, y su salida por la parte alta de la misma, a través de la cumbrera y las limatesas.

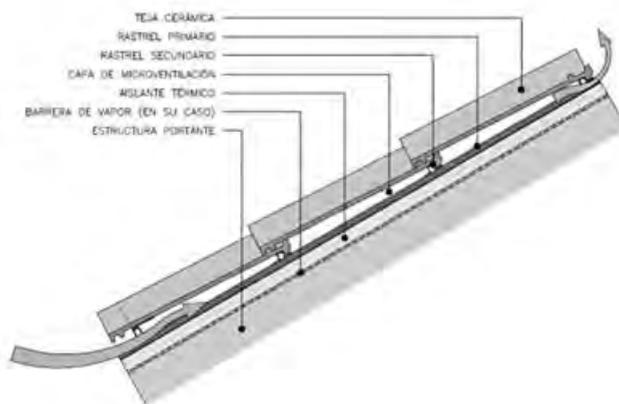


Figura 3.- Cubierta microventilada de teja cerámica.

En verano, el aire contenido entre la cobertura de teja y el soporte, al calentarse, asciende por convección hacia la salida de aire de la cumbrera y limatesas permitiendo la entrada de aire frío por el alero y las limahoyas. Esta circulación interior del aire, produce la refrigeración de la cubierta.

En invierno, el aire contenido entre la cobertura de teja y el soporte se calienta, pero no lo suficiente como para favorecer la convección, conservando el calor.

La microventilación tiene múltiples ventajas en las cubiertas de teja cerámica entre las cuales podemos destacar las siguientes:

- Amortigua los cambios de temperatura y mejora sustancialmente el comportamiento térmico de la cubierta en climas cálidos.
- Produce el secado de las tejas, evitando que la humedad quede estancada entre las tejas y el soporte y que aparezcan condensaciones, eliminando los problemas de heladicidad y mohos.
- Prolonga la vida útil del aislante térmico y de la impermeabilización.

Este tipo de cubiertas, al tener mejores prestaciones técnicas, supone una evolución con respecto a las cubiertas tradicionales, por lo que su uso es totalmente recomendable en cualquier zona de España, siendo obligatorio en zonas de clima húmedo y frío y con una altitud superior a los 700 metros, de acuerdo con las indicaciones del proyecto de norma UNE 136020 Tejas cerámicas. Código de práctica para el diseño y el montaje de cubiertas con tejas cerámicas [2].

Además de las ventajas propias de la microventilación, la fijación en seco de la teja cerámica supone una importante reducción en los tiempos de ejecución de la cubierta, con respecto a la fijación con mortero de la teja.

### **2.3 Diseño y ejecución de las cubiertas secas ventiladas**

La norma UNE 136020 [2] recoge, entre otras cosas, los criterios para el correcto diseño y ejecución de las cubiertas con teja cerámica.

En relación a los aspectos de diseño, cabe destacar el contenido de la norma en cuanto a las pendientes mínimas, y los solapes y fijación de cada tipo de teja en función de las pendientes de uso, así como la ejecución del soporte, el replanteo del faldón y la ejecución de los puntos singulares.

A continuación se exponen los elementos necesarios para la ejecución de la cubierta en seco.

#### **2.3.1 Elementos de fijación de las tejas cerámicas**

Las cubiertas secas emplean para la fijación de las tejas clavos, tornillos, clips, ganchos o grapas.

Los elementos de fijación tienen como función la sujeción de las tejas y piezas especiales al elemento de soporte, con el fin de evitar el movimiento de las mismas debido a la acción de agentes atmosféricos o animales.

La pendiente de una cubierta determina el nivel de fijación de las tejas necesario. En aleros, laterales, líneas de cumbreras, limatesas, limahoyas, encuentros con paramentos verticales y demás puntos singulares, se fijarán todas las piezas, sea cual sea el material de soporte. Para el resto de piezas, el nivel de fijación se determinará en función de la pendiente.

Los elementos de fijación deberán ser anticorrosivos teniendo siempre una duración igual a la de los restantes elementos de la cubierta, a fin de evitar el coste de las sustituciones y reparaciones.



Ganchos de fijación de las tejas curvas

Ganchos de fijación de las tejas de caballete en la cumbre

Figura 4.-Elementos de fijación.

### 2.3.2. Elementos para garantizar la microventilación bajo las tejas

Para conseguir la microventilación bajo las tejas es necesario emplear una serie de elementos auxiliares y piezas cerámicas especiales que permiten la circulación del aire entre la cobertura de tejas y el soporte.

#### Entrada de aire por el alero

Para garantizar la entrada de aire por el alero, se puede utilizar algún elemento de protección que a su vez permita la introducción de aire como son los rastres de alero en forma de peine, las rejillas de alero o las piezas especiales cerámicas de barrera de pájaros.



Rastrel de alero con peine

Rejilla de alero

Pieza de barrera de pájaros

Figura 5.- Elementos para la entrada de aire por el alero.

La limahoya también colabora en la circulación del aire para la microventilación, permitiendo la entrada de aire por la parte baja y su salida por la parte alta. En las limahoyas será necesario colocar láminas impermeables flexibles o semiflexibles, para la correcta impermeabilización en la recogida de agua de los faldones.

#### Circulación de aire interior

Debido a la diferencia de presión entre los puntos bajos (alero) y altos (cumbre) de la cubierta inclinada, la circulación interior del aire de microventilación se producirá en sentido ascendente. Cuanto mayor sea la pendiente, y por tanto, la diferencia de altura entre el alero y la cumbre, mejor será la circulación interior del aire.

Para que la microventilación sea posible se deberá dejar un espacio de circulación de aire mínimo de 20 a 40 mm entre la cara inferior de la teja y el soporte o aislante. Cuanto

mayor sea el espacio mejor, por lo que la cubierta en seco con doble rastrel (listón y rastrel) será la óptima.

Los rastreles pueden ser de distintos materiales, existiendo rastreles metálicos, de madera o de PVC.

Los rastreles deben ser perfectamente lineales y de dimensiones constantes en altura y anchura para permitir el apoyo uniforme de las tejas.



Figura 6.- Colocación de la teja sobre doble rastrel con un espacio para la microventilación de 40 mm.

Para sellar las perforaciones ocasionadas por los tornillos o clavos empleados para la fijación de los listones sobre la lámina impermeable o la barrera de vapor, se colocará cinta adhesiva debajo de los mismos, evitando así cualquier riesgo de entrada de agua.

Para garantizar la adecuada circulación del aire bajo la teja, el recorrido desde su entrada por el alero hasta su salida por la cumbre no debería exceder los 12 metros. Si este recorrido fuese superior, será necesario realizar un estudio particular de la cubierta para incrementar la microventilación, disponiendo tejas de ventilación, siguiendo las indicaciones del fabricante.



Figura 7.- Teja de ventilación.

### Salida de aire

La salida de aire de la microventilación bajo las tejas se realizará por la parte más alta de la cubierta, a través de cumbresas y limatesas.

Los componentes más habituales para permitir la salida de aire de la microventilación por cumbre y limatesas son el soporte de caballete y las bandas impermeables microperforadas.

El soporte de caballete suele ser un alzador metálico con una base para la colocación del rastrel de caballete pero también puede ser un perfil metálico con forma de rastrel.



Figura 8.- Soporte de caballete.

Las bandas impermeables microperforadas se colocan sobre el rastrel de cumbrera con el alzador metálico solapándose sobre los dos faldones. Lo ideal es que estas membranas sean flexibles, para que en el caso de las cubiertas con teja curva o mixta se puedan adaptar a las ondulaciones de la cubierta.

Estas membranas pueden ser de distintos materiales pero en todos los casos deberán ser impermeables y tener una alta resistencia a los rayos UV y al envejecimiento. Además, dichas bandas deberán ser transpirables o microperforadas para permitir la correcta aireación de la cubierta a través de la línea de cumbrera o de limatesa.

Una vez colocada la banda impermeable microperforada, se colocarán las piezas especiales de caballete y limatesa.



Figura 9.- Colocación de la banda impermeable microperforada y de las piezas de caballete.

En el caso de las cubiertas con teja curva o mixta se podrán utilizar las piezas especiales cerámicas de cuña para caballete, cuya misión es rellenar el hueco que deja la teja curva o mixta en su parte plana bajo el caballete.

## 2.4 Sostenibilidad y eficiencia energética

### Compacidad, aislamiento térmico y ventilación.

Para la misma superficie útil, una vivienda unifamiliar con cubierta inclinada es un 12,5% más compacta que una vivienda con cubierta plana.

Las cubiertas inclinadas microventiladas de teja cerámica, gracias a su compacidad, aislamiento térmico y ventilación, minimizan las pérdidas energéticas que se producen a través de la misma, mejorando el comportamiento térmico del edificio.

#### Reflectancia solar de las cubiertas. Tecnología “cool roof”

Una adecuada selección de los materiales empleados en las envolventes de los edificios puede contribuir a reducir de manera importante la temperatura de las ciudades. El empleo de “cool roof”, contribuye a reducir el efecto isla de calor urbana (ICU) y a mejorar la eficiencia energética de la cubierta reduciendo el consumo energético de los edificios para climatización en verano. España, por su alto nivel de insolación, es un país con un gran potencial de aprovechamiento de la tecnología “cool roof”.

Las cubiertas “cool roof” requieren del uso de materiales con alto índice de reflectancia solar (SRI). De acuerdo con el estudio de reflectancia solar de las envolventes opacas realizado por N. Achapar, E. Correa [3], el color es un factor fundamental en el comportamiento térmico superficial del material, pero también influyen otras características como su forma, composición, acabado y envejecimiento. Las tejas cerámicas presentan un elevado SRI permitiendo la ejecución de cubiertas “cool roof”. Por ejemplo, una teja curva roja presenta un SRI del 90 %.

#### Empleo de recursos naturales

Para que un edificio se pueda considerar sostenible, deberá ser respetuoso con el medio ambiente, aséptico, económicamente eficiente y que ahorre recursos. Para caracterizar la sostenibilidad de una edificación, es necesario cuantificar sus materiales y las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a su extracción, su transformación, su montaje y mantenimiento e incluso su reciclaje.

Las tejas cerámicas, del mismo modo que el resto de productos cerámicos, son materiales 100% naturales (tierra, fuego y agua) respetuosos con el medioambiente, y se caracterizan por tener una larga vida útil, pudiendo ser reutilizadas o recicladas.

Las tejas cerámicas españolas disponen de la Declaración Medioambiental de Producto de todo su ciclo de vida (DAP). Las DAP tienen por objeto aportar información de carácter ambiental relativa al ciclo de vida de los productos de construcción, cumpliendo con las normas de referencia ISO 14025 [4] e ISO 21930 [5].

La DAP de teja cerámica está registrada en el programa Global EPD de AENOR para acreditar y comunicar su excelencia ambiental y puede ser solicitada a los fabricantes de teja cerámica pertenecientes a Hispalyt.

#### Mantenimiento y durabilidad: Menos patologías.

Según el Análisis Estadístico Nacional sobre patologías en la edificación (2008-2013) de la Fundación MUSAAT [6], el 14,14% de las patologías provienen de las cubiertas. A su vez, del total de patologías en cubierta, el 9,71% se corresponde con patologías en las cubiertas planas y el 4,43% en las cubiertas inclinadas. Este hecho pone de manifiesto el que las cubiertas inclinadas tienen mejor comportamiento que las cubiertas planas.

En una cubierta inclinada, gracias a su pendiente, el agua se evacua del tejado de manera rápida y segura. Pero además de la inclinación, la facilidad de evacuación del agua en una cubierta está también relacionada con la fricción existente entre el fluido y el material de cubrición. En el caso particular de la teja cerámica, este parámetro resulta muy reducido

debido, por una parte, a su escasa rugosidad y, por otra, a su baja absorción, lo que elimina prácticamente las posibilidades de filtración y de estancamiento del agua en la superficie.

Una cubierta inclinada bien diseñada durará toda la vida. Esta larga vida útil se traduce en un ahorro económico para el propietario de la vivienda, que no se verá obligado a pagar periódicamente por el mantenimiento de la cubierta con el paso de los años.

### 3. CONCLUSIONES

Las tejas cerámicas españolas son reconocidas a nivel mundial por su elevada calidad y su amplia gama de productos, colores y acabados, que permiten incorporarlas a la arquitectura más contemporánea.

Los nuevos diseños de tejas unidos a las nuevas formas de montaje de las cubiertas, en seco, más industrializadas, permiten obtener soluciones de cubiertas, adaptadas a las exigencias que demanda la arquitectura moderna, con unos estándares de eficiencia energética y sostenibilidad cada vez más elevados.

Según estudios realizados por Hispalyt, en un edificio situado en una zona de clima cálido como pueda ser Sevilla, las ganancias de calor que se producen en los meses de verano a través de una cubierta microventilada de teja cerámica pueden llegar a ser hasta un 25 % inferiores que las que se producirían con una cubierta tradicional de teja sin microventilación, contribuyéndose con ello a una reducción en la demanda de refrigeración del edificio. A dicha mejora en la eficiencia energética del edificio hay que sumarle los efectos positivos de la microventilación en el mantenimiento de la cubierta, eliminando los problemas de heladicidad y aparición de mohos en la cobertura de teja, y favoreciendo la prolongación de la vida útil del aislamiento y la impermeabilización.

### 4. BIBLIOGRAFÍA

- [1] UNE-EN 1304:2006 Tejas y piezas auxiliares de arcilla cocida. Definiciones y especificaciones de producto.
- [2] Norma UNE 136020:2004 Tejas cerámicas. Código de práctica para el diseño y el montaje de cubiertas con tejas cerámicas.
- [3] Alchapar, N. y Correa, E. (2015) Reflectancia solar de las envolventes opacas de la ciudad y su efecto sobre las temperaturas urbanas. *Revista Informes de la Construcción*. Vol. 67, 540, e112. ISSN-L: 0020-0883. doi:10.3989/ic.14.131.
- [4] UNE-EN ISO 14025:2010 Etiquetas y declaraciones ambientales. Declaraciones ambientales tipo III. Principios y procedimientos.
- [5] UNE-ISO 21930:2010 Sostenibilidad en la construcción de edificios. Declaración ambiental de productos de construcción.
- [6] Fundación MUSAAT. (2013) Análisis estadístico nacional sobre patologías en la edificación. Resumen.

## ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN DE LOS ÁRIDOS RECICLADOS PROCEDENTES DE PIEZAS PREFABRICADAS PARA LA ELABORACIÓN DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL

CENALMOR SÁEZ, MARÍA DEL MAR<sup>1</sup>; ESTÉVEZ RUIZ, DANIEL<sup>2</sup>;  
GONZÁLEZ GASCA, CARMEN<sup>3</sup>; CABALLERO MONTES, JOSÉ ANTONIO<sup>4</sup>

<sup>1</sup> CPIFP Corona de Aragón, Zaragoza, España

*E-mail: mariadelmar.cenalmor@gmail.com*

<sup>2</sup> OCAICP, Zaragoza, España

*E-mail: daniel.estevez@td-management.es*

<sup>3</sup> Universidad Europea, Madrid, España

*E-mail: mcarmen.gonzalez@universidadeuropea.es*

<sup>4</sup> Universidad Europea, Madrid, España

**PALABRAS CLAVE:** árido reciclado, hormigón prefabricado, reutilización, sostenibilidad.

### RESUMEN

Los procesos de fabricación deben ser pensados y diseñados sabiendo que el material va a ser, en algún momento de su vida, reciclado y usado posteriormente como materia prima, y es por ello que debe fabricarse desde el inicio pensando en esta cualidad nueva, y si no es posible hacerlo quedará relegado por otros que si la posean. Debemos llegar al extremo de considerar los residuos como materia prima, con cualidades perfectamente válidas para poder ser empleados como tales, y cumplir con el concepto “cradle to cradle”, ya planteado en 2010 por Michael Braugant y Willian McDonough [3].

En este trabajo se plantea el uso de un árido más específico que el usado procedente de la demolición de estructuras de hormigón estudiado en contadas ocasiones [1], se plantea el

uso del árido procedente de piezas prefabricadas de hormigón que pasan a ser desechadas [2].

En las plantas de prefabricación, el residuo generado a partir de las piezas que no pasan el control de calidad llega a ser aproximadamente el 5% de la producción. Haciendo la consideración de que la producción de piezas prefabricadas en España está en torno al 22% de la producción total de hormigón, es indudable que merece la pena realizar el estudio que permita determinar la posibilidad de reutilizarlo como materia prima en la realización de nuevas piezas dentro de la misma fábrica.

Siguiendo los pasos del trabajo expuesto en el “Estudio Experimental sobre Propiedades Mecánicas del Hormigón Reciclado con Áridos Procedentes de la no Calidad en Prefabricación, desarrollado por D. Jose Ángel Pérez Benedicto. En la presente comunicación se expone como se ha procedido a la caracterización del árido procedente del machaqueo de piezas prefabricadas que no han superado controles de calidad. Cómo árido de referencia se procede a ensayar un árido calizo, como árido más comúnmente utilizado en la fabricación de hormigones. Los dos tipos de árido se analizan frente a las diferentes exigencias marcadas en la normativa vigente en España, la “Instrucción de hormigón estructural (EHE-08) según Real Decreto 1247/2008, de 18 de julio.

Tras la realización de los diferentes ensayos se concluirá que las características del árido reciclado cumplen con las exigencias establecidas con la normativa.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los residuos de construcción y demolición (RCD) fueron declarados por la Comisión europea en 1996 como “flujo de residuos prioritario” debido a su elevada tasa de producción y por su viabilidad técnica y económica de su reciclaje, sin embargo, España con una cifra de producción cercana a los 40 millones de toneladas al año, es uno de los países europeos que menos recicla, aproximadamente un 15 % de su producción frente a una media europea de más del 50 % con países como Holanda y Alemania que alcanzan el 80% y el 90% [3].

La publicación del Real Decreto 105/2008, de 1 de Febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición, y la Resolución de 20 de enero de 2009, por el que se aprueba el Plan Nacional Integrado de Residuos 2008-2015, y Planes Regionales en las diferentes Comunidades autónomas, [4] suponen el inicio de una política medioambiental orientada a la correcta gestión de residuos, estableciendo medidas para su reciclado y minimización. Este Plan persigue el objetivo de que todos los Estados miembros adopten medidas que, garanticen que antes del 2020, el 70 % de los productos no peligrosos procedentes de la construcción y demolición sean destinados a operaciones de reciclado y reutilización, en especial, se fomenta la reutilización de áridos reciclados, con la intención de que para el año 2015, se alcance el 35% de reciclado de RCD. A nivel estatal, los aspectos técnicos y medioambientales sobre el uso del árido reciclado quedan recogidos en las normativas técnicas, con la publicación de las múltiples órdenes de Ministerio de Fomento de actualización de los artículos del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para las Obras de Carreteras y Puentes (PG3) Y con la aprobación de la nueva Instrucción de Hormigón Estructural (EHE -08) suplementada con los anejos 13 y 15, basadas en la investigaciones llevadas a cabo por el proyecto RECHNOR, que concretan y subscriben el empleo del árido reciclado en la fabricación del hormigón.

En diciembre de 2010, se presenta la “Guía Española de Áridos Reciclados procedentes

de RCD". El proyecto fue liderado por el Gremio de Entidades del Reciclado de Derrivos GERD, en el que participaron, además de AITEMIN, 7 centros tecnológicos, universidades y 24 empresas de reciclado, realizando un gran esfuerzo de investigación, coordinación y experimentación directa para establecer una caracterización técnica y estandarizar el uso del árido reciclado procedente del proceso de reciclado de los residuos de construcción y demolición.

El uso de RCD para la fabricación de hormigón es muy escaso en España, aun así se ha utilizado tanto para hormigón estructural como para hormigón en masa en algunas construcciones.

## **2. DESARROLLO/METODOLOGIA**

### **2.1 Objetivo**

La finalidad de este trabajo es analizar las propiedades físicas y químicas de los áridos reciclados procedentes de la trituración de piezas prefabricadas de hormigón, para comprobar su viabilidad de uso como árido para la elaboración de hormigón estructural.

### **2.2 Procedimiento**

La obtención de las características y viabilidad del empleo de los áridos reciclados procedentes de piezas prefabricadas, para la elaboración de hormigones estructurales se ha llevado a cabo a partir de la comparación respecto a otros áridos que actualmente son usados en construcción. En el caso de este plan experimental, contrastaremos y analizaremos los resultados obtenidos a partir de una serie de ensayos prescritos en la instrucción EHE-08 artículo 28 y anejo 15 realizados a los áridos reciclados y a los áridos calizos.

Los áridos reciclados sometidos a estudio proceden de piezas prefabricadas ejecutadas con hormigones que han llevado un control de calidad en su fabricación. La misma fábrica que se encarga de la producción, es también la que posteriormente se encarga de la trituración de las piezas por lo que no existe un posible contacto externo que contamine los áridos reciclados.

El objetivo de esta investigación es la obtención de datos acerca del comportamiento de los áridos cuando son sometidos a ensayos normalizados.

Se procede a recopilar la normativa y a planificar los ensayos a realizar. Se obtiene el material y se procede al ensayo de los áridos reciclados y de los áridos calizos con lo que se podrá comparar resultados.

Una vez realizados los ensayos necesarios a los áridos se procederá a la elaboración de hormigón según las dosificaciones requeridas para la obtención de un hormigón de consistencia seca. Se fabricarán probetas con distintas proporciones de árido reciclado y árido calizo.

### **2.3 Procedencia de los áridos**

El árido reciclado procede de la trituración de piezas prefabricadas desechadas por la no calidad en su fabricación. Las piezas en cuestión tendrían un destino inicial en ingeniería civil y construcción. Estos áridos reciclados proceden de la fábrica de Tubos Borondo que

se encuentra en Valdilecha en la Comunidad de Madrid. En el laboratorio se ha realizado un cuarteo del árido reciclado para que la muestra sea lo más homogénea posible y así poder realizar una granulometría representativa de todo el árido acopiado

El árido calizo procede de la cantera de Monte Orusco, que se encuentra en Orusco de Tajuña en la Comunidad de Madrid. Figura 1.



Figura 1 Cuarteo del árido reciclado, fotografías propias..

### 1.1 Ensayos realizados

En los siguientes sub-apartados se desarrollaran los ensayos realizados a los áridos y arenas necesarios para conocer sus características. Todos los ensayos se han realizado a los áridos reciclados y para poder comparar su comportamiento o características con otro árido comúnmente más utilizado en construcción, se han realizado también ensayos a la caliza.

Todos los ensayos se han realizado siguiendo lo dispuesto en las normas de ensayo.

Los ensayos realizados para el estudio de áridos son los siguientes:

- Granulometría
- Módulo granulométrico
- Terrones de arcilla
- Partículas blandas
- Resistencia al desgaste de la grava
- Densidad y absorción de agua
- Partículas de peso específico  $< 2 \text{ g/cm}^3$
- Resistencia a la helada
- Coeficiente de forma
- Cantidad de mortero adherido
- Desclasificados del hormigón
- Finos que pasan por el tamiz 0,063 mm

A continuación en la Tabla 1, se exponen los resultados obtenidos tras la realización de los ensayos enumerados en el apartado anterior al árido reciclado y al árido calizo.

Tabla 1

Ensayos realizados	Árido reciclado resultados	Árido calizo resultados	Prescrito EHE-08 Árido grueso
Densidad $\rho_a$ (g/cm <sup>3</sup> )	2,64 (24h sum) 2,68 (10' sum)	2,77	2
Densidad $\rho_{rd}$ (g/cm <sup>3</sup> )	2,29(24h sum) 2,35(10' sum)	2,68	2
Densidad $\rho_{ss}$ (g/cm <sup>3</sup> )	2,42(24h sum) 2,47(10' sum)	2,71	2
Granulometría (mm)	4/12,5	4/12,5	-
Absorción de agua (%)	5,74 (24h sum) 5,42 (10' sum)	2,17	5% - 100 %AR 7% - <20%AR
Módulo (%) granulométrico	6,4	6,7	-
Terrones de arcilla (%)	0,20	0,10	0,25
Partículas blandas (%)	3	-	5
Ensayo de impacto SZ (%)	8.86	9,28	-
Resistencia helada (%)	13,5	-	18
Coefficiente de forma (%)	6	4	35
Mortero adherido (%)	40	-	-
Finos tamiz 0,063mm (%)	1,1	0,5	1

### 3. CONCLUSIÓN

Según los datos obtenidos en los diferentes ensayos se observa como los áridos reciclados cumplen todos los parámetros marcados en la EHE-08, salvo la absorción de agua.

Como conclusión más relevante del procedimiento experimental realizado hay que resaltar que según establece la norma EHE-08. Esta limita el uso de árido reciclado en hormigones en un 20% debido a la absorción de agua, en nuestro ensayo los áridos reciclados alcanzan un 5,7%, por lo que sobrepasa el 5% prescrito en la EHE-08. Sin embargo existen normativas Europeas que superan el % a valores del 7%, favoreciendo el uso del árido reciclado para la fabricación de hormigón estructural.

Por otra parte se debe tener en consideración que la calidad de los áridos reciclados mejora considerablemente si estos son sometidos a un proceso de lavado que elimine los finos adheridos a la superficie de las partículas reduciendo la demanda de agua a la hora de fabricar hormigón.

Cabe destacar que la calidad del árido reciclado aumenta a medida que disminuye la cantidad de mortero adherido, por lo que resulta interesante cualquier línea de investigación una solución o propuesta de mejora para la eliminación de mortero. Una forma es la trituración del árido que cuanto más agresiva sea, más mortero eliminará y más se parecerá el árido reciclado a su respectivo árido natural o de machaqueo.

Este estudio promueve la utilización de los áridos reciclados ensayados dada la mayor calidad de los áridos reciclados procedentes de prefabricados de hormigón, por su granulometría muy seleccionada del árido y la ajustada relación agua-cemento.

No existe mucha información sobre áridos procedentes de piezas prefabricadas, siendo casi toda la información de RCD.

#### **4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- [1] Aguilar Rondón Julio, Mendoza D Nieves, Fuertes Ricardo Huete, González Begoña Blandón, Gilmore A. Terán, Ramírez RP. “Caracterización del hormigón elaborado con áridos reciclados producto de la demolición de estructuras de hormigón”. *Materiales de construcción* 2007(288):5-15.
- [2] Jose Angel Pérez Benedicto. “Estudio Experimental sobre Propiedades Mecánicas del Hormigón Reciclado con Áridos Procedentes de la no Calidad en Prefabricación. Junio 2011
- [3] Michael Braungart y William McDonough. “De la cuna a la cuna “ (Cradle to Cradle).
- [4] Asociación Española de Gestores de Residuos de Construcción y Demolición. GERD.” *Guía Española de Áridos Reciclados Procedentes de residuos de construcción demolición RCD*”; 2010.
- [5] Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. CEDEX. “Ficha técnica sobre residuos de la construcción y demolición. 2010”.
- [6] Domingo A., Lázaro, C., Gayarre, F., Serrano M. y López-colina C. “Long-term deformations by creep shrinkage in recycled aggregate concrete” *materials and structures*”, 2009.

## ANÁLISIS DE LA VALIDEZ DEL CTE PARA EL DISEÑO DE ELEMENTOS DE RECOGIDA DE AGUA DE LLUVIA EN TEJADOS SINGULARES

RUIZ LOZANO, OSCAR<sup>1</sup>; RUSSO, BENIAMINO<sup>2</sup>

<sup>1</sup> EUPLA, La Almunia de Doña Godina, España

E-mail: [oruiz@unizar.es](mailto:oruiz@unizar.es), Web: <http://eupla.unizar.es/>

<sup>2</sup> EUPLA, La Almunia de Doña Godina, España

E-mail: [brusso@unizar.es](mailto:brusso@unizar.es), Web: <http://eupla.unizar.es/>

**PALABRAS CLAVE:** Cambio climático, CTE, drenaje, tejados

### RESUMEN

El Código Técnico de la Edificación (CTE) define las dimensiones de los elementos que permiten la evacuación de las aguas pluviales de los edificios. Sin embargo, las condiciones especiales de las cubiertas y los tiempos de concentración reducidos de estas superficies provocan que el diseño obtenido siguiendo las indicaciones del CTE resulte insuficiente para recoger adecuadamente la escorrentía producida en los tejados. Las experiencias obtenidas en este sentido demuestran la insuficiencia del diseño generado mediante el CTE, siendo su efecto más evidente cuanto mayor es la superficie de la cubierta. Los cálculos realizados muestran los valores a considerar en el diseño de estas cubiertas con el objetivo de que la escorrentía producida no constituya un problema durante los episodios de precipitación de mayor intensidad, teniendo en cuenta, además, que la frecuencia de estos episodios podría verse incrementada por los efectos del cambio climático en nuestro país.

## 1. INTRODUCCIÓN

El Código Técnico de la Edificación (CTE) define las dimensiones mínimas de los elementos constituyentes de la evacuación de las aguas pluviales de los edificios. Los técnicos utilizan las dimensiones recogidas en el CTE con la confianza de que el contenido de la norma proporcionará la seguridad necesaria a la instalación frente a las inundaciones. Sin embargo, las experiencias recientes muestran que edificaciones industriales perfectamente diseñadas según el CTE, tienen problemas de evacuación de aguas con una frecuencia superior a la razonable para una empresa. La problemática aumenta cuanto mayores son las dimensiones del tejado, donde el vertido al exterior no sirve como aliviadero para el exceso de caudal. En el presente artículo, se van a comparar los cálculos de referencia del CTE con los cálculos fruto de la hidrología clásica, incluyendo las consideraciones propias del cambio climático. Los cálculos mostrarán la insuficiencia del CTE para estimar las dimensiones del drenaje.

## 2. CÁLCULO DEL DRENAJE DE CUBIERTAS SEGÚN EL CTE

Se resume, a continuación, la metodología de cálculo del CTE para el drenaje de cubiertas, todas las fórmulas, tablas y gráficos, mostradas a continuación, se han obtenido del propio CTE. El Código Técnico de la Edificación [1] incluye el Documento Básico HS Salubridad (Higiene, salud y protección del medio ambiente) que tiene por objeto establecer reglas y procedimientos que permitan cumplir las exigencias básicas de salubridad. Las secciones de este Documento Básico se corresponden con las exigencias básicas HS1 a HS5. La correcta aplicación de cada sección supone el cumplimiento de la exigencia básica correspondiente. La sección HS5, Evacuación de aguas, hace referencia a la instalación de evacuación de aguas residuales y pluviales en los edificios incluidos en el ámbito de aplicación general del CTE. Esta sección HS5 es la de aplicación al presente artículo, y en particular, el apartado 4.2 que hace referencia al Dimensionado de la red de evacuación de aguas pluviales y sus correspondientes apéndices.

El primer paso para la aplicación del CTE es la **determinación de la precipitación de diseño**, para ello se debe emplear la “Figura B.1” del apéndice B al HS5, dicha figura se presenta a continuación.



Figura 1: “Figura B.1” del CTE, Mapa de isoyetas y zonas pluviométricas.

Situando sobre la figura anterior la ubicación del edificio a calcular obtenemos una zona pluviométrica y una isoyeta, que se introducen en la “Tabla B.1” para conseguir la intensidad pluviométrica de diseño. La Figura 2 corresponde a la “Tabla B.1” del CTE.

isoyeta	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Zona A	30	65	90	125	155	180	210	240	275	300	330	355
Zona B	30	50	70	90	110	135	150	170	195	220	240	265

Figura 2: “Tabla B.1” del CTE, Intensidad Pluviométrica i (mm/h).

Por ejemplo, la figura muestra que Zaragoza se encuentra en la zona pluviométrica A y en las cercanías de la isoyeta de valor 30, por lo que, según la Figura 2, se establece una precipitación de 90 mm/h.

El canalón de recogida de agua se diseña en función del apartado 4.2.2 del citado HS5. La tabla 4.7, incluida como Figura 3, determina el diámetro nominal del canalón semicircular de recogida de agua en función de la superficie de cubierta recogida por el canalón y pendiente del mismo para una precipitación de 100 mm. Si la precipitación de diseño es distinta de 100 mm, el valor extraído de la tabla se multiplica por el cociente entre la intensidad de diseño obtenida anteriormente y dicho valor. El articulado indica que en el caso de que la sección del canalón no fuera semicircular se debe considerar una sección equivalente un 10% superior.

Máxima superficie de cubierta en proyección horizontal (m <sup>2</sup> )				Diámetro nominal del canalón (mm)
Pendiente del canalón				
0.5 %	1 %	2 %	4 %	
35	45	65	95	100
60	80	115	165	125
90	125	175	255	150
185	260	370	520	200
335	475	670	930	250

Figura 3: “Tabla 4.7” del CTE, Diámetro del canalón para un régimen pluviométrico de 100 mm/h.

Como se puede estimar fácilmente con unos rápidos cálculos, la “Tabla 4.7” del CTE se ha generado a partir de la fórmula de Manning [2], formulación usada habitualmente para el cálculo de canales y conducciones en lámina libre.

El siguiente elemento a considerar son las bajantes. La superficie equivalente que es capaz de desaguar cada bajante se establece en la “Tabla 4.8” del HS5 del CTE (Figura 4).

Superficie en proyección horizontal servida (m <sup>2</sup> )	Diámetro nominal de la bajante (mm)
65	50
113	63
177	75
318	90
580	110
805	125
1.544	160
2.700	200

Figura 4: “Tabla 4.8” del CTE, Diámetro de las bajantes de aguas pluviales para un régimen pluviométrico de 100 mm/h.

### 3. MÉTODO HIDROLÓGICO PARA EL CÁLCULO DE LA CUBIERTA

En este apartado se realizan los mismos cálculos a partir de los métodos hidrológicos e hidráulicos más comunes, considerando la ciudad de Zaragoza como punto de comparación para ejemplificar las diferencias. En primer lugar, para realizar el análisis de los datos de lluvia se van a tener en cuenta las curvas IDF correspondientes a la estación pluviométrica 9434 [3] de la cual se han extraído los datos. Dichas curvas se obtienen de la publicación “Curvas de intensidad-duración-frecuencia” del Ministerio de Medioambiente, y en ellas se representan las intensidades máximas de precipitación para diferentes periodos de retorno y diferentes intervalos de duración.

ESTACIÓN		Ind: 9434	Nombre: Zaragoza aeropuerto		Intensidades Máximas (mm./h.)					
Parámetros del ajuste		Intervalo (minutos)	Periodos de retorno (años)							
K	$\alpha$		2	5	10	25	50	100	200	500
20.02	0.637	5	42	67	85	112	133	157	182	218
30.52	0.935	10	35	52	66	85	100	117	134	160
41.44	1.259	15	29	43	53	68	80	93	106	125
40.33	1.429	20	25	37	47	59	70	81	93	110
40.59	1.796	30	20	30	37	47	56	65	74	87
33.05	0.265	60 (1 h.)	12.6	19	23.7	30.6	36	42	48.2	57.2
39.44	0.455	120 (2 h.)	7.9	11.7	14.5	18.6	21.8	25.3	29	34.3
35.09	0.571	180 (3 h.)	6	9	11.2	14.4	16.9	19.6	22.6	26.9
45.93	1.001	360 (6 h.)	3.8	5.5	6.9	8.8	10.3	11.9	13.6	16
45.9	1.812	720 (12 h.)	2.3	3.5	4.3	5.4	6.4	7.4	8.4	9.9

Figura 5: Imagen correspondiente a los valores de la estación pluviométrica 9434, obtenida de “Curvas de intensidad-duración-frecuencia” del Ministerio de Medioambiente.

Si fijamos la duración en 5 minutos, los 90 mm/h de diseño del CTE quedarían ligeramente por encima del periodo de retorno de 10 años. Un estudio más moderno de las series de datos de precipitaciones ha obtenido valores similares a estos, pasando de 85 a 86,1 mm/h para 5 minutos y periodo de retorno 10 años [4]. Este valor puede considerarse bajo para instalaciones industriales cuyos procesos sean susceptibles de dañarse ante la presencia de agua, la experiencia en los últimos años es exigencias en el diseño entre 30 y 200 años entre las empresas que presentan solicitudes en este sentido. Empleando el método del “Máximas lluvias diarias en la España Peninsular” del Ministerio de Fomento [5], Zaragoza está dentro las isolíneas de 0,4 y 43. Estos valores se corresponden con una precipitación diaria incluida en la siguiente tabla:

Tabla 1: Precipitación máxima diaria a partir de las isolíneas del Máximas lluvias diarias en la España Peninsular.

T	2	5	10	25	50	100	200	500
Cv=0,4	0.909	1.247	1.492	1.839	2.113	2.403	2.708	3.128
Pd	39.087	53.621	64.156	79.077	90.859	103.329	116.444	134.504

A partir de estos valores se puede calcular la intensidad de precipitación de diseño en función del tiempo de concentración utilizando la metodología contenida en la norma 5.2 - IC drenaje superficial del Ministerio de Fomento [6]. El tiempo de concentración es “el tiempo mínimo necesario desde el comienzo del aguacero para que toda la superficie de la cuenca esté aportando escorrentía en el punto de desagüe” [6]. El tiempo de concentración ( $t_c$ ) en superficies donde el flujo del agua de escorrentía es difuso, como en una superficie plana o un tejado, se calcula con la siguiente fórmula (1):

$$t_c = 2 \cdot L^{0.408} n^{0.312} J^{-0.209} \quad (1)$$

Donde  $t_c$  es el tiempo de concentración (minutos),  $L$  la longitud recorrida por la escorrentía en la superficie plana en metros,  $n$  es el coeficiente adimensional de flujo difuso [6], y  $J$  la pendiente media en tanto por uno.

Un ejemplo real de una instalación industrial, del tipo al que se dirige este artículo, se trataría de una cubierta tipo sándwich, con el 6% de pendiente, un canalón central recibe el agua de dos vertientes: 30 m a un lado y 40 m al otro. La longitud total de la nave es de 180 m, por lo que la superficie total de cubierta que vierte al canalón central es de 12.600 m<sup>2</sup>. En estas condiciones, el tiempo de concentración de la cuenca formada por la cubierta hasta el canalón, no alcanza los 5 minutos, 3.5 y 4 minutos respectivamente, aunque vamos a tomar este valor para comparar con los resultados anteriores, las intensidades obtenidas para 5 minutos están incluidas en la tabla 2.



Figura 6: Imagen del tejado citado.

Tabla 2: Intensidades de diseño obtenidas de las Máximas lluvias diarias en la España Peninsular y de la norma 5.2 IC.

T	2	5	10	25	50	100	200	500
It (mm/h)	58.6	80.4	96.3	118.6	136.3	155.0	174.7	201.8

Estos nuevos valores, referidos a una lluvia constante de duración 5 minutos son superiores a los contenidos en la publicación del Aemet [3] para periodos de retorno bajos y ligeramente inferiores para los altos, si los comparamos con el valor obtenido del CTE, la intensidad de diseño del mismo estaría ligeramente por debajo del periodo de retorno de 10 años. Sin embargo, la realidad de las precipitaciones es ligeramente distinta, no tienen una intensidad constante, la variación de la intensidad de precipitación a lo largo de un aguacero presenta una curva con un ascenso y un descenso, caracterizada de forma simplificada como un triángulo en la mayoría de las metodologías [7]. Si creamos una lluvia de forma aproximadamente triangular, con una metodología clásica como el método de los bloques alternados en el cual escogemos un intervalo de tiempo para cada bloque de un minuto, obtenemos una intensidad punta dentro de la precipitación de 5 minutos recogida en la siguiente tabla 3. Aunque es cierto que la fiabilidad de las curvas Intensidad Duración Frecuencia (IDF) desciende para duraciones tan cortas (menos de 5 minutos) por la falta de registros de datos históricos y errores asociados a los equipos de medida, no cabe otra opción en casos de tener unos tiempos de concentración muy bajos como es el caso de cubiertas de viviendas y edificios industriales.

Tabla 3: Intensidades punta de diseño obtenidas de las Máximas lluvias diarias en la España Peninsular y de la norma 5.2 IC por el método de bloques alternados con un minuto de espaciamiento.

T	2	5	10	25	50	100	200	500
It (mm/h)	115.2	158.0	189.1	233.0	267.8	304.5	343.2	396.4

Se puede apreciar que la intensidad ha doblado su valor respecto a la tabla 2. Este incremento no es significativo en tejados de dimensiones habituales pues, aunque la intensidad es alta, el volumen de agua producido en ese minuto es pequeño, sin embargo, en tejados de grandes complejos industriales o comerciales, puede desbordar los sistemas de recogida. En el tejado que anteriormente hacíamos referencia, esta intensidad produce un caudal de 553 l/s para un periodo de retorno de 10 años, que excede la capacidad del canalón como veremos más adelante, aunque se haya dividido en tramos dentro del rango previsto por el CTE. No podemos olvidar que estos valores se producen para periodos de retorno relativamente bajos, y que los valores obtenidos por otros métodos no superan los 316 l/s para el mismo periodo de retorno. Los caudales han sido obtenidos con el software EPA Storm Water Management Model (SWMM).

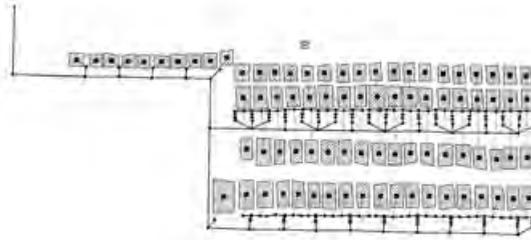


Figura 7: Modelo SWMM del tejado tratado en el texto.

El cambio climático en España según los estudios del Aemet [8], puede producir una disminución de las precipitaciones anuales pero un incremento alrededor del 3% con una incertidumbre del 5% de la intensidad en las precipitaciones extremas, considerando como precipitaciones extremas en [8] los eventos que superen el periodo de retorno de 20 años. En este documento [8] sólo se ha evaluado el escenario A1B entre todos los posibles. Otros países están manejando incrementos superiores, del 5, 10 o, incluso, más del 25% en el incremento de su intensidad de diseño a causa del cambio climático.

En conjunto, estamos obteniendo un incremento en los caudales a considerar del 80%, lo cual es extrapolable a otros casos, como otro complejo industrial con una nave de 9.850 m<sup>2</sup>, con problemas similares al que empleamos como ejemplo. Precipitaciones del orden de 35 - 40 mm en apenas 25 - 30 minutos empiezan a detectarse cada dos - tres años, es decir, con una frecuencia muy superior a la prevista por el análisis estadístico.

Por otro lado, el agua que cae sobre el tejado es recogida por el canalón de cubierta en toda su longitud y de forma continua. El CTE utiliza la fórmula de Manning en el cálculo del canal que constituye el canalón, como se ha comentado anteriormente, por tanto, asume que el caudal se incorpora al inicio del canal. Esto podría parecer que está del lado de la seguridad, pero en realidad, no es así. Las turbulencias creadas por la caída del agua del tejado sobre el caudal circulante en el canalón producen una reducción de su capacidad hidráulica que pueden llegar al 20%. Además, las turbulencias creadas por la incorporación lateral pueden producir elevaciones de la lámina de agua por encima del borde del canalón, aunque su capacidad hidráulica no se haya agotado.

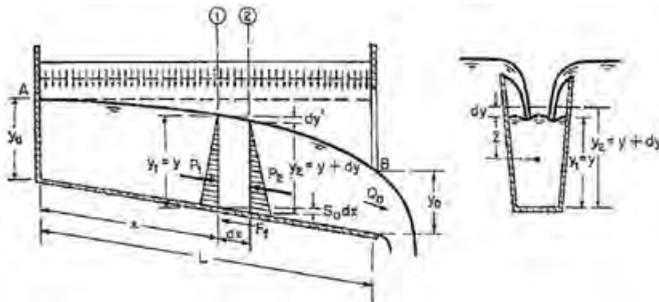


Figura 8: Esquema de cálculo del nivel del agua para un flujo espacialmente variado [9] en el cual a las pérdidas hidráulicas por rozamiento continuo del flujo con las paredes hay que sumar las pérdidas de impacto producidas por las incorporaciones de los caudales laterales al canalón.



Figura 9: Turbulencia sobre el canalón por la entrada lateral de agua.

Finalmente, la conexión entre el canalón y la bajante no siempre recibe la atención suficiente por el diseñador. Nos hemos encontrado bajantes que sobresalen en el canalón, reducciones en la conexión, paraglavas que eliminan prácticamente la sección útil, etc. El paso del agua desde el canalón a la bajante siempre será formando un crítico. Al formarse un régimen crítico en la transición desde el flujo cuasihorizontal del canal al flujo vertical de la bajante, la hidráulica nos dice que el calado en la zona de transición está directamente relacionado con el caudal, los impedimentos anteriormente comentados, provocarán sobreelevaciones del agua que afectarán a la capacidad hidráulica del canalón. Las precipitaciones producidas sobre la nave que sirve de hilo conductor para este artículo desbordaron el canalón con una precipitación dentro de los teóricos márgenes del CTE, mientras que el cálculo hidrológico del tejado y el modelo SWMM representaron la realidad de los desbordamientos.

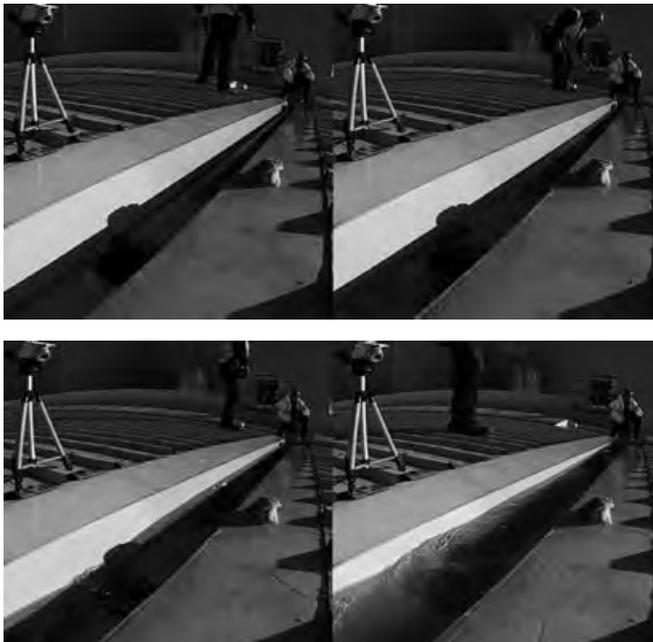


Figura 10: Distintas fases de llenado y efecto de la turbulencia sobre el canalón por la entrada lateral de agua.

La norma UNE-EN 12056-3 recomienda que la conexión entre canalón y bajante se realice como en la siguiente figura 11, que evita los problemas comentados anteriormente.

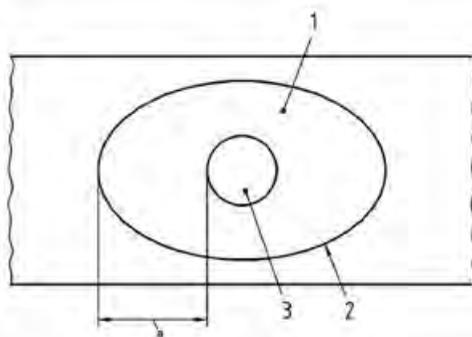


Figura 11: Definición de la conexión entre canalón y bajante según UNE-EN 12056-3.

Una vez que el agua haya entrado en la bajante no se han acabado los problemas. Cumplir con el diámetro mínimo no es suficiente para garantizar el flujo correcto del agua si se añaden múltiples conexiones o tramos de colectores sin pendiente. Aunque estas cuestiones entran más en la categoría de buenas prácticas que en el contenido del CTE.

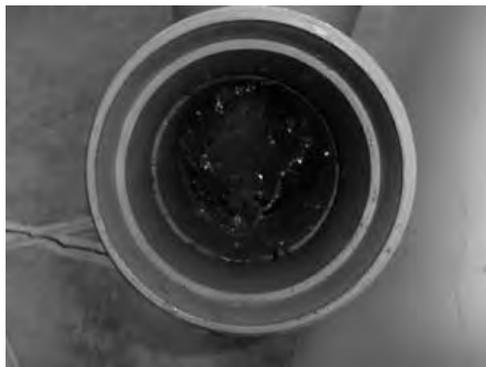


Figura 12: Bajante saturada por una incorrecta conexión de los colectores que unen varios sumideros del canalón en una única bajante.

#### 4. CONCLUSIONES

La principal variable del cálculo del drenaje de un tejado es la precipitación. El estudio de la precipitación nos descubre que la intensidad máxima probable es del orden del doble que la considerada en el CTE. Esto requiere necesariamente unos elementos de recogida y transporte superiores a los exigidos por la normativa. Esto es especialmente importante si el canalón de recogida se encuentra en el interior del tejado en lugar del exterior.

Una serie de buenas prácticas no incluidas en la normativa influyen mucho en el funcionamiento del sistema: una adecuada conexión canalón – bajante, dotar de pendiente a los colectores, cuidar las conexiones de los colectores a las bajantes,... y, también, dotar de medidas de seguridad al canalón, como gárgolas.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] REAL DECRETO 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.
- [2] Russo, B.; Gómez, V. (2014). *Diseño de sistemas de sumideros en medio urbano*. Barcelona: MCHARLY.COM
- [3] Curvas de intensidad, duración, frecuencia de la precipitación en España. (2003). [CD-ROM] Instituto Nacional de Meteorología, Secretaría General Técnica, Centro de Publicaciones del Ministerio de Medio Ambiente.
- [4] Garijo, C. (2015). Depósito de retención de sólidos en el Bº de Juslibol. (Trabajo Fin de Grado). EUPLA, Universidad de Zaragoza, España.
- [5] Máximas lluvias diarias en la España Peninsular. (1999). Secretaría de Estado de Infraestructuras y Transportes. Dirección General de Carreteras. Ministerio de Fomento.
- [6] Orden FOM/298/2016, de 15 de febrero, por la que se aprueba la norma 5.2 - IC drenaje superficial de la Instrucción de Carreteras.
- [7] Gómez, V., (2008). *Curso de Hidrología Urbana*. Barcelona: Distribuidora Alfambra de Papelería S.L.
- [8] Mestre, I.; Casado, M.J.; Rodríguez, E. (2015). *Tendencias observadas y proyecciones de cambio climático sobre España. Capítulo 2* en Herrero A & Zavala MA (eds). *Los Bosques y la Biodiversidad frente al Cambio Climático: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación en España*. MAGRAMA. 87 -98.
- [9] Chow, V.T., Maidment, D.R., & Mays, L.W. (1994). *Hidrología Aplicada*. Santafé de Bogotá, Colombia: McGraw-Hill Interamericana S.A.

**PROCESO DE IMPLANTACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM EN LA  
ESCUELA POLITÉCNICA DE LA ALMUNIA DE DOÑA GODINA**

SALANOVA SERRANO, JOSÉ ÁNGEL  
*EUPLA, La Almunia de Doña Godina, España*  
*E-mail: joseangelsalanova@gmail.com*

**PALABRAS CLAVE:** EDUCACIÓN, FORMACIÓN, UNIVERSIDAD, CULTURA DEL CAMBIO, BIM.

**RESUMEN**

La Escuela politécnica de La Almunia, centro adscrito a la Universidad de Zaragoza, al igual que otros centros universitarios, comienza a implantar la metodología BIM en el curso 2016/17. Este complejo proceso tiene su origen en la recomendación del uso de la metodología BIM en los proyectos financiados con fondos públicos a partir de abril de 2016 y la obligatoriedad de su transposición, por parte de los países miembros, de la Directiva 2014/24/UE sobre contratación pública que establece la necesidad de emplear sistemas electrónicos (medios de comunicación y herramientas para modelar los datos del edificio) en procesos de contratación de obras, servicios y suministros a partir de septiembre de 2018.

Esta comunicación trata de explicar las acciones de integración que se vienen realizando desde entonces, y que contemplan los tres aspectos principales de la metodología BIM: herramientas, metodologías y personas. Entendiendo por herramientas todos aquellos equipamientos de software y hardware, incluyendo equipos informáticos, dispositivos móviles, etc. Por metodologías, a la interacción entre estas herramientas y los alumnos que van a usarlas, dicho de otro modo, el método de uso de las herramientas. Y, por supuesto, a los profesores y alumnos porque son las que van a utilizar estas herramientas y metodologías, y es donde se pueden producir los posibles rechazos.

Se pretende con esta comunicación reforzar la postura decidida de este centro politécnico a iniciar el cambio y la inclusión de las competencias específicas BIM en sus programas de grado de Arquitectura Técnica e Ingeniería Civil como una forma de atender a las necesidades del sector de la construcción actual, y proporcionarle el tejido de profesionales, técnicos e investigadores que necesita ya actualmente para que se pueda llevar a cabo una digitalización profunda del sector que aumente su productividad con egresados formados metodologías y tecnologías actuales que consigan una industrialización de la construcción completa.

## 1. INTRODUCCIÓN Y CONTEXTO

La Escuela politécnica de La Almunia, EUPLA, centro adscrito a la Universidad de Zaragoza que este año cumple su 50 aniversario, imparte la titulación de Arquitectura técnica, con sus distintas denominaciones, desde 1998 y la de Obras públicas, ahora ingeniería Civil, desde 2005. Durante todo este tiempo, muchos han sido los profesores y alumnos que han pasado por estos ahora denominados Grados, y como todas las escuelas de Ingeniería, la EUPLA se ha tenido que adaptar y evolucionar hacia un espacio tecnológico del que hoy nadie puede abstenerse. Pero, antes de abordar las particularidades de la propia escuela, entendamos el contexto del sector:

En los últimos años, la crisis financiera que afectó a todos los sectores industriales, y en gran medida al sector de la Arquitectura, ingeniería y construcción, ha puesto de manifiesto, no solo las deficiencias estructurales del sector de la construcción, sino las del sistema educativo que está detrás y es ahora cuando se afrontan estas deficiencias buscando soluciones innovadoras y un tanto revolucionarias que trasladen y repliquen otros modelos productivos a la construcción y a la formación de sus técnicos.

En el sector AEC (Arquitectura, ingeniería y construcción), a lo largo de los años, la complejidad de los proyectos ha ido en aumento y, por lo tanto, la cantidad de personas participantes para poder desarrollarlos también ha crecido, fomentada, entre otras razones, por la tecnología existente al alcance para poder llevarlos a cabo.

Una de las tecnologías informáticas que revolucionaron el sector de la arquitectura y construcción fue la tecnología CAD (computer aided design), ampliamente utilizada hasta día de hoy, y que fue desarrollada con el nombre de *Sketchpad* a raíz de una Tesis doctoral "*A Machines Graphics Communications System*" de Ivan Sutherland en 1962 en el MIT.

Actualmente, estamos asistiendo a la que viene a ser la segunda gran revolución del sector, la metodología BIM (Building Information Modeling), instada a su Implementación por el parlamento europeo a los países miembros para modernizar las normativas de contratación y licitaciones públicas.

El Modelado de Información para la Edificación/Construcción o BIM por sus siglas en inglés (Building Information Modeling) es una metodología de trabajo integrada en la que se unen, en un modelo virtual, elementos con información paramétrica y se controlan los procesos de diseño, construcción y operación, de un cierto proyecto, durante sus distintas etapas de desarrollo. Es un proceso en que se genera y principalmente administra una base de datos centralizada, una virtualización de la obra con la información necesaria que optimiza la manera de crear y gestionar el proyecto durante toda su vida útil.

La EUPLA, como centro de formación universitaria superior que es, ese encuentra fuertemente ligado a la empresa y a las necesidades sociales profesionales lo que provoca una

constante evolución hacia lo que demanda el mercado. Es por esto y, teniendo en cuenta la recomendación del uso de la metodología BIM en los proyectos financiados con fondos públicos a partir de abril de 2016 y la obligatoriedad de su transposición, por parte de los países miembros, de la Directiva 2014/24/UE sobre contratación pública que establece la necesidad de emplear sistemas electrónicos (medios de comunicación y herramientas para modelar los datos del edificio) en procesos de contratación de obras, servicios y suministros a partir de septiembre de 2018, decide, desde su Patronato y dirección, implementar la metodología BIM a partir del curso 2016/17 en los grados del sector de la construcción, y al igual que otros centros universitarios, contemplando las acciones necesarias para conseguirlo en el plan estratégico de viabilidad del centro universitario.

Esta comunicación trata de describir el proceso de integración y adaptación de las distintas áreas curriculares existentes de los grados de Arquitectura técnica e Ingeniería Civil de la EUPLA a la cultura y metodología BIM que se está llevando a cabo, abordando las principales cuestiones a las que se han enfrentado y se enfrentan a día de hoy, tanto los profesores de estos grados, como los alumnos y egresados.

Además, se pretende desde estas líneas, poner en valor el trabajo formativo BIM que se realiza actualmente y que busca, principalmente, y desde los primeros cursos, preparar al alumno para su posterior incorporación al mercado laboral del sector de la construcción. Un sector que se encuentra actualmente en constante evolución y del que la metodología BIM es uno de los motores de cambio.

## 2. COMUNICACIÓN

La digitalización de la construcción que facilita la entrada de otras innovadoras tecnologías, como robótica, drones, realidad aumentada, impresión 3D o Internet, necesita que se crea en este tipo de metodologías (BIM, LEAN, etc...) e invierta en ellas para mejorar su eficiencia y productividad. Al igual que otros sectores, la construcción se encuentra ahora afrontando esta “revolución digital”, ya que anteriormente se había beneficiado solo de modestas mejoras en la productividad.

El Parlamento Europeo ha fijado como uno de sus objetivos a raíz de la directiva EUPPD (directiva de contratación pública) dar ejemplo en lo que a la gestión de sus proyectos se refiere. Pretende aumentar la eficiencia de sus gastos y garantizar la accesibilidad, igualdad y no discriminación en la gestión de los mismos desde la propia licitación. Se ha propuesto pues como objetivo, a través de su directiva EUPPD, que BIM sea la metodología recomendada-exigida a las empresas que pretendan optar a participar en ese tipo de proyectos a partir de abril de 2016.

La nueva Ley de Contratos del Sector público, LSCP 2017 (Ley 9/2017, de 8 de noviembre, de Contratos del Sector Público, por la que se transponen al ordenamiento jurídico español las Directivas del Parlamento Europeo y del Consejo 2014/23/UE y 2014/24/UE, de 26 de febrero de 2014), se posiciona y abre la puerta a la obligatoriedad de la contratación electrónica en todos los aspectos del proceso, por lo que postergar la implementación BIM en los siguientes entes públicos no resultará, en ningún caso, favorable para los mismos, sus técnicos y su trabajo, y es por eso que algunas CCAA, Ayuntamientos, etc. ya han comenzado en mayor o menor medida con acciones encaminadas a dar solución a estos cambios.

El sector de la construcción a nivel nacional e internacional es consciente del potencial de la metodología BIM como economizadora de tiempo, recursos materiales y económicos,

de riesgos en la gestión del proyecto de la construcción y de la explotación del edificio, pero, la realidad es que su implementación es irregular y ha surgido a pequeña escala. La administración pública, como parte fundamental del sector, no puede quedarse al margen de esta evolución y debe tomar parte liderando la adaptación al BIM porque se ha probado que, con una buena implementación de la metodología BIM y el uso de sus tecnologías asociadas, se puede tener un mejor control del proyecto completo en cada una de sus etapas, teniendo un buen acceso y manejo de la cantidad de información necesaria al nivel que se desee. En BIM, se trabaja en base a un modelo virtual con la información del proyecto de cada especialidad, logrando mejorar la manera en que se diseña.

El resto de componentes del sector de la construcción española: empresas, colegios profesionales, instituciones de enseñanza, etc., han puesto en marcha planes de formación a distintos niveles para intentar dar respuesta a la demanda de técnicos BIM que se acontece. Algunas de ellas ya trabajan de manera solvente con este tipo de metodologías y volver a las anteriores para trabajar con la administración resulta una involución difícilmente comprensible en los tiempos en los que nos encontramos.

Es por todas estas razones por lo que la EUPLA, como centro formativo superior que imparte dos de sus cuatro formaciones universitarias dentro del sector AEC y escuela estrechamente ligada con el ámbito profesional, ha puesto su empeño en implementar de una manera progresiva pero completa, la metodología BIM dentro de su programa formativo en el grado de Arquitectura técnica y en el grado de Ingeniería civil, y para conseguirlo se realizaron distintas reuniones con la dirección del centro y el profesorado finalizando en la redacción de un plan de implementación BIM con una estrategia que marca los hitos y objetivos BIM a conseguir durante los próximos 4 años (una graduación completa) tanto en los grados de Arquitectura técnica como de Ingeniería civil.

## **2.1 Estrategia de implementación:**

Desde hace unos cursos, en la EUPLA se vienen realizando acciones de distinta índole encaminadas al correcto uso de herramientas tecnológicas para el sector AEC, desde ciclos de conferencias, talleres, cursos de verano, etc. que vienen complementando la formación reglada.

Durante el curso 2012/13, dirigido por D. Juan Villarroya, arquitecto profesor del centro, se lanza e primer ciclo de conferencias con el título “Perspectiva y Volumetría del Proyecto” que atrae a algunos referentes del sector y en el que se exponen las primeras ideas sobre metodología BIM y otras tendencias tecnológicas. Es a raíz de este ciclo de conferencias cuando se plantea la posibilidad de realizar un primer curso de verano de la Universidad de Zaragoza (curso 2013/2014) “Almunia 3d. Smart cities”, que finalmente resulta un éxito en participación, seguimiento y aceptación por parte del alumnado.

*Estos cursos de verano se vienen realizando continuamente desde entonces y plantean, en cada edición y lugar, un problema y objetivo distinto que se aborda con el uso de las nuevas tecnologías aplicadas al sector de la Arquitectura, ingeniería y construcción.*

Mientras tanto, en España, se consolidan congresos temáticos dedicados a BIM: EUBIM Valencia, organizado en la Universidad Politécnica de Valencia y uno de los referentes actualmente, BIM Valladolid, EuropeanBIM Summit (Barcelona), etc. Foros que comienzan a poner sobre la mesa la futura adaptación de titulaciones del sector de la construcción a estas metodologías de trabajo.

Durante el curso 2015/2016, desde la dirección del centro se trabaja en la estrategia de implementación de la metodología BIM de manera transversal en los grados que le aplican y empezando por Arquitectura técnica, ya que parece la manera más natural, y es en verano del 2016 cuando se convoca una plaza para un profesor específico para impartir la metodología BIM y sus tecnologías asociadas.

Finalizado el proceso de selección, comienzan las primeras reuniones con los distintos agentes, desde dirección al profesorado. Estas reuniones finalizan con la entrega de un documento que plasma la estrategia de implementación BIM y que se pone en común en posteriores reuniones de coordinación con los distintos profesores de las asignaturas afectadas durante el Curso 2016/17.

La estrategia propuesta trata la introducción progresiva de la metodología BIM y sus tecnologías asociadas en la misma línea que otras universidades europeas (Universidad Europea de Madrid, que han decidido integrar la formación BIM dentro del grado y no como un título propio, posgrado o máster complementario como también se oferta en otros centros universitarios.

En estas reuniones se llega a la conclusión de que las asignaturas clave para que la implementación de BIM tenga éxito deben ser:

- Expresión gráfica y Geometría descriptiva, de primer curso.
- Expresión gráfica de tecnologías constructivas, de segundo curso.
- Tecnologías de la información y la comunicación, optativa de tercer curso.
- Proyectos I y Proyectos II, de cuarto curso.

Además, existen otras asignaturas afectadas directamente por la metodología BIM que también son evaluadas:

- Instalaciones I, de segundo curso.
- Estructuras I, de segundo curso.
- Instalaciones II, de tercer curso.
- Estructuras II, de tercer curso.
- Organización y control de obras, de tercer curso.
- Mediciones, de tercer curso.

Por tanto, la estrategia de implementación de BIM en el grado comienza por la introducción de la metodología BIM en asignaturas optativas, y en acciones puntuales en asignaturas del grado de Arquitectura técnica junto con el profesor titular de la asignatura durante el curso 2016/17.

Es en el curso 2017/18 cuando realmente aparece en las guías docentes y de manera más amplia y cuando se realiza formación BIM en las asignaturas clave en un 50% de sus créditos, quedando un programa transversal al grado que dota al alumno de una visión espacial en primero, de diseño de proyectos con distintas herramientas BIM en segundo, de la metodología en su parte más teórica en tercero y de proyectos colaborativos en cuarto.

La integración de todo este conocimiento adquirido en las distintas asignaturas se materializa en el Proyecto final de grado, donde se recomienda la incorporación de metodología BIM para todos los alumnos que realizan proyectos básicos y de ejecución.

*Actualmente y se plantea el lanzamiento de una línea de investigación de proyectos que,*

*a día de hoy, todavía no está disponible.*

## 2.2 Proceso de implementación

Pero, ¿Cómo lo estamos haciendo? ¿Cuáles son nuestros aciertos y cuales nuestros errores?

- “Aquellos que creen que saben, nunca aprenden”. - *Tao Te Ching*

No es una mala respuesta, quizás sea el mejor punto de partida. Aprender y enseñar los procesos BIM será la tarea que tendremos que realizar en la EUPLA hasta que la próxima revolución supere la producción en el sector AEC. Entonces, sólo entonces, comenzará todo de nuevo.

Con los contenidos claros de las asignaturas clave del grado de Arquitectura técnica, comenzamos una serie de acciones que trataron de dar una primera formación técnica en la metodología BIM que alcanzara a todos los cursos, desde 1º a 4º en alguna de las asignaturas calificadas como claves en este proceso.

En el curso actual de 2017/2018, el profesor especialista BIM actúa ya en todas las asignaturas que se plantearon como clave y en las que se trabaja la formación en la metodología BIM desde distintos puntos de vista, por ejemplo:

En Expresión gráfica y Geometría descriptiva, de primer curso, se realizan prácticas enfocadas al bocetaje con lápiz y papel y, después, en software 3D como iniciación (SketchUp). Además, en geometría descriptiva, las prácticas, se realizan con Dynamo y/o Grasshopper para iniciar al alumno en la programación visual y la parametricidad.

En Expresión gráfica de tecnologías constructivas, de segundo curso, las prácticas se realizan con software de diseño BIM (Archicad, Revit, etc). Es el momento en el que lo alumnos eligen una herramienta de diseño y desarrollan las prácticas en base a ella. En la asignatura de Estructuras I, las prácticas se realizan con Cypecad, de Cype Ingenieros.

En la asignatura de Tecnologías de la información y la comunicación asociadas a la construcción, optativa de tercer curso, se explica la metodología BIM en profundidad, empezando por las guías uBIM, guías de la comisión BIM esBIM, normativa europea y de otros países como la PAS 1192, etc. Se tratan temas de roles BIM, CDE (common data environment), Usos BIM, BEP (BIM execution plan), etc. Además, la asignatura, trabaja con alguno de los softwares más utilizados para los diferentes usos BIM, para la comunicación entre agentes y la colaboración, ampliando el uso de la información más allá del concepto de diseño o gestión puro de un proyecto.

En Proyectos I y Proyectos II, de cuarto curso se trata de realizar un proyecto, desde su inicio como idea a la ejecución en obra, de manera colaborativa, lanzando el BEP desde el principio y desarrollándolo junto al propio avance del proyecto, procurando de un entorno de trabajo en el que se organice un equipo que acata los distintos hitos y procesos del modelo BIM.

En los PFG, aunque no existe ninguna norma específica de uso interno para el profesorado, se trata de motivar la realización de los mismos con herramientas tecnológicas que aprovechen todo lo aprendido por el alumno durante su formación, dejando la libertad de la elección de la temática y el propósito del mismo a cada alumno.

Estas acciones formativas BIM en el grado se complementan con talleres al inicio y durante del curso de AutoCAD y Civil3D que los alumnos pueden realizar de manera opcional como refuerzo, charlas, conferencias y otras actividades encaminadas a proporcionar

una visión más amplia y práctica a los alumnos.

*Para el curso 2018/19, y posteriores, se mantendrá la formación con software de diseño 3D y programación visual en asignaturas de 1º y ampliar la formación en las asignaturas específicas como EGTC de segundo curso con software de diseño BIM.*

*Además, se ha propuesto que la asignatura de TIC (Tecnologías de la información y comunicación asociadas a la construcción) en la que se explica ampliamente la metodología BIM, pase a ser de realización obligatoria en el plan de estudios y no optativa como hasta ahora.*

*Estudiar la implementación de BIM en el grado de Ingeniería civil, extrapolando las conclusiones de esta experiencia en el grado de Arquitectura técnica, es otra de las tareas previstas para este curso.*

### 3. CONCLUSIÓN

“El mayor enemigo del conocimiento no es la ignorancia, es la ilusión del conocimiento”

No puedo estar más de acuerdo con esta cita de Stephen Hawking. Y esta comunicación es un intento de abrir debate y unir nuestras ilusiones, mis ilusiones, sobre la mejor manera de enseñar y aprender. De evaluar cómo pensamos y aprendemos, de si podemos redefinir lo que pensamos, (lo que pienso) se puede enseñar y, a la inversa, aprender.

BIM es una revolución y la tratamos principalmente a un ritmo evolutivo... demasiado lento quizás. Ahora podemos estar al final de la Edad de Oro de BIM o peor, en sus etapas de Reforma; donde se ha logrado una especie de comodidad, ralentizando el BIM completo, la adopción de BIM y el éxito general.

Parece que ya está claro por todo el mundo que hay una revolución continua en el sector AEC en torno a los procesos, y esto requiere que las empresas y las personas participen en la educación continua. Así aprendiendo y enseñando, pues, si tenemos el deseo, todo lo que queda es acción. Porque todavía hay mucho aprendizaje y enseñanza (y casi siempre) queda todo por hacer.

Qué sabemos, qué pensamos... Existe una gran diferencia entre “lo que creemos que sabemos” y “lo que sabemos”. Para enseñar a otros, solo podemos esperar inspirar; inspirar pensamiento, acuerdo, desacuerdo y debate. Demasiado de lo que llamamos conocimiento es, en el mejor de los casos, una ilusión para el conocimiento. El aprendizaje comienza aceptando que no sabemos.

Con estos principios claros, lo que llamamos conocimiento en la mayoría de los casos es otra cosa; percepción, pensamiento, creencia, etc.... En todo caso, el conocimiento es una meta en movimiento y en constante cambio, por lo que el enfoque del docente, tal como yo lo veo, normalmente quiere ser conducido a algo más que una transmisión de hechos y procesos y, para proporcionar beneficio a la mayoría de las personas (el mejor aprendizaje, la mejor enseñanza, etc.), debemos aplicar un enfoque más dinámico, ya sea que seamos estudiantes o profesores. Debemos desarrollar nuestras capacidades intelectuales, filosóficas y emocionales, así como nuestras habilidades técnicas.

Si una persona que trabaja en el sector AEC puede aprender cómo crear Arquitectura, diseñar estructuras o administrar y gestionar el coste de una obra, etc. aprender a manejar software es, simplemente, una cuestión de matemática: (Deseo + Acción) en un nivel básico.

Pero, enseñar o aprender software no es lo que siento que debería ser la implementación

de BIM; Para ser verdaderamente grandes aprendices y maestros de esta metodología de trabajo debemos estar abiertos a la inspiración: ser inspirados y ser una inspiración para los demás. Si uno no está abierto, la información no tiene ninguna esperanza de convertirse en “conocimiento”, de hacer una conexión significativa que es de lo que realmente trata BIM. Y la curiosidad es clave para esto. ¿Cómo enseñamos? ¿cual es la mejor manera de enseñar? Si dominamos lo que creemos que sabemos podemos influenciar en otras personas y si tratamos de comprender en qué no podemos influir, podemos crear entornos educativos que creen más éxito. Hacia estos entornos tenemos que tender desde la EUPLA y desde otros centros formativos de similar índole.

¿Cómo aprendemos? La mejor manera de aprender es enseñar. La ÚNICA manera de aprender es enseñar. Yo enseño BIM porque cada día que enseño, aprendo. Así empecé y así sigo.

Existen multitud de guías, textos y reseñas bibliográficas de expertos implementadores de BIM y cada una ella es diferente. Nadie tiene una receta mágica, pues, si recuerdan el comienzo de esta comunicación, BIM depende de tecnologías, procesos y personas, y cada una somos diferentes al resto.

A pesar de estar en un convención científica, podría decir que no conozco que exista un método científico y es por esto por lo que en la EUPLA decidimos no postergar más la decisión y comenzar desde ya, la implementación de BIM en el grado. Las conclusiones de si la estrategia seguida ha sido la correcta o no, de si se han alcanzado los objetivos, sólo las podremos obtener al final de una graduación (4 años), cuando el proceso de formación haya repercutido de manera completa sobre el alumno, y será ahí cuando los profesores tendremos la certeza, o no, de haber conseguido transmitir y enseñar de manera amplia el significado de la cultura BIM.

#### **4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS (Y CITAS EN EL TEXTO)**

##### LIBROS

- [1] Salto al BIM: Estrategias BIM de calidad para empresas punteras del sector AEC. Luisa Santamaría Gallardo y Javier Hernández Guadalupe.
- [2] Guía Práctica Para La Implantación De Entornos Bim En Despachos De Arquitectura E Ingeniería”. José Manuel Zaragoza Angulo y Miguel Morea. Colección Especialización. Editorial fe-erratas. 2015
- [3] BIM and Construction Management: Proven Tools, Methods, and Workflows, 2nd Edition. Brad Hardin, Dave McCool
- [4] The BIM Management Handbook - David Shepherd - NBS

##### TESIS

- [5] Oliver Faubel, I (2015), Integración de la metodología BIM en la programación curricular de los estudios de Grado en Arquitectura Técnica/Ingeniería de Edificación. Diseño y propuesta. Valencia: Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Programa de Doctorado en Arquitectura, Edificación, Urbanística y Paisaje Universitat Politècnica de València.
- [6] Coloma Picó, E. 2008, Introducción a la tecnología BIM, Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.

##### PÁGINAS WEB Y OTROS RECURSOS TOMADOS DE INTERNET

##### PÁGINA WEB

- [7] BIM Initiative. <http://bimexcellence.org/>

- [8] BIM Dictionary. <https://bimdictionary.com/>
- [9] Building Smart a council of the Institute for BIM in Canada (2016), Canadian Practice Manual for BIM, Canada: IBC.
- [10] BIM ThinkSpace. (2015). Episode 24: Understanding Model Uses. Retrieved from BIM Think Space website: <http://www.bimthinkspace.com/>, accessed on September 10, 2015.
- [11] BIM Framework. <http://www.bimframework.info/>
- [12] BIM Excellence. <http://bimexcellence.com/>
- [13] British Standard, 2015. Collaborative production of architectural, engineering and construction information – Code of practice BS 1192:2007+A1:2015.
- [14] Impacto De BIM En El Proceso Constructivo Español”. Begoña Fuentes Giner. Editor LGV. Valencia, 2014 Freund, J, 2015. Why BIM (14 Enero 2016).
- [15] Succar, B. (2009). Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. *Automation in Construction*,18(3), 357-375.

ÁREA III.

EDIFICACIÓN SOSTENIBLE Y EDIFICIOS DE CONSUMO  
DE ENERGÍA CASI NULO



## CUANTIFICACIÓN DE RESIDUOS EN OBRAS DE REHABILITACIÓN ENERGÉTICA DE EDIFICIOS

VILLORIA SÁEZ, PAOLA<sup>1</sup>; DEL RIO MERINO, MERCEDES<sup>2</sup>; SANTA CRUZ ASTORQUI, JAIME<sup>3</sup>; RODRÍGUEZ SÁNCHEZ, ANTONIO<sup>4</sup>; PORRAS AMORES, CESAR<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España

E-mail: [paola.villoria@upm.es](mailto:paola.villoria@upm.es), Web: <http://www.edificacion.upm.es/tema/>

<sup>2</sup> Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España

E-mail: [mercedes.delrio@upm.es](mailto:mercedes.delrio@upm.es), Web: <http://www.edificacion.upm.es/tema/>

<sup>3</sup> Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España

E-mail: [jaime.santacruz@upm.es](mailto:jaime.santacruz@upm.es), Web: <http://www.edificacion.upm.es/tema/>

<sup>4</sup> Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, MADRID, España

E-mail: [antonio.rodriguez@upm.es](mailto:antonio.rodriguez@upm.es), Web: <http://www.edificacion.upm.es/tema/>

<sup>5</sup> Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España

E-mail: [c.porras@upm.es](mailto:c.porras@upm.es), Web: <http://www.edificacion.upm.es/tema/>

**PALABRAS CLAVE:** Residuos de construcción y demolición; rehabilitación; edificios; estimación.

### RESUMEN

En los últimos años, se han publicado numerosos trabajos de investigación para determinar la cantidad de residuos generados en las obras de construcción de edificios, pero en general estos estudios se centran principalmente en proyectos residenciales y de nueva construcción. Este artículo presenta los resultados del proyecto de investigación “De residuos a recursos (W2R)” que analiza la generación de residuos de construcción y demolición (RCD) en obras de rehabilitación para la mejora de la eficiencia energética de edificios y desarrolla nuevos materiales, elementos y sistemas constructivos fabricados a partir de RCD. En este artículo se presentan algunos de los resultados del proyecto W2R, en con-

creto, la identificación, cuantificación y caracterización de las categorías de residuos generados en obras de rehabilitación para la mejora de la eficiencia energética llevadas a cabo en la envolvente vertical de los edificios. Para ello, se identificaron las actuaciones más comunes para mejorar la eficiencia energética de las envolventes verticales y se cuantificó la generación de RCD en dos obras utilizando métodos experimentales (datos in situ) y teóricos (software). Los resultados mostraron que la mayor cantidad de generación de RCD se produce durante las operaciones de preparación de la superficie vertical previas a desarrollar la actuación. Además, se encontró que las categorías de residuos más generados son: hormigón, cerámica, metal y madera. Estas categorías de residuo deben, por tanto, controlarse para lograr su minimización, reciclaje y recuperación.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los residuos de construcción y demolición (RCD) representan uno de los principales flujos a nivel internacional, a pesar de que la crisis económica ha incidido directamente en el sector de la construcción, provocando un descenso del volumen de RCD generados en la última década [1]. Los últimos datos publicados por Eurostat, sitúan a los RCD en alrededor del 30% sobre la total de los residuos sólidos generados a nivel europeo y nacional [2].

Por otro lado, la incidencia de la edificación en el consumo energético global no es una cuestión anecdótica. Al contrario, los edificios de viviendas y servicios –comercios, oficinas y equipamiento– son responsables del 40% del consumo total de energía final en la Unión Europea [3]. En España, debido al clima, este porcentaje es menor (27,7%). A pesar de ello, la incidencia sobre el global sigue siendo importante a tener en cuenta por el tipo de clima para reducir el impacto ambiental de los edificios. Es por ello que tanto la comisión UE y el resto de los gobiernos han puesto en marcha medidas para mejorar la eficiencia energética lo que generará un incremento de obras de renovación de edificios y por consiguiente un aumento de los residuos de construcción y demolición [4].

Por lo tanto, la gestión adecuada de estos residuos constituye uno de los pilares fundamentales del marco de la Estrategia 2020, que tiene como objetivo convertir a Europa en una sociedad eficiente en el uso de los recursos, basada en el principio de las 3R [5] donde la reducción o prevención es la mejor opción de gestión, seguida y en este orden, de la reutilización, del reciclado, de otras formas de valorización (incluida la energética) y, por último, de la eliminación (el depósito en vertedero por ejemplo), avanzando así hacia la ‘Sociedad del Reciclado’ y la ‘Sostenibilidad’ [6].

Por todo lo anterior, es necesario contar con la mayor información posible sobre los RCD que se generan en este tipo de actuaciones para poder realizar una correcta gestión de los mismos según los criterios de las 3R. Dicha información tendrá en cuenta tanto la identificación como la cuantificación de los residuos para poder determinar buenas prácticas para la prevención y segregación de RCD para facilitar su valorización a través del reciclaje [7-9].

En este sentido, este artículo presenta parte de los resultados del proyecto W2R, financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad, que tiene como objetivo identificar y cuantificar las distintas categorías de residuos generados en obras de rehabilitación de viviendas, en concreto en las actuaciones encaminadas a la mejora de la eficiencia energética del edificio de la envolvente vertical [10].

## 1.1 Actuaciones en la envolvente del edificio para la mejora de su eficiencia energética

Las actuaciones para la mejora de la eficiencia energética (EE) de un edificio suelen considerar principalmente la mejora de las características de la envolvente del edificio, a través de la cual se producen las mayores pérdidas de energía fundamentalmente por falta o insuficiente aislamiento térmico en la fachada o por la falta de estanqueidad de las carpinterías [11]. Atendiendo a ello, las diferentes técnicas de intervención sobre la envolvente vertical del edificio, conducentes a la mejora de su eficiencia energética, se pueden clasificar en: (1) Técnicas aplicables en intervenciones desde la cara exterior de la fachada; (2) Técnicas aplicables en intervenciones desde la cara interior de la fachada; (3) Técnicas de inyección de aislante en cámaras; y (4) Cambio y sustitución de carpinterías.

- 1) Técnicas aplicables en intervenciones desde la cara exterior de la fachada: En general, son técnicas que aplican una capa de aislamiento continuo a la cara exterior de la fachada existente, envolviendo la totalidad del edificio. Esto proporciona muchos beneficios, tales como la supresión de puentes térmicos y la estabilidad térmica del cerramiento y la estructura. Se trata sin duda del sistema que produce la mayor eficiencia energética en la fachada. Hay básicamente tres opciones, en función de si se deja o no una cámara entre el aislamiento y el tipo de terminación exterior utilizada:
  - Sistema de aislamiento térmico por el exterior (SATE): Este sistema permite aplicar una capa de aislamiento en la cara externa de la fachada existente, y sobre el mismo aplicar una fina capa de terminación, normalmente a base de mortero de cemento.
  - Sistema de aplacado: El aislamiento se adhiere al exterior de la fachada existente y el material de acabado, consiste en un aplacado de piedra natural o artificial, que se fija al soporte existente por medio de anclajes en contacto con el aislamiento.
  - Fachada ventilada: Es básicamente una evolución del sistema de aplacado, al que se le introduce una cámara ventilada entre el aislamiento y el aplacado. Este sistema está formado por un aislamiento rígido o semirrígido adherido al soporte, y una hoja exterior de protección separada del aislamiento, formando una cámara por donde circula el aire por simple convección. La hoja de protección se fija al muro soporte mediante subestructuras diseñadas al efecto.
- 2) Técnicas aplicables en intervenciones desde la cara interior de la fachada: Este tipo de actuación es adecuada en los supuestos en los que es inviable modificar la cara exterior de la fachada. Las técnicas más usuales son las siguientes:
  - Trasdosado con panel rígido de aislamiento y revestido de yeso: Este sistema es equivalente al sistema SATE empleado en el exterior de la fachada. Consiste en la aplicación de un aislamiento rígido en la cara interior del cerramiento. Sobre el aislamiento se aplica un revestimiento directo reforzado con una malla de fibra de vidrio o polimérica.
  - Trasdosado con material aislante y placa de yeso laminado: Está formado por placas de yeso laminado y aislante fijadas al muro o tabique de trasdós.

- 3) Técnicas de inyección de aislante en cámaras: En aquellos casos en los que no sea viable ningún tipo de actuación de las anteriormente descritas, existe la posibilidad de inyectar material aislante en la cámara (de existir) de la fachada, operación que puede ser realizada tanto desde el interior del edificio como desde el exterior.
- 4) Cambio y sustitución de carpinterías: En muchos casos, la mayor parte de la pérdida energética en fachadas corresponde a las pérdidas por transmisión a través de los vidrios (cuando estos son sencillos) y a las pérdidas debidas a la baja estanqueidad al aire de las carpinterías (sobre todo cuando son de tipo corredera) y capialzados. Por ello, la sustitución del conjunto ventana + persiana es la opción que proporciona en muchos casos la mejor relación efectividad/coste.

## 2. METODOLOGÍA

La metodología seguida se divide en dos etapas:

- Cuantificación teórica de RCD en las distintas actuaciones para la mejora de la EE de la envolvente vertical.
- Selección de obras piloto y análisis de los residuos generados de manera experimental.

En la primera etapa, se identifican y cuantifican, con la base de datos Arquímedes, los RCD que pueden ser generados en las actuaciones para la mejora de la EE que podrían realizarse sobre la envolvente vertical (identificados en el apartado 1.1). Para ello, a través de la base de datos, se obtiene la información sobre los siguientes parámetros ambientales de cada partida [12]:

- Volúmenes en litros de RCD generado, clasificado de acuerdo con el código LER.
- Pesos en kg de RCD generado, clasificado de acuerdo con el código LER.

En cuanto a la segunda etapa, la validación de los resultados se ha seleccionado dos casos de estudio correspondientes exclusivamente a obras de rehabilitación energética en la envolvente vertical de la fachada con una solución tipo SATE. Durante el proceso de ejecución de ambas obras, se identificaron y cuantificaron in-situ los residuos generados, contabilizando los contenedores donde se vertieron los RCD y cuantificando sus volúmenes. Para ello, se ha utilizado la información básica del proyecto: Plantas, secciones y alzados así como los albaranes, y certificados de Organismos y Gestores de Residuos Autorizados, los cuales ofrecen información en peso y volumen de los residuos generados en cada obra.

Con los resultados obtenidos se elabora una tabla comparativa entre las cantidades de residuo calculadas con el programa informático y los datos experimentales recabados in-situ durante la fase de ejecución. Además, se comparará con las cantidades de RCD que se estimaron en los documentos “Estudio de gestión de RCD” de cada proyecto. De esta forma se puede verificar la efectividad de los cálculos teóricos que se realizan en la fase de proyecto y su cercanía a la realidad en el proceso constructivo. Por último, se determinan los indicadores de generación de RCD obtenidos experimentalmente por superficie rehabilitada (m<sup>2</sup>).

### 3. RESULTADOS

La tabla 1 muestra los ratios de generación de RCD de cada actuación, no solo para el total del residuo generado sino para cada una de las categorías de residuos identificadas mediante su código LER. Con los ratios de la tabla 1 se pueden estimar la cantidad total de residuo, así como de cada una de las categorías, generadas en cada una de las actuaciones para la mejora de la eficiencia energética del edificio.

Tabla 1: Ratios de generación de RCD según las distintas categorías de RCD.

Residuo		Intervenciones desde el exterior								Intervenciones desde el interior						Sustitución de carpinterías	
		SATE I <sup>a</sup>		SATE II <sup>b</sup>		Sistema aplacado sobre aislamiento		Fachada ventilada		Trasdosado con aislamiento y revestido de yeso		Trasdosado con material aislante y placa de yeso laminado		Inyección de material aislante en la cámara			
Código LER	Descripción	i <sub>p</sub> kg/m <sup>2</sup>	i <sub>v</sub> l/m <sup>2</sup>	i <sub>p</sub> kg/m <sup>2</sup>	i <sub>v</sub> l/m <sup>2</sup>	i <sub>p</sub> kg/m <sup>2</sup>	i <sub>v</sub> l/m <sup>2</sup>	i <sub>p</sub> kg/m <sup>2</sup>	i <sub>v</sub> l/m <sup>2</sup>	i <sub>p</sub> kg/m <sup>2</sup>	i <sub>v</sub> l/m <sup>2</sup>	i <sub>p</sub> kg/m <sup>2</sup>	i <sub>v</sub> l/m <sup>2</sup>	i <sub>p</sub> kg/m <sup>2</sup>	i <sub>v</sub> l/m <sup>2</sup>	i <sub>p</sub> kg/Ud	i <sub>v</sub> l/Ud
080111*	Pintura y barniz	0,02	0,02	-	-	-	-	-	-	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04
150101	Papel (envases)	0,04	0,06	0,04	0,06	0,189	0,25	0,23	0,30	-	-	-	-	-	-	-	-
150104	Metal (envases)	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	-	-
170101	Hormigón/mortero	29,51	19,67	1,01	0,67	28,50	19,0	-	-	-	-	-	-	0,03	0,02	-	-
170103	Mat. cerámicos	-	-	-	-	1,44	1,52	0,92	0,74	-	-	-	-	-	-	-	-
170201	Madera (envases)	0,12	0,109	-	-	0,12	0,11	0,18	0,16	-	-	-	-	-	-	-	-
170202	Vidrio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,33	0,33
170203	Plástico	0,08	0,13	0,07	0,11	0,073	0,13	0,04	0,07	0,10	0,16	0,12	0,20	0,02	0,03	0,18	0,30
170402	Aluminio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,05	0,03
170604	Mat. Aislamiento	0,30	0,49	0,30	0,50	0,04	0,07	0,08	0,14	0,2	0,12	0,12	0,20	0,09	0,14	0,04	0,06
170802	Yeso	-	-	-	-	-	-	-	-	0,58	0,58	0,48	0,48	-	-	-	-
170904	Residuos mezclados	0,72	0,48	0,72	0,48	0,254	0,17	0,50	0,33	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01
<b>Total RCD/Unidad</b>		<b>30,66</b>	<b>20,85</b>	<b>2,13</b>	<b>1,81</b>	<b>28,50</b>	<b>19,00</b>	<b>1,95</b>	<b>1,74</b>	<b>0,85</b>	<b>1,00</b>	<b>0,77</b>	<b>0,94</b>	<b>0,14</b>	<b>0,20</b>	<b>0,65</b>	<b>0,78</b>

\* Residuo peligroso

<sup>a</sup> Sistema SATE quitando la capa de revestimiento previa (mortero monocapa).

<sup>b</sup> Sistema SATE sin quitar la capa de revestimiento previa

En general, se observa que la mayor cantidad de RCD generados proviene de la preparación del paramento donde se plantea realizar la actuación. Por otra parte, si consideramos únicamente la ejecución de la actuación para la mejora de la eficiencia energética, siempre generarán menos RCD aquellas técnicas que se realizan desde el interior. En estos casos, la opción que menos RCD genera es la inyección de aislamiento en cámaras (si bien es verdad no es la solución más efectiva), y el que más RCD genera es la solución de trasdosado y PYL.

En cuanto a los sistemas que se construyen desde el exterior, se observa que el sistema SATE es el que más RCD genera, debido a la preparación del soporte que obliga al picado del revestimiento del paramento y que en cambio, la solución de fachada ventilada genera la menor cantidad de residuos. En el caso de que el paramento no se tratase, el residuo generado disminuiría considerablemente (1,15 kg/m<sup>2</sup> and 1,18 l/m<sup>2</sup>).

Los datos recogidos en la tabla 2 muestran los indicadores obtenidos experimentalmente en las dos obras seleccionadas (consistentes en la colocación de un SATE). De los resultados mostrados se observa una gran diferencia entre los resultados obtenidos en cada obra. Esto es debido a la fase previa a la colocación del sistema SATE, pues en la segunda obra se procedió a retirar el mortero monocapa existente antes de la colocación del aislamiento.

Tabla 2: Comparación de los resultados experimentales y teóricos.

	Tipo de SATE	Superficie rehabilitada (m <sup>2</sup> )	Resultados con datos experimentales				Indicadores SATE con datos teóricos (tabla 1)		Error relativo (%)	
			Cantidad de RCD		Indicadores SATE		i <sub>p</sub>	i <sub>v</sub>	weight	volume
			Peso (kg)	Volumen (m <sup>3</sup> )	i <sub>p</sub>	i <sub>v</sub>				
Obra 1	I	10292.36	25320	124	2.46	0.012	2.13 <sup>a</sup>	0.00181 <sup>a</sup>	-13.42	-84.98
Obra 2	II	905.00	59040	72	65.24	0.008	30.66 <sup>b</sup>	0.00213 <sup>b</sup>	-53.00	-70.97

Donde:

i<sub>p</sub>: Indicador de residuo generado en peso: kg RCD por m<sup>2</sup> rehabilitado

i<sub>v</sub>: Indicador de residuo generado en volumen: m<sup>3</sup> de RCD por m<sup>2</sup> rehabilitado

<sup>a</sup> Sistema SATE quitando previamente la capa de revestimiento (mortero monocapa)

<sup>b</sup> Sistema SATE sin quitar la capa de revestimiento

Al comparar los indicadores de generación de RCD obtenidos experimental y teóricamente, se observa que los datos teóricos tienen una desviación media de 33,21% con respecto a los indicadores experimentales (13-53% en peso y 70-85% en volumen). Estos resultados revelan que la estimación en volumen es mucho menos precisa que en peso. Esto se debe a que la estimación en volumen del residuo no solo depende de la cantidad generada sino también del número de contenedores utilizados y, por tanto, de la gestión realizada por el equipo de obra. Es decir, para una misma cantidad de residuo en peso una obra puede utilizar un número de contenedores distinto a otra y por tanto variar el volumen de RCD generado.

#### 4. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- La mayor cantidad de RCD generados proviene de la preparación del paramento donde se plantea realizar la actuación.
- Si se considera únicamente la ejecución de la actuación para la mejora de la eficiencia energética, siempre generarán menos RCD aquellas técnicas que se realizan desde el interior. En el caso de existir cámara de aire la solución que genera menor cantidad de RCD es la inyección de aislamiento en la misma, pero es también la técnica menos eficaz. La solución más recomendable es la solución de fachada ventilada o de aplacado sobre aislamiento, y en el caso de realizar una solución SATE, trabajar sobre el paramento previamente preparado.
- Los tipos de RCD generados como su proporción dentro del total corresponden a las categorías de: hormigón, cerámicos, madera, metal, vidrio, plástico y cartón. Por tanto, es preciso realizar un control sobre ellos en la obra, siendo en consecuencia los tipos de RCD en los que se debe seguir trabajando para lograr su minimización u otras formas de reciclaje y valorización.
- Los resultados obtenidos en los diferentes programas que estiman los RCD generados en las obras ofrecen valores con un desvío medio de 33% con respecto a la realidad, ya que cada uno se crea con un fin determinado y los coeficientes utilizados en el programa para estimar el residuo son diferentes.

#### AGRADECIMIENTOS

Los resultados mostrados son parte del proyecto “Proyecto de Waste2Resources” (BIA2013-43061-R) financiado por la Secretaría de Investigación, Desarrollo e Innovación del Ministerio de Economía y Competitividad de España.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Coronado, M., Dosal, E., Coz, A., Viguri, J., and Andrés, A., “Estimation of construction and demolition waste (C&DW) generation and multicriteria analysis of C&DW management alternatives: a case study in Spain,” *Waste and Biomass Valorization*, vol. 2, pp. 209-225, 2011.
- [2] Eurostat. (2017, December). *Eurostat statistics for waste flow generation 2014. European Commission*. Available: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/eurostat/home/>
- [3] Porras-Amores, C., Viñas-Arrebola, C., Rodríguez-Sánchez, A., and Villoria-Sáez, P., “Assessing the potential use of strategies independent from the architectural design to achieve efficient ventilation: A Spanish case study,” *Building Services Engineering Research and Technology*, vol. 35, pp. 529-542, 2014.
- [4] Cuchí, A. and Sweatman, P., *A National Perspective of Spain's Buildings Sector: A Roadmap for a New Housing Sector: Working Group for Rehabilitation*” GTR”, 2011.
- [5] Yeheyis, M., Hewage, K., Alam, M.S., Eskicioglu, C., and Sadiq, R., “An overview of construction and demolition waste management in Canada: a lifecycle analysis approach to sustainability,” *Clean Technologies and Environmental Policy*, vol. 15, pp. 81-91, 2013.
- [6] del Río Merino, M., Izquierdo Gracia, P., and Salto Weis Azevedo, I., “Sustainable construction: construction and demolition waste reconsidered,” *Waste Management & Research*, vol. 28, pp. 118-129, 2010.

- [7] Mercader-Moyano, M.P. and Ramirez-de-Arellano-Agudo, A., "Selective classification and quantification model of C&D waste from material resources consumed in residential building construction," *Waste Management & Research*, vol. 31, pp. 458-474, May 2013.
- [8] Villoria-Sáez, P., del Río Merino, M., Porras-Amores, C., and San-Antonio González, A., "Assessing the accumulation of construction waste generation during residential building construction works," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 93, pp. 67-74, 2014.
- [9] Osmani, M., Glass, J., and Price, A.D., "Architect and contractor attitudes to waste minimisation," 2006.
- [10] Proyecto W2R. (2017, Marzo). *De residuos a recursos: Valorización integral de los residuos generados en la rehabilitación energética de edificios. Proyecto BIA2013-43061-R financiado por el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad a través del Programa Estatal de I+D+i Orientada a los Retos de la Sociedad*. Available: [http://www.edificacion.upm.es/tema/W2R\\_presenta.html](http://www.edificacion.upm.es/tema/W2R_presenta.html)
- [11] Instituto Valenciano de la Edificación. (2011). *Catálogo de soluciones constructivas para la rehabilitación energética de edificios existentes (Catalogue of construction solutions for the energy rehabilitation of existing buildings)*. 1.
- [12] Cype Ingenieros. (2016, September). *Cype Software for Architecture, Engineering and Construction. Arquimedes database (v.2014.c ed.)*. Available: <http://www.cype.com/>

## METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN PARA EDIFICIOS DE CONSUMO DE ENERGÍA CASI NULO DENTRO DEL PROYECTO NEED4B

MILLÁN BALLESTEROS, GEMA<sup>1</sup>; ZAMBRANA VASQUEZ, DAVID ALEJANDRO<sup>2</sup>; CONSERVA, ANDREA<sup>3</sup>; GIMENO FRONTERA, BEATRIZ<sup>4</sup>; MORALES GARCÍA, JAVIER<sup>5</sup>.

<sup>1</sup> Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos (CIRCE), Zaragoza, España  
E-mail: [gmillan@fcirce.es](mailto:gmillan@fcirce.es), Web: [www.fcirce.es](http://www.fcirce.es)

<sup>2</sup> Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos (CIRCE), Zaragoza, España  
E-mail: [zambrana@fcirce.es](mailto:zambrana@fcirce.es), Web: [www.fcirce.es](http://www.fcirce.es)

<sup>3</sup> Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos (CIRCE), Zaragoza, España  
E-mail: [aconserva@fcirce.es](mailto:aconserva@fcirce.es), Web: [www.fcirce.es](http://www.fcirce.es)

<sup>4</sup> Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos (CIRCE), Zaragoza, España  
E-mail: [bgimeno@fcirce.es](mailto:bgimeno@fcirce.es), Web: [www.fcirce.es](http://www.fcirce.es)

<sup>5</sup> Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos (CIRCE), Zaragoza, España  
E-mail: [jmorales@fcirce.es](mailto:jmorales@fcirce.es), Web: [www.fcirce.es](http://www.fcirce.es)

**PALABRAS CLAVE:** Edificios de energía casi nula. Análisis de ciclo de vida. Eficiencia Energética en edificios. Comportamiento de usuarios. Herramientas de simulación energética.

### RESUMEN

El sector de la edificación supone más del 40% del consumo total de energía en Europa. Por ello, la normativa europea trata de proporcionar herramientas suficientes para reducir el consumo energético de los edificios y mitigar, a su vez, los impactos medioambientales asociados. La Directiva Europea 2010/31/EU de Eficiencia Energética de Edificios (Directiva 2010/31/UE), junto con la Directiva Europea 2012/27/EC de Eficiencia Energética, establecen una serie de pautas, que, transpuestas a cada una de las regulaciones nacionales en los Estados Miembros, marcan una hoja de ruta para la consecución de una serie de

objetivos para el año 2020. En el caso de España, según se estableció en el Real Decreto 564/2017 (modificación del Real Decreto 235/2013), todos los edificios nuevos deberán ser de consumo de energía casi nulo a partir del 31 de diciembre de 2020. Al mismo tiempo que la normativa europea se actualizaba para conseguir reducir el impacto de los edificios en todos los Estados Miembros, el proyecto NEED4B, dentro del Séptimo Programa Marco de Investigación y Desarrollo de la Unión Europea, era aprobado para comenzar en febrero de 2012. Este proyecto, con una duración de 6 años, tiene como principal objetivo el desarrollo de una metodología replicable para el diseño, construcción y uso de edificios de consumo de energía casi nulo, siendo su objetivo 60kWh/m<sup>2</sup> año de consumo de energía primaria en 5 edificios demostradores, de distintas tipologías de uso y situados en distintas zonas climáticas en Europa. En esta comunicación se presenta la metodología desarrollada para la evaluación del impacto que tiene el uso en estos edificios, así como los principales resultados y conclusiones de su implementación por cada una de las fases en las que se divide, siendo de gran relevancia el análisis de las desviaciones entre la fase de diseño y la fase de uso de los distintos edificios.

## 1. INTRODUCCIÓN

El sector de la edificación en la Unión Europea (UE), representa aproximadamente el 40% del consumo total de energía final, y genera alrededor del 36% de las emisiones de CO<sub>2</sub> [1], [2]. A su vez, según el Plan de Eficiencia Energética de 2011, la Comisión Europea (CE) define el gran potencial de ahorro energético en el sector, estableciendo un ahorro mínimo entre el 60 y el 80% de Mtep/año para el año 2020, reduciendo así las emisiones de gases de efecto invernadero [1]. Para conseguir estos objetivos, la regulación europea sobre eficiencia energética en edificios: la Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios [3], y la Directiva de 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética [4], definen una serie de objetivos, y establecen medidas a implementar en el sector de la edificación, en todos los Estados Miembros (EU-28). Los objetivos definidos por la normativa europea son fijados para el año 2020, y en el artículo 9 de la Directiva 2010/31/UE, se establece como objetivo específico, que antes de final del año 2020, todos los edificios de nueva construcción, tengan un consumo de energía casi nulo o muy bajo, es decir, Nearly Zero-Energy Buildings, (NZEB) [2], [3]. Por otro lado, en cuanto a edificios nuevos, ocupados y cuya propiedad sea de autoridades públicas, la fecha se adelanta al 31 de diciembre de 2018. En el artículo 2, apartado 2, de la Directiva 2010/31/UE, se define “*edificio de consumo de energía casi nulo*” como “*un edificio con un nivel de eficiencia energética muy alto*”, por otro lado, “*la cantidad casi nula o muy baja de energía requerida, debería ser cubierta, en muy amplia medida, por energía procedente de fuentes renovables*” [2], [3]. En relación a la valoración del consumo energético de los edificios, el indicador principal empleado por los UE-28, será el indicador numérico del uso de energía primaria expresado en kWh/m<sup>2</sup>año [2].

Tras la aprobación de la Directiva 2010/31/UE, y su posterior transposición en los EU-28, las normativas vigentes en el sector de la edificación, en materia de eficiencia energética, se han ido revisando para adaptar los objetivos individuales, a los establecidos desde la UE. En el caso de España, el Código Técnico de la Edificación (CTE), aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, se modifica, actualizando el Documento Básico DB-HE “Ahorro de Energía”, aprobado por la Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre,

incluyendo una nueva sección HE 0 “Limitación del consumo energético”. Recientemente, teniendo en cuenta las exigencias y los objetivos establecidos por la Directiva 2010/31/UE para todos los UE-28, el documento se modifica en junio de 2017, incluyendo en la sección HE 0 la definición de “*edificio de consumo de energía casi nulo*” en su apéndice A de terminología. Dicha definición hace referencia a un “*Edificio que cumple con las exigencias reglamentarias para edificios de nueva construcción en las diferentes secciones de este Documento Básico*” [5], y desde la CE se han definido unas estimaciones de rangos de consumo de energía primaria, según tipología de edificio y según la zona climática, incluso el nivel de cobertura por parte de fuentes renovables [2]. Por ello, en el caso de España, un edificio nuevo que cumpla las exigencias del Código Técnico de la Edificación, será ya considerado edificio de energía casi nulo. La normativa, por tanto, proporciona unas herramientas para el diseño de edificios eficientes a partir de unos valores mínimos a cumplir. Así pues, continuando con el caso de España, desde la aprobación del Real Decreto 47/2007 de Certificación de Eficiencia Energética de Edificios, y el uso de las Auditorías Energéticas como herramienta principal de evaluación del consumo energético de cualquier tipo de instalación, se ha visto que el consumo de los edificios previsto en su fase de diseño difiere del consumo real durante la operación de los mismos.

En este contexto, dentro del proyecto europeo “New Energy Efficient Demonstration for Buildings” (NEED4B<sup>1</sup>) se desarrolla una metodología para la construcción de edificios de consumo de energía casi nulo. La metodología incluye tanto el diseño del edificio, como el proceso de construcción, e incluso el uso que se hace de éste. Se desarrolla a su vez el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de cada una de estas fases, incluyendo también el fin de vida del edificio. Así pues, el proyecto desarrolla una metodología, que se implementa en cinco edificios demostradores, de distintos usos (residencial y terciario), con una superficie total de 23.560m<sup>2</sup> en cuatro países europeos con distintas condiciones climatológicas (clima mediterráneo, oceánico y continental) que demuestran la viabilidad, al tiempo que sirven de referencia de nZEB, para distintas tipologías edificatorias y ubicaciones. El objetivo a conseguir, implementando dicha metodología, es un consumo de energía primaria inferior a 60 kWh/m<sup>2</sup>año. Sí bien, aunque no son comparables entre sí, debido a disponer de un objetivo común de demanda energética, las soluciones técnicas empleadas pueden ser replicables y sirven de referencia para la construcción de nuevos nZEB. Para ello, se analizan todas las fases de la vida de un edificio desde su diseño, y una vez construido, se monitoriza la fase de uso durante dos años consecutivos para analizar el impacto que tiene el factor usuario sobre el consumo energético. Cabe señalar, que otro objetivo definido a alcanzar, es utilizar soluciones cuya inversión tenga un periodo de retorno alrededor de 10 años máximo.

De este modo, para poder conseguir la realidad esperada de un edificio NZEB, es necesario considerar, una vez construido el edificio, si realmente se ha construido siguiendo los criterios de diseño, y, por otro lado, si una vez ocupado, se hace un uso eficiente de él, acorde a lo definido en la fase de diseño. Será pues, este último punto, el que se desarrolle en este documento.

---

<sup>1</sup> [www.need4b.eu](http://www.need4b.eu)

## 2. METODOLOGÍA

La Figura 1 muestra la metodología propuesta para el análisis del impacto del uso de los edificios demostradores, en la que se han definido una serie de indicadores, y han sido evaluados en 4 pasos.



Figura 1. Metodología de evaluación de indicadores.

En la primera fase, se han recogido todos aquellos datos, e indicadores evaluados en las distintas fases del proyecto, así como aquellos indicadores establecidos por la UE a través de la plataforma Smart Cities Information System [6]. Una vez analizada toda la información disponible, los indicadores se han filtrado y clasificado según los criterios de evaluación necesarios para analizar el comportamiento de los edificios.



Figura 2. Fases 1 y 2 de la metodología de análisis de indicadores de evaluación.

Para cada indicador, se definen las unidades de medida y se procede a su evaluación, para posteriormente, hacer las comparaciones necesarias que determinarán el impacto de determinadas variables sobre el funcionamiento de los edificios. Existen valores iniciales que provienen de las fases de diseño de los edificios, también indicadores definidos por la normativa vigente durante la fase de diseño, o una vez finalizado el edificio, si pasado ese tiempo, se ha actualizado. La comparativa entre valores iniciales, y valores obtenidos de la fase de uso, a través del sistema de monitorización, dará la información necesaria para conocer el funcionamiento real del edificio, y la desviación con los valores previstos inicialmente. Toda esta información, ha de ser correctamente validada por los gestores o propietarios de los edificios, ya que es probable que las desviaciones sean debidas a cambios en el uso del edificio o circunstancias particulares.

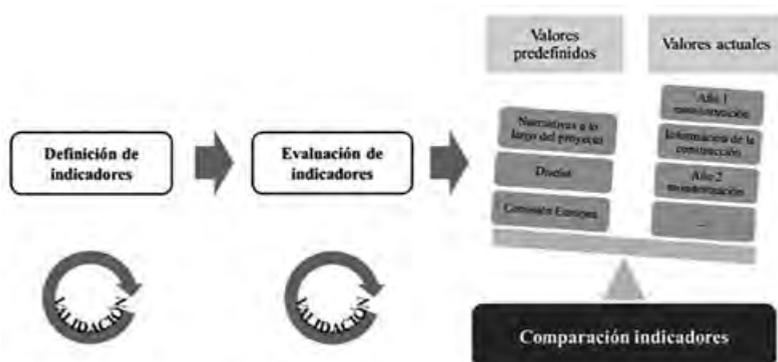


Figura 3. Fases 3 y 4 de la metodología de análisis de indicadores de evaluación.

Los principales indicadores para poder determinar el correcto funcionamiento de un edificio según lo definido en fase de diseño y construcción, son el consumo (kWh), las emisiones ( $\text{kgCO}_2$ ) y los costes (€) asociados. A través de la plataforma de monitorización diseñada dentro del proyecto NEED4B para recoger todos los datos asociados al funcionamiento diario de los edificios, se obtienen las variables que definirán los indicadores. En la fase de uso, a través del sistema de monitorización, se obtienen valores de funcionamiento real, que, en el caso de los indicadores energéticos, estarán definidos en energía final, y que será necesario transformar a energía primaria, tal como se requiere desde la UE [2].

Así pues, el indicador principal, que ayudará a evaluar el comportamiento de los edificios, según el cuarto paso definido en la Figura 4, será la energía primaria por superficie bruta acondicionada,  $\text{kWh/m}^2$  [1]. Este valor, se obtiene a partir de la energía final medida a través del sistema de monitorización instalado en cada uno de los edificios. A partir de este valor, y utilizando los factores de conversión nacionales o europeos, establecidos para transformar la energía final en energía primaria ( $\text{kWh/m}^2$ ), emisiones de  $\text{CO}_2$  ( $\text{kgCO}_2/\text{m}^2$ ) y coste ( $\text{€/m}^2$ ) [7], [8], se obtendrán el resto de indicadores. Todos los indicadores estarán repartidos según los usos de la energía en cada edificio: calefacción, refrigeración, ventilación, iluminación, agua caliente sanitaria y consumo de las bombas hidráulicas.

#### 4. CASOS DE ESTUDIO

Como caso de estudio para la demostración y validación de la metodología desarrollada, así como de la eficacia de las tecnologías empleadas dentro del proyecto NEED4B, se dispone de 5 edificios, que se clasifican teniendo en cuenta la climatología en la que se encuentran emplazados (Figura 5).

Tabla 1. Características de los edificios demostradores

Climatología	Tipología	Uso	Superficie acondicionada
Océánico	Residencial	Vivienda unifamiliar	278m <sup>2</sup>
Mediterráneo (I)	Terciario	Comercial y administrativo	5.214 m <sup>2</sup>
Mediterráneo (II)	Terciario	Académico	17.756 m <sup>2</sup>
Continental (I)	Residencial	Vivienda laboratorio	314 m <sup>2</sup>
Continental (II)	Residencial	Vivienda unifamiliar	314m <sup>2</sup>



Figura 5. Localización de los casos de estudio según tamaño de superficie.  
O: Oceánico; C:Continental; M: Mediterráneo.

#### 4. RESULTADOS

Se presenta el análisis de los 5 edificios únicamente desde el punto de vista del consumo energético, con el fin de determinar si la metodología definida en el proyecto NEED4B, ha conseguido su objetivo: que los edificios sean NZEB, con un consumo de energía primaria inferior a  $60\text{kWh/m}^2$ .

Tabla 2. Tabla resumen de los consumos de energía primaria en los casos de estudio.

	Consumo estimado ( $\text{kWh/m}^2$ año)	Consumo real ( $\text{kWh/m}^2$ año)
C. oceánico	32,00	28,71
C. mediterráneo (I)	44,96	58,44
C. mediterráneo (II)	35,09	36,37
C. continental (I)	51,90	35,23
C. continental (II)	51,90	41,43

Como puede verse en la tabla anterior, en fase de diseño, todos los edificios se habían definido con criterios de eficiencia que minimizaran su consumo energético, pero en la etapa de uso, aunque aumenta, se mantienen los valores de consumo de energía primaria por debajo del objetivo establecido ( $60\text{kWh/m}^2\text{año}$ ). Si bien, tal y como se puede apreciar, tanto en la Tabla 2 como en la Figura 6, en los casos de estudio de los climas mediterráneos, el consumo real está por encima del consumo estimado.

Durante la fase de diseño, se han de estimar una serie de conceptos relacionados con el uso del edificio, desde niveles de ocupación, horarios, patrones y hábitos de los usuarios, o equipos, que, en el caso de los edificios residenciales, éstos tienen un mínimo impacto, y no

se han de tener en cuenta en el cálculo de la demanda energética, frente a edificios terciarios donde su repercusión es mayor.

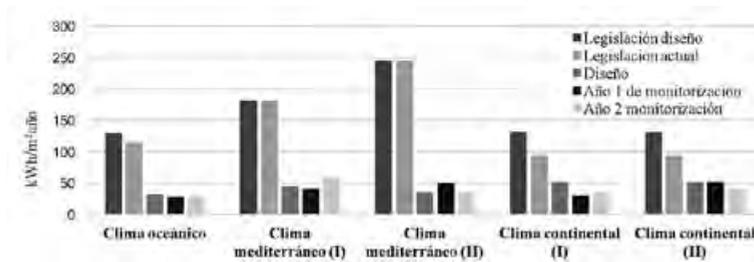


Figura 6. Gráfico de evolución de los consumos de energía primaria (kWh/m²/año) en cada una de las fases de evaluación.

Es por ello, que, en los casos de estudio correspondientes a vivienda residencial, el consumo es menor, y bastante estable, sobretodo en el caso del clima oceánico y el continental (II). Los dos casos de clima mediterráneo, corresponden a un edificio terciario, que, aunque de distinto uso, en ambos el factor usuario tiene un gran impacto en el consumo energético, sobre todo si se compara el consumo estimado, con el consumo real, o incluso entre distintos años de uso. Si, además se tiene en cuenta el aumento de las necesidades de refrigeración en el clima mediterráneo [9], [10], que viene incrementado por los distintos niveles de ganancias internas, debidas principalmente al grado de ocupación, y hábitos de uso, la diferencia es todavía mayor.

Se han llevado a cabo distintos estudios comparativos, que intentan ayudar tanto a la comprensión de la metodología desarrollada en el proyecto NEED4B, como a la evaluación del funcionamiento de los edificios. Por un lado, en relación a cómo fue el proceso de diseño de los edificios, la Tabla 3, muestra la diferencia de consumo estimado en cada uno de los edificios. Como ya se ha comentado previamente, el objetivo de la metodología desarrollada era conseguir edificios de bajo consumo, inferior a 60kWh/m²/año de energía primaria. Por ello, tras el análisis de la normativa vigente en cada uno de los países durante la fase previa al diseño, se tuvo que partir de condiciones de eficiencia mucho más restrictivas que lo que dictaba cada una de las regulaciones nacionales, para poder conseguir el objetivo. La duración del proyecto ha sido de 6 años, por lo que en muchos de los países de la UE se ha modificado la normativa durante este periodo para adaptarla a los objetivos definidos por la Directiva 2010/31/UE [2], [3]. Se puede ver en la misma tabla y en la Figura 6, tanto el descenso de los consumos debido a la restricción de la normativa en los últimos años, como la diferencia de un edificio de bajo consumo energético respecto a lo que se exige actualmente por las normativas europeas.

Tabla 3. Comparativa de los consumos en fase de diseño.

	Diseño vs Legislación diseño	Legislación actual vs Legislación diseño	Diseño vs Legislación actual
C. oceánico	-75%	-12%	-72%
C. mediterráneo (I)	-75%	0%	-75%
C. mediterráneo (II)	-86%	0%	-86%
C. continental (I)	-60%	-28%	-45%
C. continental (II)	-60%	-28%	-45%

En cuanto al análisis que se ha llevado a cabo sobre el uso en cada uno de los edificios demostradores, tras dos años de monitorización de las distintas variables que influyen en los consumos energéticos, los edificios de uso residencial tienen un consumo inferior al valor estimado en la fase de diseño. En cambio, aunque no en la misma medida, los edificios terciarios, estando ambos localizados en la misma zona climática, tienen un consumo superior al esperado. En este análisis, podemos analizar independientemente cada uno de los años de monitorización y cada uno de los edificios (Figura 6). En el caso del edificio mediterráneo (I), el primer año de monitorización, detectó un consumo energético inferior al estimado, pero tras la ocupación completa del edificio, el consumo ha aumentado. Así pues, el problema detectado está relacionado con el nivel de ocupación, y por tanto al nivel de cargas internas del edificio. Por otro lado, en relación al edificio mediterráneo (II), el consumo aumentó en un 43% (Figura 6) con respecto al consumo estimado. Tras un año de funcionamiento, gracias a la calibración y ajuste de los sistemas, y sobre todo a través de la concienciación de los usuarios, se ha conseguido optimizar el uso, y reducir por tanto el consumo energético en un 41%.

Tabla 4. Comparativa de los consumos en fase de uso.

	Año 2 vs Diseño	Año 2 vs Año 1
C. oceánico	-10%	+2%
C. mediterráneo (I)	+30%	+41%
C. mediterráneo (II)	+4%	-27%
C. continental (I)	-32%	+14%
C. continental (II)	-20%	-20%

Si se hace una valoración de la proyección futura del comportamiento de estos edificios, se puede llegar a la conclusión, que, durante los próximos 10 años, no va a haber cambio alguno en el comportamiento de los edificios, siendo que éste se ha optimizado durante los dos años de monitorización. Pasado ese tiempo, si el uso de éstos sigue siendo el mismo, para poder mantener los consumos dentro de los límites establecidos, es posible que sea necesario llevar acciones de mejora sobre el edificio y los sistemas, reemplazando algunos componentes por otros de mejores características. El ACV desarrollado en el proyecto tuvo en cuenta esta posible sustitución de materiales y componentes a lo largo de la vida del edificio, aunque no su posible repercusión en el consumo de los sistemas energéticos, al ser éste un estudio estático y no dinámico. Por ello, el análisis expuesto en este documento,

dentro del proyecto NEED4B, se ha llevado a cabo a partir de datos estáticos recogidos de un sistema de monitorización durante dos años. Futuros trabajos de investigación pueden incluir un análisis dinámico para poder estudiar diferentes escenarios a largo plazo.

## 5. CONCLUSIONES

Así pues, analizando las distintas fases de los edificios, en cuanto al diseño, se concluye, que la normativa actual vigente, en fase de diseño de un edificio, no es suficiente para conseguir que un edificio sea NZEB, por ejemplo, en el caso de España, como se expone en el CTE en su DB-HE. Además, en relación a la construcción, tal y como se ha definido en la metodología del proyecto NEED4B, es necesario prestar mucha atención a la calidad de los trabajos de construcción, llevando a cabo un exhaustivo control durante esta fase. Las normativas nacionales especifican una serie de criterios de diseño, que, si no están convenientemente ejecutados, el comportamiento del edificio diferirá en gran medida con lo estimado. Finalmente, en cuanto a la fase de uso del edificio, es conveniente prestar gran atención a este punto, ya que es fundamental para conseguir el objetivo, reducir el consumo en el sector de la edificación en los EU-28. Independientemente de la baja demanda energética de un NZEB y de los sistemas eficientes que la cubren, el consumo energético puede verse incrementado en gran medida debido a un mal uso, o uso ineficiente del edificio, siendo parecido a uno convencional. Tal y como incluye la metodología NEED4B, una medida de control para asegurar un correcto funcionamiento de un NZEB, será la instalación de un sistema de control y monitorización, que asegure unas condiciones de confort adecuadas, y que programe y regule el funcionamiento del edificio de forma automática según los parámetros definidos. Además, es importante destacar la necesidad de concienciación de los usuarios en eficiencia energética. Esta conclusión, sobretudo se pone de manifiesto en edificios terciarios, y no tanto en el sector residencial.

Teniendo en cuenta estos puntos, y la experiencia adquirida, a través de la construcción cada vez más eficiente de edificios en los últimos años en Europa, es posible conseguir que los nuevos edificios que se vayan construyendo en Europa en los próximos años sean NZEB. El principal reto se ha de centrar en el sector de edificios terciarios, y sobre todo en edificios públicos o de uso público.

## 6. RECONOCIMIENTOS

Este documento se ha desarrollado bajo el marco del proyecto ‘New Energy Efficient Demonstration for Buildings’ NEED4B financiado por la UE, por el programa Seventh Framework Programme [EeB.ENERGY.2011.8.1-1], con número de proyecto 285173.

## 7. ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

UE: Unión Europea.

CE: Comisión Europea.

EU-28: Países miembros de la UE desde el 1 de julio de 2013.

NEED4B: New Energy Efficient Demonstration for Buildings.

CTE: Código Técnico de la Edificación.

DB: Documento Básico.

NZEB: Nearly Zero-Energy Building.  
ACV: Análisis de Ciclo de Vida.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS (Y CITAS EN EL TEXTO)

- [1] Buildings Performance Institute Europe (BPIE), «Europe's buildings under the microscope - A country-by-country review of the energy performance of buildings,» 2011.
- [2] European Commission, «Recomendación (UE) 2016/1318 de la Comisión, de 29 de julio de 2016, sobre las directrices para promover los edificios de consumo de energía casi nulo y las mejores prácticas para garantizar que antes de que finalice 2020 todos los edificios nuevos sean e,» DOUE-L-2016-81405, 2016.
- [3] European Commission, «Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings,» Official Journal of the European Union, 2010.
- [4] European Commission, «Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC,» Official Journal of the European Union 315, 2012.
- [5] Ministerio de Fomento - Gobierno de España, «Documento Básico HE - Ahorro de Energía,» Orden FOM/588/2017, de 15 de junio, Junio 2017.
- [6] European Union, «EU Smart Cities Information System,» January 2018. [En línea]. Available: <http://smartcities-infosystem.eu/>. [Último acceso: 30 January 2018].
- [7] Ministerio de Industria, Energía y Turismo, «Factores de Emisión de CO<sub>2</sub> y Coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios en España,» 2014.
- [8] International Institute for Sustainability Analysis and Strategy (IINAS); UWE R. Fritsche, Hans-Werner GreB, «Development of the Primary Energy Factor of Electricity Generation in the EU-28 from 2010-2013,» Darmstadt, March, 2015.
- [9] European Environment Agency, «Heating and cooling degree days,» Copenhagen, 2016.
- [10] European Environment Agency, «Indicators - Heating and cooling degree days,» EEA, 19 December 2016. [En línea]. Available: [www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/heating-degree-days/assessment](http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/heating-degree-days/assessment). [Último acceso: 29 enero 2018].

**PANELES SOLARES HÍBRIDOS:  
ELECTRICIDAD Y CALOR EN UN SOLO PANEL**

MEDRANO MEDRANO, ISABEL<sup>1</sup>; SIMÓN ALLUÉ, RAQUEL<sup>2</sup>; BRUN GRESA, GONZALO<sup>3</sup>

*<sup>1</sup> EndeF Engineering, Zaragoza, España*

*E-mail: [isabel.guedea@endef.com](mailto:isabel.guedea@endef.com), Web: <http://endef.com/>*

*<sup>2</sup> EndeF Engineering, Zaragoza, España*

*E-mail: [raquel.simon@endef.es](mailto:raquel.simon@endef.es), Web: <http://endef.com/>*

*<sup>3</sup> EndeF Engineering, Zaragoza, España*

*E-mail: [gonzalo.brun@endef.com](mailto:gonzalo.brun@endef.com), Web: <http://endef.com/>*

**PALABRAS CLAVE:** ENERGÍA SOLAR, PANEL SOLAR HÍBRIDO, ELECTRICIDAD, CALOR, EDIFICACIONES.

**RESUMEN**

Las nuevas directivas europeas en materia de construcción están orientadas a la obtención de edificios de consumo energético casi nulo. Para ello, el desarrollo e implantación de energías renovables que sean capaces de satisfacer necesidades energéticas mediante una producción limpia, asequible e in-situ, se erige como una estrategia fundamental. Es por ello que presentamos en este trabajo la aplicación de una tecnología emergente, los paneles solares híbridos, capaces de proporcionar energía térmica y eléctrica en un mismo panel. Gracias a esta producción dual, este tipo de paneles aumenta la cantidad total de energía producida por m<sup>2</sup> en un 40% respecto a las soluciones tradicionales de colector térmico y panel fotovoltaico, lo que hace de su implantación una opción muy interesante en edificaciones con limitación de espacio en cubierta, como ocurre frecuentemente en centros urbanos. En este trabajo se estudia su aplicación a tres tipologías de edificios con consumos energéticos tipo asociados a sector residencial y terciario (hotel, polideportivo), para lo cual

se han considerado a su vez diferentes tipos de paneles solares híbridos, asignados según su temperatura de abastecimiento. El análisis final abarca desde la producción eléctrica y térmica de cada instalación a los ahorros obtenidos tanto en términos económicos como en disminución de emisiones de  $\text{CO}_2$ .

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Híbridos-edificios casi cero emisiones

La Directiva Europea 2010/31/UE establece que todos los edificios nuevos construidos en la Unión Europea a partir de 2020 deberán ser edificios de consumo energético casi nulo, promoviendo la mejora de la envolvente térmica, la producción in-situ de energía renovable y la instalación de equipos de alta eficiencia energética. El cumplimiento de estos compromisos requiere una mayor generación de energía renovable en el sector de la edificación mediante tecnologías limpias y asequibles económicamente, entre las cuales la energía solar sobresale como una de las alternativas más prometedoras. Desde el comienzo del desarrollo de la tecnología solar, se han diferenciado dos tipologías de paneles: los módulos fotovoltaicos que generan electricidad y los colectores térmicos que calientan agua. De la combinación ambas tecnologías surgen los paneles híbridos. Se entiende por panel solar híbrido al panel solar que es capaz de transformar la irradiación solar en electricidad y calor de forma simultánea, y que superpone ambas tecnologías en un mismo panel. El panel híbrido es comúnmente conocido como PVT, de sus siglas en inglés (Photovoltaic/Thermal). A su versión de concentración se le denomina CPVT (Concentrating Photovoltaic/Thermal), y cuando se utiliza para integración arquitectónica, se denomina BIPVT (Building Integrated Photovoltaic/Thermal), aunque hasta el momento esta tecnología se haya todavía en fase de prototipo.

Desde una perspectiva global, el incremento sustancial del precio del petróleo potenció que su desarrollo se produjese en la década de los 70 [1]. Sin embargo, su desarrollo está motivado por tres conceptos diferentes que convergen hacia esta misma solución tecnológica: un mejor aprovechamiento de la irradiación solar, refrigeración del laminado FV para mejora de su eficiencia y optimización de espacio en cubierta [2]. Analizando con mayor profundidad el primer concepto del que parte la tecnología híbrida, de toda la irradiación incidente se estima que un 5% es reflejado, en torno a un 20% es convertido en electricidad y el 75% restante, es disipado al ambiente en forma de calor [3]. Este calor que, en un módulo fotovoltaico es disipado al ambiente, puede ser aprovechado para otras aplicaciones mediante diferentes sistemas de intercambio de calor, fluidos, geometrías, etc.

La tecnología híbrida presenta importantes ventajas como: reducción de la superficie necesaria para generar la misma energía que paneles térmicos y fotovoltaicos por separado, mejora del rendimiento FV, tecnología limpia, disminución de ruidos, reducción de las emisiones por  $\text{m}^2$  frente a otras tecnologías solares por separado, bajo mantenimiento, etc [4], [5]. Sin embargo, también presenta ciertas desventajas que tienen que ser resueltas, como la refrigeración no uniforme del módulo fotovoltaico, tecnología incipiente (y por tanto necesita un periodo de maduración) o los costes de instalación elevados. Otras cosas que se podrían mejorar es su integración arquitectónica o la fiabilidad de sus cálculos, ya que un mal dimensionamiento o mantenimiento puede tener problemas de sobrecalentamiento en los meses de verano en climas cálidos.

A continuación, en el trabajo se expondrán diferentes soluciones de paneles híbridos desde los más eficientes hasta los más rentables, permitiendo dar una solución real, sostenible y de calidad para alcanzar los edificios cero emisiones con ayuda de la energía solar, aprovechando al máximo el espacio disponible en cubierta.

### 1.2 Tipos de paneles solares híbridos

Dentro de las diferentes tipologías existentes, los más extendidos por su eficiencia son los refrigerados por agua, PVT/w. Según sus aislamientos posterior y frontal, se pueden clasificar en tres grupos (ver Figura 1):



Figura 1: Tipología de paneles refrigerados por agua, PVT/w, según el nivel de aislamiento.

- PVT-0: corresponde a un módulo fotovoltaico al cual se le adosa un recuperador de calor que no está aislado térmicamente del ambiente por su cara posterior. Este diseño está concebido para refrigerar al máximo las células fotovoltaicas no siendo interesante el calor recuperado. Su temperatura de estancamiento no suele superar los 70°C. El objetivo de este modelo es maximizar la generación eléctrica mediante la refrigeración de las células. Un ejemplo de este modelo serían los módulos termodinámicos híbridos, aunque en este caso, en vez de ser refrigerados por agua, lo hace mediante un refrigerante (como un ciclo de bomba de calor).
- PVT-1: corresponde a los paneles híbridos que tienen adosado un recuperador de calor por la cara posterior y a su vez está aislado térmicamente del ambiente. Su objetivo es reducir las pérdidas de calor por la parte trasera del panel, aprovechando parte de calor pero para aplicaciones de baja temperatura. Se instala generalmente en climas cálidos y donde interese maximizar la generación eléctrica. Su temperatura de estancamiento ronda los 85°C.
- PVT-2: corresponde con un PVT-1 al cual se le adosa una cubierta que aísla térmicamente el panel también por la cara frontal. Esta cubierta tiene doble objetivo: evitar las pérdidas de calor al ambiente que tiene el panel por esta cara y ser lo más transparente posible, para evitar también las pérdidas por reflexión. Como resultado, el calor que no es disipado al ambiente es transferido al fluido que circula por el interior del recuperador, aumentando el rendimiento térmico del panel y la energía generada por unidad de superficie. Dicha cubierta frontal, normalmente denominada cubierta transparente aislante (CTA), puede tener diferentes características de las cuales destacan 4 tipologías: CTA-Aire, CTA-TIM (*Transparent Insulating Material*), CTA-Va-

cio y CTA-GN (Gas neutro). Para evitar el sobrecalentamiento del panel, se aumenta el caudal de diseño adecuándolo al rango de temperaturas en el que se desea trabajar. Al reducir las pérdidas de calor por ambas caras, la temperatura de estancamiento sube considerablemente, hasta alcanzar los 150°C, resultando un panel con una alta eficiencia térmica

## 2. DESARROLLO/METODOLOGÍA

En este trabajo se presenta un estudio comparativo en el que se analizan la eficiencia y viabilidad económica resultante de la aplicación de distintos tipos paneles híbridos a tres casos básicos en edificación: hotel, vivienda unifamiliar y polideportivo.

### 2.1 Características de los paneles híbridos

Puesto que la elección del tipo de panel híbrido viene supeditada a demanda energética de la instalación final, se ha planteado en este trabajo un análisis de tres demandas energéticas tipo dentro del ámbito de la edificación, como son: hotel de 4 estrellas, vivienda unifamiliar y polideportivo. Para cada uno de los casos se plantea la instalación de un tipo de panel híbrido: PVT-0, PVT-1 y PVT-2.

Las características térmicas de un panel híbrido vienen generalmente determinadas por tres coeficientes: el rendimiento óptico ( $\eta_0$ ) y dos coeficientes asociados a las pérdidas ( $a_1$ ,  $a_2$ ). El valor de estos coeficientes se puede obtener experimentalmente y vienen condicionados por el grado de absorción del panel, la disposición de los elementos dentro del panel y muy fundamentalmente por el material y configuración del recuperador de calor. Estos coeficientes condicionan directamente la eficiencia térmica del módulo, que se define como indica la Ec. 1 en función de ellos, de la radiación solar ( $G$ ) y de las temperaturas media del pane ( $v_m$ ) y ambiental ( $v_a$ ).

$$\eta_{hem} = \eta_0 - a_1 \frac{v_m - v_a}{G} - a_2 G \left( \frac{v_m - v_a}{G} \right)^2 \quad (1)$$

Para este estudio se han considerado 3 paneles comerciales, cuyos coeficientes térmicos y principales características vienen recogidos en la Tabla 1.

Tabla 1: Principales características térmicas de los paneles utilizados para el estudio.

Parámetros		PVT-0	PVT-1	PVT-2
$\eta_0$	[-]	0.34	0.513	0.51
$a_1$	[W/m <sup>2</sup> k]	7.54	7.68	4.93
$a_2$	[W/m <sup>2</sup> k <sup>2</sup> ]	0.37	0.014	0.021
<b>Modelo</b>		Solar Energy SEB 3	AnafSolar H-NRG	ECOMESH
<b>Material absorbedor</b>		Aluminio	Aluminio	Cobre
<b>Configuración abs.</b>		Lámina-tubo	Roll-bond	Lámina-tubo
<b>Potencia (W)</b>		275 W	230 W	265 W
<b>Peso (kg)</b>		-	34 kg	45 kg

El modelo de panel PVT-0 utilizado pertenece a la marca comercial Solar Energy Booster, modelo SEB 3, y está certificado a nivel europeo bajo la acreditación KIWA. Este panel se compone de un laminado FV de células monocristalinas, con una potencia pico máxima de 275 W, a la que adhiere una lámina de aluminio con un tubo de aluminio con forma de meandro de 8mm de diámetro por donde circula el fluido refrigerante. Este modelo no incluye aislamiento trasero ni cubierta frontal, sino que se enmarca en unos perfiles laterales de aluminio y se cierra posteriormente con una trasera básica de aluminio que protege el panel de la suciedad.

El modelo PVT-1 pertenece a la casa comercial AnafSolar, modelo de panel H-NRG. Se trata de un modelo de primera generación con células policristalinas de 230 W de potencia pico. Al laminado FV se le une por la cara posterior un absorbedor de aluminio de tipo roll-bond, con un gran número de canales dibujados sobre la lámina por donde discurre el fluido. Este tipo de panel incorpora una capa de aislamiento posterior que reduce las pérdidas de calor por esa cara.

El modelo PVT-2 se corresponde con el modelo ECOMESH, cuyas características térmicas y eléctricas han sido testeadas por CENER. Este panel está formado por un laminado de células policristalinas con una potencia pico de 265 W, unido mediante una capa de adhesivo EVA a un absorbedor de cobre, compuesto de una lámina y una parrilla vertical de tubos de cobre de 8 mm de diámetro. Por la parte posterior, el panel se completa con una capa de lana de roca de 6 cm mientras que la parte frontal incorpora una CTA-GN con argón como gas circulante en la cámara, inyectado con una tecnología patentada por EndeF.

Las características de estos tres paneles han servido de base para los cálculos de consumos y abastecimientos energéticos de los casos de aplicación que a continuación se exponen.

**2.2 Casos de aplicación**

Los tres casos de aplicación se corresponden con tres demandas energéticas tipo dentro del ámbito de la edificación, como son: hotel, vivienda unifamiliar y centro polideportivo. Como lugar de referencia para las edificaciones se ha elegido la ciudad de Zaragoza, perteneciente a la zona climática D3 y con un valor de irradiación total en horas solares pico de 1745. La distribución de radiación y temperaturas de esta ciudad a lo largo del año se recoge en la Figura 3.

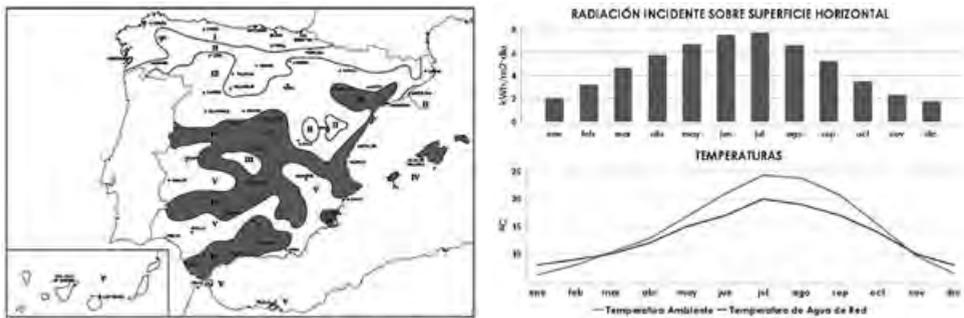


Figura 3: Condiciones meteorológicas de la ciudad de Zaragoza, localización establecida para los tres casos.

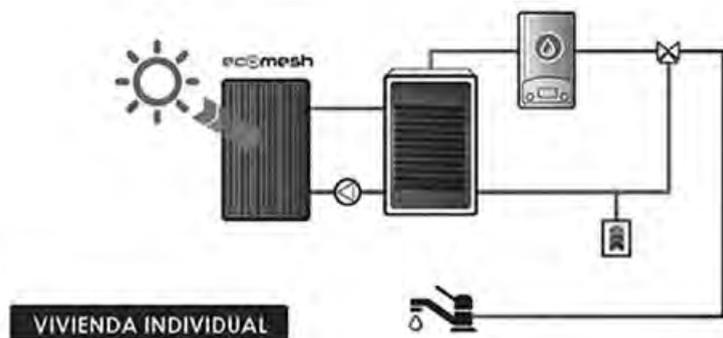


Figura 4: Esquema hidráulico general considerado en los casos de aplicación.

El esquema hidráulico considerado para los tres casos se muestra en la Figura 4, y se corresponde con un sistema solar térmico simplificado para producción de ACS con acumulador solar con intercambiador interno con apoyo de sistema auxiliar, en este caso concreto caldera de gas. El volumen del tanque de acumulación supuesto en cada uno de los casos se ajustará en función del número de placas, ya que su relación viene delimitada por el CTE.

El cálculo y dimensionamiento de los diferentes sistemas aquí planteados se han llevado a cabo mediante un software de simulación desarrollado por Endef, llamado ECOMESH software, que permite obtener datos de consumos y demandas térmicas a partir del número de usuarios, tipo de edificación y localización de la misma, y calcular la producción tanto eléctrica como térmica de una instalación solar híbrida. Los resultados han sido contrastados con la herramienta de simulación dinámica TRANSOL, que sirve de motor de cálculo a la herramienta de dimensionado proporcionada por el ministerio CHEQ4 para asegurar el cumplimiento del CTE en las instalaciones solares.

La descripción de los tres casos de aplicación se detalla a continuación.

#### *Caso 1: Hotel\*\*\*\**

En el caso de estudio tipo hotel se ha elegido un hotel de 4 estrellas situado en Zaragoza, cuyo consumo medio diario por persona se establece en 55 l, según la tabla 4.1 del DB HE4 del CTE [6]. El tamaño del hotel se ha establecido a partir de su número de usuarios, fijado en un máximo de 80, al que se le ha supuesto un nivel de ocupación media de 50%, acorde con los datos proporcionados por el Instituto de Estadística como media nacional en 2016 [7]. La producción eléctrica generada de los paneles híbridos instalados se considera un aporte adicional de la instalación pero no contribuye a incrementar el porcentaje de abastecimiento recogido en el CTE. Teniendo en cuenta el alto consumo asignado por usuario en este tipo de edificios, se ha propuesto para el cálculo abastecer la demanda energética con la configuración de paneles híbridos que más eficiencia térmica presentan, es decir, los de segunda generación o PVT-2.

#### *Caso 2: Vivienda unifamiliar*

En el caso de estudio correspondiente a vivienda se ha supuesto una vivienda unifamiliar, de 3 dormitorios y 4 usuarios, con un consumo medio de 28 l por persona y día, según se indica en el CTE. En este caso, al tener un consumo unitario por usuario menor que en el caso del hotel, se ha propuesto el uso de placas híbridas de primera generación o PVT-1.

*Caso 3: Centro polideportivo*

El último caso planteado ha sido otro edificio del sector terciario, pero enfocado a ocio en vez de uso habitable. Concretamente, se plantea un centro deportivo de 200 usuarios con un consumo de agua caliente sanitaria de 21 l/persona y día. Para el dimensionamiento de la instalación se ha supuesto un nivel de ocupación media de 70% y el objetivo de cubrir parcialmente el consumo de ACS para duchas y vestuarios. Este tipo de centros cuenta con una ventaja clave en términos de abastecimiento con sistemas solares, y es que presentan un perfil de demanda diario por lo que la energía generada en los paneles puede ser consumida directamente sin necesidad de acumulación. Aunque los dispositivos de acumulación deban instalarse igualmente, sí se reducen las pérdidas asociadas a la acumulación. Dado el menor consumo diario por persona y la reducción de pérdidas de acumulación, para el abastecimiento de este centro polideportivo se ha propuesto el uso de placas de generación cero o PVT-0.

El dimensionamiento de las instalaciones se ha llevado a cabo bajo la premisa de abastecer un mínimo del 60% de la demanda térmica generada en cada edificación, según lo establecido en la normativa española vigente para nuevas edificaciones, DB HE. Sin embargo, además de la exigencia establecida a nivel nacional hay que tener en cuenta las ordenanzas municipales que rigen en cada localización, ya que en algunos casos pueden ser más restrictivas que la normativa estatal. Es por ello que aquí se plantea también el cumplimiento de la Ordenanza municipal de Zaragoza [8]. En todos los casos planteados la electricidad generada se consumiría en régimen de autoconsumo. En los dos primeros casos, al no superar los 10 kW instalados, no sería necesario considerar el impuesto al sol. Puesto que se trata de casos teóricos y no se cuenta con planos de las instalaciones, no se ha tenido en cuenta restricciones de espacio que comúnmente se dan en las cubiertas de ciertos edificios. Sin embargo, la colocación de placas híbridas en vez de las comunes fotovoltaicas o térmicas garantiza que el aprovechamiento energético de la superficie hábil será máximo.

**3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

A continuación se muestran los principales resultados obtenidos relativos a los tres casos de estudio, donde se han calculado los valores mensuales y media anual de demandas, producciones térmicas y eléctricas o cobertura solar térmica entre otros.

En el caso del hotel de sector terciario, se necesitan un total de 40 paneles híbridos del modelo ECOMESH, para abastecer el 60% de las demandas térmicas generadas en el edificio bajo los supuestos arriba mencionados. Las 40 placas conllevan una superficie total de captación de 65.6 m<sup>2</sup>. El volumen del tanque de acumulación se ha fijado en 5000l, lo que garantiza el correcto cumplimiento del CTE.

Tabla 2: Tabla resumen del caso 1: 40 paneles híbridos PVT-2 en hotel\*\*\*\*.

[kWh]	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Annual
<b>Demanda térmica</b>	4.125	3.654	3.966	3.685	3.569	3.301	3.173	3.252	3.301	3.649	3.838	4.125	<b>43.638</b>
<b>Producción térmica</b>	1.949	2.264	2.843	2.732	2.774	2.641	2.538	2.602	2.641	2.418	2.058	1.736	<b>29.196</b>
<b>Cobertura solar térm.</b>	47%	62%	72%	74%	78%	80%	80%	80%	80%	66%	54%	42%	<b>67%</b>
<b>Producción eléctrica</b>	708	850	1.150	1.139	1.298	1.373	1.434	1.378	1.258	948	719	676	<b>12.931</b>
<b>Ahorro CO<sub>2</sub></b>	11.450 kgCO <sub>2</sub> / año						286 kgCO <sub>2</sub> / año panel						
<b>Ahorro €</b>	4.318 € / año						108 € / año panel						
<b>Inversión</b>	Total 52.000 €						1.300€/panel						

Para cubrir las demandas de ACS generadas en una vivienda unifamiliar de 3 dormitorios, se han calculado 2 paneles solares híbridos de primera generación. Con ello, aseguramos cubrir el 63% de la demanda térmica calculada, con un ahorro anual por panel de 106 € y una disminución en las emisiones de CO<sub>2</sub> de 279 Kg. El área total de captación de las 2 placas asciende a 3.3 m<sup>2</sup>, por lo que el tanque de acumulación supuesto ha sido de 300l, lo que garantiza el correcto cumplimiento del CTE.

Tabla 3: Tabla resumen del caso 2: 2 paneles híbridos PVT-1 en vivienda unifamiliar.

[kWh]	Enc.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Annual
Demanda térmica	210	186	202	188	182	168	162	166	168	186	195	210	2.223
Producción térmica	90	107	136	130	132	130	130	133	126	114	96	79	1.403
Cobertura solar térm.	43%	58%	67%	69%	73%	77%	80%	80%	75%	62%	49%	38%	63%
Producción eléctrica	35	43	57	57	65	69	72	69	63	47	36	34	647
Ahorro kCO <sub>2</sub>	558 kgCO <sub>2</sub> / año						279 kgCO <sub>2</sub> / año panel						
Ahorro €	211 € / año						106 € / año panel						
Inversión	Total: 3.500 €						1.750 € /panel						

En el caso del polideportivo, dadas las características térmicas del panel de generación cero (PVT-0) frente al de primera o segunda generación que reducen las pérdidas, aumenta sobremanera el número de paneles a instalar para cumplir con el porcentaje mínimo exigido en el CTE. Aunque los valores de demanda sean similares a los del hotel, se han necesitado el doble de paneles, 80, para poder cumplir con la normal. La superficie total de captación asciende a 130.4 m<sup>2</sup>, por lo que se ha supuesto un volumen de acumulación de 8000l.

Tabla 4: Tabla resumen del caso 3: 80 paneles híbridos PVT-0 en centro polideportivo.

[kWh]	Enc.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Annual
Demanda térmica	5.512	4.883	5.300	4.924	4.770	4.411	4.240	4.346	4.411	4.876	5.129	5.512	58.314
Producción térmica	2.115	2.587	3.322	3.184	3.220	3.178	3.242	3.230	3.084	2.745	2.282	1.834	34.025
Cobertura solar térm.	38%	53%	63%	65%	68%	72%	76%	74%	70%	56%	44%	33%	60%
Producción eléctrica	1.415	1.700	2.299	2.278	2.595	2.747	2.868	2.756	2.517	1.895	1.439	1.352	28.863
Ahorro kCO <sub>2</sub>	16.366 kCO <sub>2</sub> / año						305 kCO <sub>2</sub> / panel						
Ahorro €	6.474 € / año						81 € / panel						
Inversión	Total: 92.000 €						1.150 € /panel						

Al comparar los tres casos de estudio, se observa que el ahorro estimado por panel se reduce al disminuir la eficiencia térmica del panel, que a su vez condiciona la eficiencia total del panel. Esa disminución también afecta a la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas por cada panel. Por otro lado, la inversión por panel depende no tanto del tipo de panel si no del tamaño total de la instalación, por lo que para instalaciones pequeñas (Caso 2) el coste por panel es muy superior al de instalaciones mayores (Casos 1 y 3).

La comparación directa de los tres casos de aplicación se ha realizado bajo la normativa de ámbito común en todo el país, el CTE. Sin embargo, como se ha comentado, la aplicación vigente en Zaragoza obliga al cumplimiento de lo expuesto en la Ordenanza municipal, que conlleva cubrir el 70% de la demanda de ACS en nuevas construcciones. Bajo esta premisa se han redimensionado las instalaciones de los casos de aplicación, dando como resultado el número de paneles expuesto en la Tabla 5.

Por otro lado, si se asume que uno de los objetivos principales de dicha ordenanza es el de reducir la cantidad total de emisiones de gases contaminantes por medio de la implanta-

ción de energías renovables, como es en este caso con la incorporación de paneles solares, se puede hacer una segunda interpretación de la norma de forma que la medida de cumplimiento sea la cantidad total de CO<sub>2</sub> evitado a la atmósfera. De esta manera, el objetivo sería cubrir el ahorro de emisiones de CO<sub>2</sub> correspondientes a la generación de la parte térmica, en el caso de que se cubriese el 70% de esa demanda con paneles híbridos. Por tanto, del ahorro total de emisiones propuesto en la Tabla 5 para los 3 casos cubriendo el 70% de la demanda térmica de cada uno, se ha calculado la cantidad correspondiente a la producción térmica del panel, sin considerar la eléctrica, y se han redimensionado las instalaciones con el objeto de cubrir dicha cantidad pero con el aporte esta vez de la doble generación de los paneles.

Tabla 5: Comparativa de tamaño de instalación según normativa aplicada.

Requisimientos generales		DB HE - CTE	Ordenanza municipal % (ZgZ)	Ordenanza municipal CO <sub>2</sub> (ZgZ)
		60% demanda térmica	70% demanda térmica	Igualar emisiones parte térmica
<b>Caso 1</b>	Nº Paneles	40	45	27
	Ahorro Emisiones	11.450 kgCO <sub>2</sub> / año	12.261 kgCO <sub>2</sub> / año	8.261 kgCO <sub>2</sub> / año
<b>Caso 2</b>	Nº Paneles	2	3	2
	Ahorro Emisiones	558 kgCO <sub>2</sub> / año	706 kgCO <sub>2</sub> / año	558 kgCO <sub>2</sub> / año
<b>Caso 3</b>	Nº Paneles	80	120	50
	Ahorro Emisiones	16.366 kgCO <sub>2</sub> / año	21.754 kgCO <sub>2</sub> / año	11.194 kgCO <sub>2</sub> / año

Como consecuencia de considerar las emisiones evitadas no sólo por la parte térmica sino también por la generación eléctrica, se consigue disminuir notablemente el tamaño necesario de instalación para cumplir con los requisitos de lo estipulado en la Ordenanza Municipal de Zaragoza. Esa variación es mayor en el caso del PVT-0, donde la contribución de la parte térmica en la generación total de energía del panel es menor que en los casos con más nivel de aislante y por tanto la consideración de la parte eléctrica varía de forma notoria el número de paneles a instalar.

#### 4. CONCLUSIONES

El endurecimiento de las normas vigentes relativas al consumo energético en nuevas construcciones obliga a aumentar la presencia de energía renovable en este sector. Dentro de este marco, la implementación de energía solar como medio de producción de energía limpia in-situ en un país como España, con alta cobertura solar, se plantea como una solución prometedora. En aquellos casos donde haya limitación de espacio en cubiertas se propone la utilización de placas solares híbridas, que producen más energía por m<sup>2</sup> de captación, ya que son capaces de generar energía eléctrica y térmica en un mismo panel. El tipo de panel híbrido óptimo a utilizar dependerá de los requerimientos energéticos de la edificación, eligiendo si se quiere potenciar la generación eléctrica (PVT-0) o térmica (PVT-2) del panel. En ambos casos, la instalación de paneles solares híbridos puede contribuir de manera decisoria en el cumplimiento del CTE y de las ordenanzas municipales que imperen en cada caso, ya que en algunos casos son más restrictivas que el propio código técnico. El uso de paneles híbridos es muy recomendable en casos con limitaciones de espacio en cubierta y permite cumplir normativas referentes a la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, consiguiendo así avanzar hacia el objetivo de construcción de edificios cero emisiones.

## 5. ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

CTA	Cubierta Transparente y Aislante
PVT	Panel solar híbrido (del inglés: Photovoltaic/Thermal)
PVT/w	Panel híbrido refrigerado con agua
TIM	CTA (del inglés: Transparent Insulation Cover)
$\eta_0$	Coficiente de rendimiento óptico [-]
$a_1$	Coficiente de pérdidas [W/m <sup>2</sup> k]
$a_2$	Coficiente de pérdidas [W/m <sup>2</sup> k <sup>2</sup> ]

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Martin Wolf, "Performance analyses of combined heating and photovoltaic power systems for residences," *Energy Convers.*, vol. 16, no. 1–2, pp. 70–90, 1976.
- [2] J. J. Michael, I. S, and R. Goic, "Flat plate solar photovoltaic-thermal (PV/T) systems: A reference guide," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 51, pp. 62–88, 2015.
- [3] B. Parida, S. Iniyan, and R. Goic, "A review of solar photovoltaic technologies," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 15, no. 3, pp. 1625–1636, 2011.
- [4] A. del Amo, A. Martínez-gracia, A. A. Bayod-rújula, and J. Antoñanzas, "An innovative urban energy system constituted by a photovoltaic/thermal hybrid solar installation: Design, simulation and monitoring," *Appl. Energy*, vol. 186, pp. 140–151, 2017.
- [5] M. Zapater Herrando, "Analysis of solar hybrid PV- Thermal (PVT) systems for heat and power supply in buildings," Universidad de Zaragoza, 2017.
- [6] Ministerio de Fomento, *Documento Básico de Ahorro de Energía HE. Código Técnico de Edificación*. Gobierno de España, 2017, pp. 1–129.
- [7] Instituto Aragonés de Estadística, "Informe mensual sobre ocupación hotelera, viajeros, pernотaciones, estancia media, grado de ocupación por plazas y personal empleado en España, Aragón, Huesca, Teruel, Zaragoza, Zaragoza capital y Pirineo aragonés.," Zaragoza, 2017.
- [8] Ayuntamiento de Zaragoza, *Ordenanza Municipal de ecoeficiencia energética y utilización de energías renovables en los edificios y sus instalaciones*. España: Diputacion Provincial de Zaragoza, 2009.

**ANÁLISIS DE UN INTERCAMBIADOR TIERRA-AIRE (EAHX),  
ATENDIENDO AL COMPORTAMIENTO CÍCLICO ESTACIONAL  
DE LAS TEMPERATURAS DEL TERRENO  
QUE ENVUELVE A LOS TUBOS**

GARCÍA BALLANO, CLAUDIO JAVIER<sup>1</sup>; MONNÉ BAILO, CARLOS<sup>2</sup>;  
SÁNCHEZ ITURBE, MANUEL<sup>3</sup>; GARCÍA APARICIO, EDUARDO<sup>4</sup>

*<sup>1</sup> Universidad San Jorge, Zaragoza, España*

*E-mail: cjpgarcia@usj.es, Web: <https://www.usj.es/estudios/grados/arquitectura>*

*<sup>2</sup> Universidad de Zaragoza, Zaragoza, España*

*E-mail: cmmb@unizar.es, Web: <https://eina.unizar.es/>*

*<sup>3</sup> IDEYA, Zaragoza, España*

*E-mail: msanchez@ideyared.es, Web: <http://www.ideyared.es/>*

*<sup>4</sup> Universidad de Zaragoza, Zaragoza, España*

*E-mail: egarciap@unizar.es, Web: <https://eina.unizar.es/>*

**PALABRAS CLAVE:** NZEB, energía renovable, geotermia, tubos canadienses, temperatura suelo.

**RESUMEN**

Una de las premisas en el diseño de los NZEB (Nearly Zero Energy Building - Edificios de Energía Casi Nula), es la de utilizar sistemas de recuperación de calor en los equipos de ventilación y climatización, con los que disminuir el consumo energético del edificio. La implementación de un intercambiador tierra-aire, “EAHX” (Earth-Air Heat Exchanges), en este tipo de edificios es una estrategia adecuada para conseguirlo.

Durante tres años consecutivos, se ha monitorizado el rendimiento del EAHX de un NZEB en Zaragoza (edificio CIEM - Centro de Incubación Empresarial), estudiando su comportamiento como sistema de almacenamiento de energía térmica estacional.

Partiendo de las condiciones climáticas de Zaragoza se dimensionó el sistema. El resultado fue la instalación de un EAHX compuesto por dieciocho conductos independientes (a tresbolillo) que comienzan y terminan en un sistema Tichelmann. Los conductos son de hormigón de 400 mm de diámetro exterior que han instalado a una profundidad media de 6,00 m., con una pequeña pendiente hacia el colector de entrada para recoger las posibles filtraciones de agua que se pudieran producir.

En la monitorización se han registrado diferentes temperaturas (aire exterior, aire a la entrada y salida de los tubos y suelo), así como el caudal circulante a través de ellos.

El estudio recoge los rendimientos energéticos del sistema a lo largo de tres años (2012, 2013 y 2014), analizando el comportamiento transitorio de los campos de temperatura a lo largo de las distintas estaciones se ha encontrado los mejores períodos de tiempo para el empleo del EAHX.

Los resultados mostraron que los meses de noviembre y mayo fueron, respectivamente, los mejores para el pre-calentamiento y pre-enfriamiento del aire utilizado en CIEM, llegando a alcanzar un COP de 80 para el sistema de climatización en estas estaciones intermedias y un periodo de retorno de inversión inferior a los tres años.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los llamados comúnmente tubos canadienses consisten en un intercambiador tierra-aire (Earth-air heat exchanges, EAHX). Su uso está basado en la utilización de una técnica que permite disminuir el consumo energético en los edificios y reducir el dimensionado de los equipos de climatización mediante el intercambio térmico con la tierra que los rodea. Consiste en la instalación de un número determinado de tubos enterrados a cierta profundidad, a través de los cuales circula el aire exterior empleado en la ventilación del edificio. Este sistema permite tanto pre-calentar como pre-enfriar el aire de climatización del edificio gracias a la transferencia térmica que se produce con el terreno. En el edificio CIEM de Zaragoza, se apostó desde el inicio del proyecto por esta técnica, permitiendo reducir en gran medida el consumo de energía y por tanto el dimensionado y coste de los sistemas propios de generación mediante energías renovables. Desde su puesta en marcha en 2011 se ha llevado a cabo una monitorización que ha permitido determinar el consumo real de energía del edificio CIEM y la contribución de los tubos canadienses (EAHX) en el ahorro energético global, permitiendo verificar su eficacia y eficiencia en climas de tipo continental como es el de Zaragoza, con gran amplitud térmica diaria (día-noche) como estacional (invierno-verano).

## 2. ANÁLISIS DEL INTERCAMBIADOR TIERRA-AIRE

### 2.1 Descripción del intercambiador Tierra-Aire en el edificio del CIEM

El intercambiador tierra-aire sobre el que se fundamenta el presente estudio, está formado por un conjunto de 18 tubos de hormigón de 50 m. de longitud, colocados en dos niveles. La disposición de los 9 tubos de cada hilera es al tresbolillo, y se encuentran situados a una profundidad de entre 4 y 6 m. La distancia entre centros de los tubos es de 1m. Para el dimensionado, disposición y longitud de los tubos se han tenido en cuenta aspectos económicos y funcionales, siendo en este caso de hormigón de 300 mm de diámetro interior

y 400 mm de diámetro exterior, con un coeficiente de transmisión térmica de  $0,93 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

A través del EAHX del edificio CIEM, se introduce el 100% del aire utilizado en el sistema de climatización, siendo el caudal variable entre el mínimo necesario para la ventilación, de  $5.480 \text{ m}^3/\text{h}$ , hasta los  $15.500 \text{ m}^3/\text{h}$  necesarios para climatizarlo mediante free-cooling.

En cada uno de los tubos, las velocidades de paso de aire están comprendidas entre  $1,19 \text{ m/s}$  y  $3,38 \text{ m/s}$ . Tanto el caudal de aire como las temperaturas de entrada y salida de aire han sido monitorizadas durante un periodo de 3 años y registrados sus valores cada quince minutos. El aire recorre, desde la rejilla de admisión en el colector del inicio de los tubos hasta la entrada al sistema de climatización del edificio una distancia de 60 metros, siendo de ellos los 50 metros de los tubos los destinados al intercambiador tierra-aire. El terreno de relleno seleccionado fue compactado por capas y humedecido con el fin de reducir al máximo la resistencia de contacto entre el terreno y los tubos mejorando así el intercambio de calor.

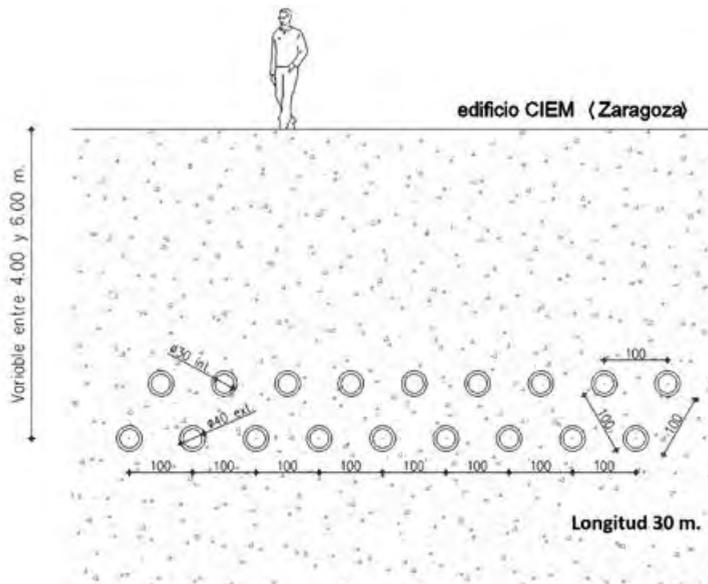


Figura 1: Sección transversal del Intercambiador Tierra-Aire.

## 2.2 $T^a$ del terreno y $T^a$ superficial del intercambiador

Para estudiar los fenómenos de transferencia energética que ocurren en un sistema de intercambio tierra-aire como son los tubos canadienses existen varios modelos, destacando el modelo propuesto por Benkert, S., Heidt, F.D. y Schöler [1]. Según éstos los autores se debe partir de las siguientes premisas:

- El terreno situado encima y alrededor del intercambiador se considera homogéneo y por lo tanto sus propiedades son constantes.
- Cuando consideramos intercambiadores formados por varios tubos, las interferencias entre ellos se consideran despreciables.

La temperatura de la pared del tubo va a depender en primer lugar del intercambio térmico que realiza con las capas profundas de tierra que le rodea. En segundo lugar, la temperatura de estas capas de tierra se ve influenciada por el hecho de haber sido modificadas con la introducción del propio intercambiador por el que hacemos circular una corriente de aire con una temperatura distinta a la del terreno que lo rodea.

La temperatura del terreno varía con la profundidad [2], desde una temperatura superficial, que evoluciona junto con la temperatura exterior en cada estación del año, hasta un valor prácticamente constante a partir de unos 8 metros.

Según Baehr y Stephan [3] la temperatura en la superficie del terreno durante un año se puede determinar mediante la siguiente expresión:

$$T_{z=0}(t) = T_m + (T_{max} - T_{med}) \cos \left( 2\pi \frac{t}{t_0} \right) \quad (1)$$

Donde:

$T_{z=0}(t)$	temperatura de la superficie suelo en el tiempo $t$ [°C]
$T_{med}$	temperatura media anual del ambiente [°C]
$T_{max}$	temperatura ambiente máxima anual en [°C]
$t$	tiempo [s]
$t_0$	duración del año en segundos (31.536.000) [s]
	fracción del año ( con = 0 ) para la máxima temperatura ambiente

Tanto Lunardini [4] como Kusuda [5] presentan un modelo para un suelo, en el que supongamos que es homogéneo con propiedades térmicas constantes. Es estos casos, la temperatura a cualquier profundidad  $z$  puede calcularse a partir de la siguiente expresión:

$$T(z, t) = T_m - A_s e^{-z \sqrt{\frac{\pi}{365\alpha}}} \cos \left[ \frac{2\pi}{365} \left( t - t_0 - \frac{z}{2} \sqrt{\frac{365}{\pi\alpha}} \right) \right] \quad (2)$$

Donde:

$T(z, t)$	temperatura del suelo en el tiempo $t$ a una profundidad $z$ [°C]
$z$	Profundidad de cálculo [m]
$T_m$	temperatura media anual del suelo a una profundidad donde no son perceptibles las variaciones de temperatura [°C]
$A_s$	oscilación de la temperatura superficial [°C]
$t$	tiempo [s]
$t_0$	desfase [s]
$\alpha$	difusividad térmica del suelo [m <sup>2</sup> /día]

Si representamos estas ecuaciones de manera gráfica, podemos observar que la gran inercia térmica del suelo hace que las fluctuaciones de temperatura a cierta profundidad sean mínimas a lo largo del año. Este fenómeno hace que el intercambiador situado a una determinada profundidad pueda ser usado con un gran reservorio de energía térmica.

El valor de la temperatura del terreno a una profundidad de aproximadamente 8 metros coincide con el valor del promedio anual de temperaturas exteriores. Para el caso de Zara-

goza sería 17,09°C. Las temperaturas, a distinta profundidad, se obtienen como hemos visto un valor en función de la profundidad, temperatura media anual, oscilación de la temperatura superficial del terreno y de la difusividad del terreno.

Además, este valor adquiere una oscilación ondulatoria estacional, con un desfase mayor a medida que profundizamos.

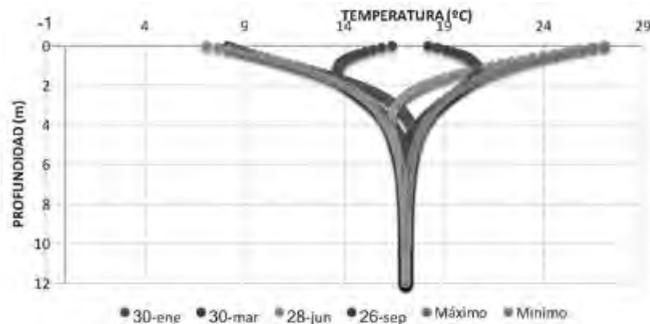


Figura 2: Variación de la temperatura con la profundidad.

Así, en el caso que nos ocupa, a una profundidad de 0,5 metros tenemos un desfase de 18 días con respecto a la temperatura del suelo; a una profundidad de 2 metros el desfase alcanza la cifra de 68 días, y a los 6 metros de profundidad (cota máxima del intercambiador) llega a ser de 160 días. Para el caso del terreno donde se ubica nuestro intercambiador, la evolución de la temperatura del terreno queda representada en las siguientes gráficas.

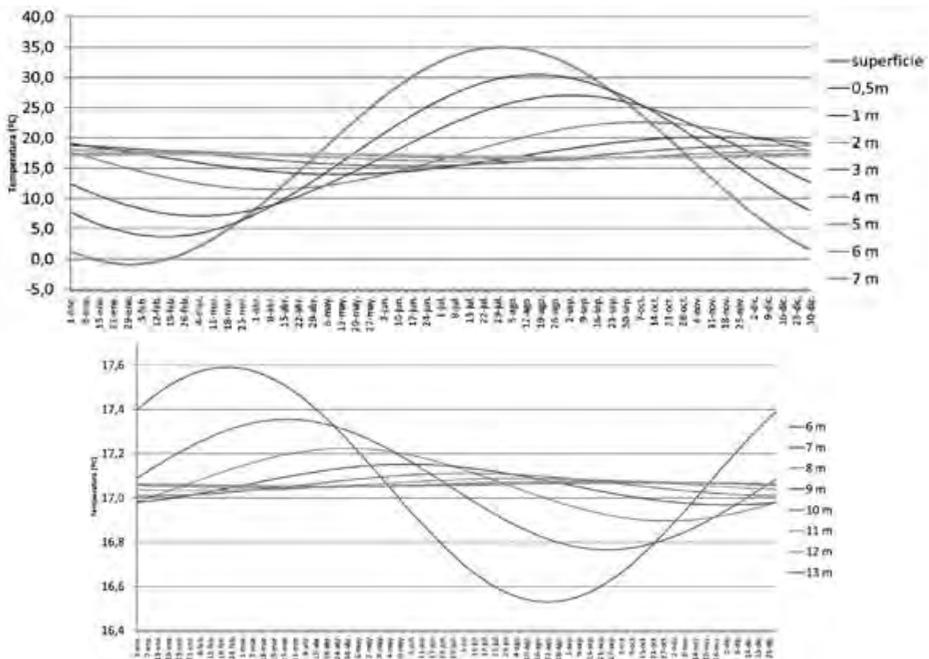


Figura 3: Oscilación ondulatoria estacional de la temperatura del terreno.

### 2.3 Alteración de la temperatura del terreno con el EAHX

En el momento que se introduce en el terreno un EAHX, se alteran las condiciones de equilibrio iniciales. Esta nueva situación supone modificaciones en la temperatura del terreno en el entorno del intercambiador, así como un desfase de onda de la temperatura estacional, influyendo en su rendimiento y en su eficacia. Este efecto de saturación solamente ocurre cuando el sistema se emplea o bien sólo para enfriar bien sólo para calentar, o cuando el flujo de entrada de aire es a temperatura constante durante un tiempo prolongado. La temperatura del terreno en el entorno de los conductos se equilibra con la temperatura del aire de entrada resultando inútil la circulación del aire a través de los tubos pues no existen ganancias térmicas y si pérdidas energéticas por la necesidad de utilizar un ventilador para forzar el paso del aire a través de los mismos. En el caso que nos ocupa, la utilización del mismo es anual con lo que no sólo es que paliemos el problema antes descrito, sino que aumenta la eficacia del mismo gracias a la oscilación temporal de las temperaturas que en él se producen, ofreciéndonos un desfase de 160 días con lo que en los arranques de las estaciones intermedias (primavera y otoño) la eficacia del mismo es la máxima. Así el terreno almacena calor durante los periodos cálidos y lo devuelve durante los fríos evitando la saturación de temperaturas. Partiendo de las premisas de que el terreno situado encima entre los tubos del intercambiador se considere homogéneo y por lo tanto sus propiedades son constantes, así como que en los intercambiadores formados por varios tubos las interferencias entre ellos se consideren despreciables (de ahí que se considerara en su diseño la separación de 1 m. entre centros de los tubos), cuando se puede plantear una formulación para tratar de conocer la temperatura de la tierra que rodea a los tubos. La temperatura de la tierra en la pared del tubo va a depender primero del flujo de calor que le llega desde las capas superiores del terreno hasta la cota donde se encuentra el intercambiador y en segundo lugar y mucho más importante de la influencia del flujo de aire que circula por el interior de los tubos. Según Benkert [1] se define un parámetro  $U^*$  para medir el ratio entre ambos efectos, teniendo en cuenta la conductividad térmica del terreno, el coeficiente de transmisión térmico entre la tierra y el aire en la pared del tubo así como la geometría del propio tubo.

$$U^* = 2\pi \frac{K_S}{U_L} \frac{1}{\ln \left( \frac{S_0}{R_0} + \sqrt{\left( \frac{S_0}{R_0} \right)^2 - 1} \right)} \quad (3)$$

Donde:

$U^*$  es el ratio de transferencia de calor de la superficie de la tierra al tubo y desde el flujo del aire a la pared del tubo.

$K_S$  es la conductividad térmica [W/m°C] o [W/mK]

$U_L$  coeficiente de transferencia de calor por longitud de pared del tubo entre el aire y la pared del tubo [W/m°C] o [W/mK]

$S_0$  Profundidad del centro del tubo bajo la superficie [m]

$R_0$  Radio del tubo [m]

(Se asume que en radio en pequeño en comparación con la longitud del tubo)

La temperatura de la tierra en la pared del tubo no influenciada por este  $T_{e,0}(t)$  la podemos calcular mediante la siguiente ecuación:

$$T_{E,0}(t) = T_m + (T_{max} - T_{med})e^{-\xi} \cos \left( 2\pi \frac{t}{t_0} - \xi \right) \quad (4)$$

Donde:

$T_{e,0}(t)$	es la temperatura de la tierra en la pared del tubo no influenciada por este [°C]
$T_m$	temperatura media anual del ambiente [°C]
$T_{max}$	temperatura ambiente máxima anual en [°C]
$\xi$	parámetro adimensional para definir la “profundidad térmica” del tubo
$t$	tiempo [s]
$t_0$	duración del año en segundos (31.536.000) [s]
	fracción del año ( con = 0 ) para la máxima temperatura ambiente

Este parámetro adimensional que hemos denominado “profundidad térmica” en el cual el intercambiador térmico está ubicado, depende de la profundidad real a la que se encuentra, así como de las propiedades térmicas de la tierra sobre él. Se puede relacionar mediante la siguiente expresión:

$$\xi = S_0 \sqrt{\frac{\pi \rho c}{t_0 K_S}} \quad (5)$$

Donde:

$\rho c$	= capacidad volumétrica térmica del terreno [J/m <sup>3</sup> C] o [J/m <sup>3</sup> K]
$K_S$	es la conductividad térmica [W/m°C] o [W/mK]
$t_0$	duración del año en segundos (31.536.000) [s]
$S_0$	Profundidad del centro del tubo bajo la superficie [m]

Valores orientativos de capacidad volumétrica térmica, para distintos materiales de relleno, se pueden encontrar en el estudio de Pahud [6].

A partir de las leyes de conservación para el transporte de calor se desprende que para los tubos con paredes delgadas (si lo comparamos con la masa que le rodea) el flujo de calor que atraviesa de la tierra hacia la pared del tubo o viceversa será el mismo flujo de calor que pasa desde la pared del tubo al aire en su interior o viceversa.

El balance se expresa mediante la siguiente:

$$Q_{w,L}^* = 2\pi \frac{K_S}{\ln \left( \frac{S_0}{R_0} + \sqrt{\left( \frac{S_0}{R_0} \right)^2 - 1} \right)} (T_{E,0} - T_{E,W}) = U_L (T_{E,W} - T_{A,T}) \quad (6)$$

Donde:

$Q_{w,L}^*$	flujo térmico lineal entre la tierra en contacto con el tubo y el propio tubo [W/m]
$U_L$	es el coeficiente de transferencia de calor por largo de pared de tubo, entre el

- aire y la pared del tubo [W/(mK)]
- $T_{E,0}$  es la temperatura de la tierra en la pared del tubo no influenciado por este [°C]
- $T_{E,W}$  es la temperatura de la tierra en la pared del tubo [°C]
- $T_{A,P}$  es la temperatura del aire en el tubo [°C]

Por lo tanto y teniendo en cuenta la definición anterior de  $U^*$  se puede concluir:

$$T_{E,W} = \frac{U^* T_{E,0} + T_{A,P}}{U^* + 1} \tag{7}$$

Podemos concluir que la temperatura de la tierra en la pared del tubo ( $T_{E,W}$ ), es la media aritmética ponderada entre la temperatura de la corriente de aire en el interior del tubo y la temperatura de la tierra en la pared del tubo no influenciado por este ( $T_{E,0}$ ), teniendo en cuenta las propiedades de conducción de calor entre el suelo y el tubo y entre la pared de la tubería y el aire como factores de ponderación.

### 2.4 Datos reales del comportamiento estacional de las temperaturas en el EAHX

Respecto al intercambiador, el edificio recoge los datos siguientes: temperatura de entrada, temperatura de salida del intercambiador, caudal. Con estos es posible conocer la cantidad de energía que el EAHX aporta al sistema de climatización. En la figura 4 quedan representadas las temperaturas de entrada al intercambiador “Tin” (en rojo), y de salida de aire del intercambiador (o entrada al sistema de climatización) “Tout” (en verde). Son datos representados que van desde enero de 2012 a diciembre de 2014. Se observa claramente la estacionalidad de sus valores, existiendo grandes variaciones térmicas exteriores entre el día y noche durante los periodos cálidos, y con variaciones menores en las estaciones frías. También se puede observar el desfase temporal entre las máximas y mínimas al que en apartado anteriores se hacía referencia.

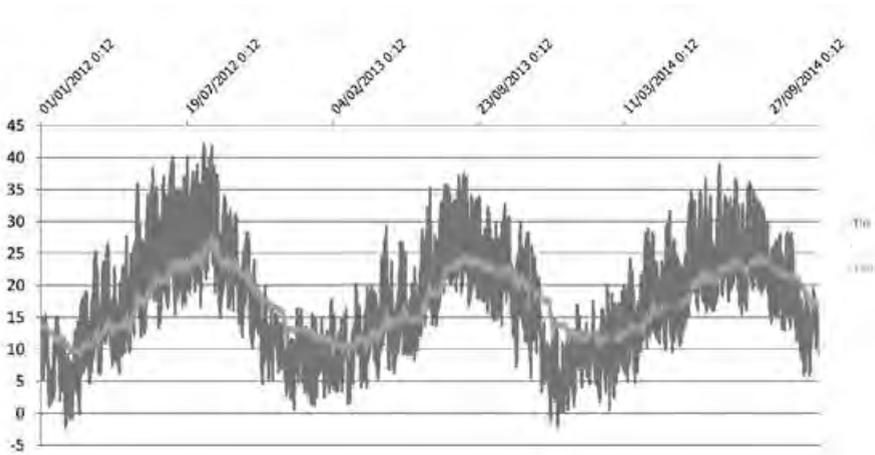


Figura 4:  $T^a$  de entrada y  $T^a$  de salida en el intercambiador tierra-aire.

A los 6 m. de profundidad se observa en la figura 6 la diferencia de temperatura teórica del terreno sin intercambiador y los datos reales de temperatura del terreno debido a la construcción y utilización del EAHX.



Figura 5: Influencia del EAHX en la  $T^a$  del terreno.

Si se representa una nube de puntos de la temperatura de entrada al EAHX frente la de salida del mismo y se genera una diagonal en los puntos en las que ambas temperaturas son iguales (por lo tanto, no existe intercambio de calor  $T_e=T_a$ ), la gráfica queda dividida en tres regiones. La región por encima de  $22^{\circ}\text{C}$  indica cuando el edificio necesita refrigerarse, y la región por debajo de  $15^{\circ}\text{C}$  cuándo es necesario calentarlo.

Del análisis de la nube de puntos se puede deducir que el centro de la nube de puntos de cada mes va siguiendo una rotación en torno a una diagonal (figura 6); en los meses calurosos está por encima de este eje, mientras que los fríos están por debajo. Esto se debe al desfase temporal producido, dando lugar al efecto deseado de obtener una acumulación estacional de energía.

Los mayores saltos térmicos conseguidos se obtienen a principios de primavera, cuando el terreno se ha ido enfriando progresivamente a lo largo del invierno y es capaz de generar un mayor salto térmico en los primeros días de temperaturas altas.

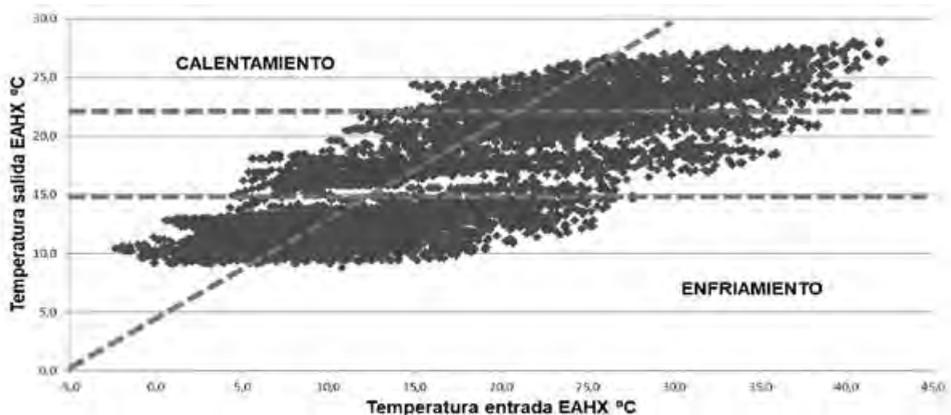


Figura 6: Nube de puntos. Temperatura a lo largo del año de entrada frente a la de salida.

De igual manera se obtiene un gran salto térmico en los primeros días de otoño, ya que la temperatura del terreno se ha ido calentando a lo largo de los días calurosos de verano y es entonces cuando se produce un gran salto térmico en los primeros días fríos de otoño.

Este fenómeno de histéresis se repite en cada ciclo anual.

### 3. CONCLUSIONES

En un intercambiador tierra-aire el calor absorbido o cedido por el aire es transmitido a través de las paredes de los conductos hacia el terreno. En gran medida, la eficacia de los EAHX depende de su dimensionado, de las variaciones climáticas exteriores, así como de la temperatura del terreno. En menor medida depende de los materiales, tanto de los propios tubos como en material que los rodea. Es importante que el terreno soporte importantes variaciones de temperatura estacionales. De esta manera se consigue que el propio terreno funcione como un almacén estacional de energía. Zaragoza goza de un clima con una variación térmica amplia; no sólo diaria sino estacional. El uso de los EAHX en climas similares está totalmente aconsejado ya que el propio intercambiador es capaz de amortiguar las variaciones diarias de temperatura entre el día y la noche, suavizando esta amplitud. De igual manera el terreno es capaz de “cargarse” de energía en verano e invierno sirviendo como reservorio para los arranques de las estaciones de primavera y otoño. Es en estos días cuando según los datos que se recogen se ha llegado a obtener un COP máximo.

Por otro lado, este tipo de instalaciones son desaconsejadas en climas con pequeñas variaciones térmicas o para instalaciones con un uso no anual, de manera que una vez producida la saturación térmica del terreno este pierda su eficacia.

Es fundamental en este tipo de instalaciones geotérmicas de baja temperatura que se consideren como un almacenamiento temporal de energía y no como una fuente inagotable de las misma.

### 4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Benkert, S., Heidt, F.D., and Scholer, D. (1997). *Calculation Tool for Earth Heat Exchangers GAEA. Proceeding of Building Simulation. 2*, págs. 9-16. Prague: Fifth International IBPSA
- [2] Fafférot, 2003, *Evaluation of earth-to-air heat exchangers with a standardized method to calculate energy efficiency*.
- [3] Baehr H.D. Stephan K. (2010). *Wärme- und Stoffübertragung*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [4] Lunardini, V. J. (1981). *Heat Transfer in Cold Climates*. Van Nostrand Reinhold Company.
- [5] Kusuda T., A. P. (1965). Earth temperature and thermal diffusivity at selected stations in the United States. *ASHRAE Transactions*, 71, 61-75
- [6] Pahud, D. (2002). *Geothermal energy and heat storage*. Canobbio: SUPSI-DCT-LEEE.

## **IMPLANTACIÓN DE PASSIVHAUS EN CLIMAS EXTREMOS. ARAGÓN: POLVO, NIEBLA, VIENTO Y SOL**

NAVARRO GUTIÉRREZ, CARLOS<sup>1</sup>; RODRÍGUEZ SORIA, BEATRIZ<sup>2</sup>;  
GUILLÉN LAMBEA, SILVIA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*B+Haus, Arquitectura eficiente, Zaragoza, España*  
*E-mail: carlos@bhaus.es, Web: www.bhaus.es*

<sup>2</sup>*Centro Universitario de la Defensa, Zaragoza, España*  
*E-mail: brs@unizar.es, Web: www.cud.unizar.es*

<sup>3</sup>*Centro Universitario de la Defensa, Zaragoza, España*  
*E-mail: sguillen@unizar.es, Web: www.cud.unizar.es*

**PALABRAS CLAVE:** Passivhaus, climas extremos, criterios de diseño.

### **RESUMEN**

Passivhaus es el estándar de certificación energética más exigente del mundo, reconocido como modelo de los edificios de energía casi nula (EECN) por la Directiva Europea 2010/31/EU. De hecho, ha sido asumido como normativa de obligado cumplimiento por diversos estados, regiones y municipios europeos.

Si bien en un principio se concibió como modelo energético para climatologías centro europeas con una marcada demanda y carga de calefacción, actualmente se ha superado ampliamente este ámbito, encontrándose adaptado a climas cálidos en los cuales el caballo de batalla se centra en la refrigeración y los sobrecalentamientos internos de las edificaciones. Para seguir en este camino de eficiencia energética y asegurar su correcto funcionamiento es necesario establecer las estrategias de diseño arquitectónico más convenientes.

Aragón, tierra de diversidad cultural, cuenta a su vez con una gran variedad de climatologías extremas con veranos muy cálidos, inviernos severos, zonas de alta montaña y nieblas y vientos fríos en el valle del Ebro.

Polvo, niebla, viento y sol cantaba Labordeta, sin saber que del análisis de estos elementos se obtendrían los indicadores necesarios para el correcto diseño de un edificio Passivhaus: la ventilación mecánica controlada, la envolvente aislada y sin puentes térmicos, la hermeticidad al aire y el aprovechamiento y control solar.

En la ponencia se definirán a través de proyectos realizados y de resultados de simulaciones de diferentes tipologías edificatorias de carácter residencial, las estrategias de diseño necesarias para el cumplimiento del estándar Passivhaus en Aragón. Para ello se analizarán soluciones de protección solar, la influencia de la inercia térmica, sistemas activos de refrigeración y estrategias de ventilación nocturna.

## 1. INTRODUCCIÓN

Ante la inminente obligatoriedad de construir en 2019 edificios de consumo energía casi nula (EECN) según la Directiva 2010/31/EU [1], y ante la falta de una definición clara de cómo deben diseñarse y cuáles deben ser sus requisitos cuantitativos de demanda energética [2, 3], el estándar constructivo Passivhaus ha sido tomado como modelo de referencia para su implantación. Reconocido por la propia Comisión Europea como ejemplo de EECN [4], ha sido asumido como normativa de obligado cumplimiento por diversos estados, regiones y municipios europeos.

Los principales requerimientos para el diseño de edificios bajo el estándar Passivhaus son [5]:

- Demanda energética de calefacción y refrigeración:  $15 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2 \cdot \text{año}$ .
- Energía primaria total:  $120 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2 \cdot \text{año}$ .
- Edificios con calefacción y refrigeración por aire: Carga de frío y calor menor de  $10 \text{ W}/\text{m}^2$ .
- Infiltraciones:  $< 0,6$  renov/hora con una diferencia de presión de 50 Pa.
- Ventilación mecánica controlada con recuperación de calor: con un caudal mínimo de ventilación:  $30 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{persona}$  y una eficiencia mínima del recuperador: 75%.

El Passivhaus Institut ofrece una serie de valores orientativos de transmitancias y requerimientos que ayudan al diseñador a alcanzar dichos valores. Estos estudios se encuentran centrados en climas del centro y norte de Europa y más recientemente se han adaptado a climas del suroeste europeo [6]. En la figura 1, a la izquierda, podemos ver las zonas climáticas definidas por Passivhaus a las que asigna idénticos requerimientos. Se puede comprobar que en España únicamente se diferencian dos climas, “warm temperate” y “warm”:

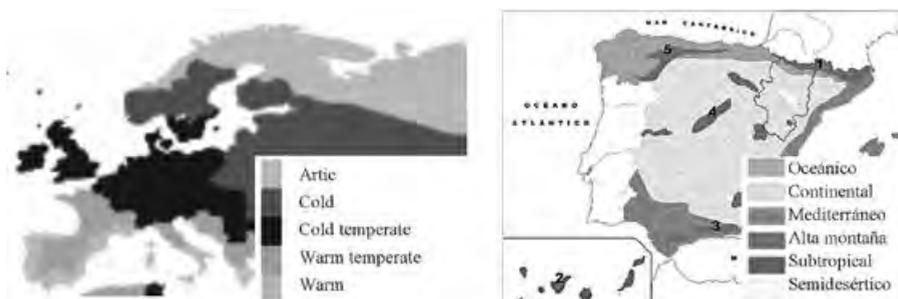


Figura 1. Izquierda: Zonas climáticas definidas por Passivhaus, [http://www.passiv.de/downloads/03\\_certification\\_criteria\\_transparent\\_components\\_en.pdf](http://www.passiv.de/downloads/03_certification_criteria_transparent_components_en.pdf). Derecha: Mapa climático de Köppen para España. AEMET.

No obstante, la variada geomorfología y vegetación de diferentes zonas de España, que definen y modifican en cierta medida la climatología a nivel local, hacen que en determinados territorios convivan climas muy diversos. Este es el caso de Aragón, con una gran variedad de climatologías extremas con veranos muy cálidos, inviernos severos, zonas de alta montaña, nieblas y vientos fríos en el valle del Ebro. De hecho, agencias del clima internacionales utilizan mapas climáticos que tienen en cuenta estas consideraciones, como es el caso del mapa climático de Köppen. En la figura 1 (derecha) pueden observarse las zonas climáticas que define en España y que son utilizadas por AEMET para sus estudios. Puede comprobarse que en Aragón se diferencian hasta cuatro zonas climáticas distintas, siendo éstas la semidesértica en el valle del Ebro, oceánica y de montaña en el Pirineo y continental en el resto. Por ello se plantea la conveniencia de estudiar los diferentes parámetros de diseño para alcanzar el estándar Passivhaus en esas tres zonas geográficas diferenciadas: valle (semidesértico), continental y montaña.

Los principales parámetros de diseño pasivos para cumplir con los objetivos de demanda de calefacción y refrigeración son: transmitancia de la envolvente térmica, inercia térmica, orientación de ventanas para un adecuado aprovechamiento solar, y protecciones solares de las mismas para evitar sobrecalentamiento en verano. Como elemento activo se encuentra el recuperador de calor a través del cual se puede realizar una ventilación nocturna para refrigeración en verano. Posteriormente, para abastecer la demanda energética, se estudiarán los principales sistemas de refrigeración adecuados y sus limitaciones.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Software

Para realizar las simulaciones energéticas se utilizará el programa PHPP9 (Passive House Planning Package) y Design PH. Siendo el primero un programa de cálculo semi-dinámico utilizado para calcular y certificar los edificios bajo el estándar Passivhaus y el segundo un programa de modelado energético para edificios Passivhaus. Sus cálculos han sido ajustados y validados por los resultados de miles de edificios construidos y medidos. En estudios realizados en diferentes proyectos de investigación [7] se ha testado que su desviación respecto a programas de cálculo computacional fluidodinámico y a resultados experimentales, se encuentra en torno al 3%.

## 2.2 Zonas climáticas

Como se ha comentado se quieren estudiar tres zonas diferenciadas, continental, valle (semidesértico) y montaña. Para realizar el estudio se escogen datos climatológicos representativos de cada una de estas zonas. Dichos datos se han obtenido tanto de la base de datos de PHPP como de Meteonorm. Cabe señalar que dichas bases de datos no consideran el efecto de las nieblas prolongadas, que debería ser considerado en la irradiación en invierno en el caso del valle.

## 2.3 Tipologías edificatorias

Para analizar los elementos pasivos se estudiarán las dos tipologías edificatorias residenciales más comunes: unifamiliar y bloque de vivienda. Se crean para ello dos envolventes: una para el caso de unifamiliar de una planta con unas dimensiones de  $10\text{m} \times 10\text{m} \times 3\text{m}$  y un factor de forma típico de  $1,45\text{m}^{-1}$  y otra para el bloque de vivienda de 4 plantas con unas dimensiones de  $40\text{m} \times 10\text{m} \times 12\text{m}$  y un factor de forma típico de  $0,56\text{m}^{-1}$ . Las unidades habitacionales del bloque de viviendas son reproducciones del unifamiliar para poder comparar datos equivalentes en las simulaciones energéticas. En ambos casos el porcentaje de huecos es aproximadamente el 10% de la superficie útil de la vivienda, valor típico mínimo en las normativas de planeamiento para cumplir con las condiciones de iluminación y ventilación. Se ubican 6 ventanas al sur y 3 al norte, todas ellas de  $1\text{m}^2$  de superficie. La superficie de referencia del unifamiliar y de cada unidad habitacional del bloque de viviendas es de  $88\text{m}^2$ . Las medidas de las edificaciones y la superficie útil de referencia se ajustan a valores típicos del parque edificatorio español según el IDAE [8, 9]. Para analizar la ventilación nocturna y los sistemas de climatización, el factor determinante, además del salto térmico, es el volumen de aire a renovar y climatizar. Por tanto, se analizan únicamente unidades habitacionales, sin diferenciar entre bloque de vivienda o unifamiliar.

## 2.4 Simulaciones energéticas para la optimización de los elementos pasivos

Se realizarán diversas simulaciones energéticas, con el fin de obtener unos valores óptimos del diseño de la envolvente de una edificación Passivhaus en los diferentes climas seleccionados (montaña, valle y continental) para las dos tipologías edificatorias definidas (unifamiliar y bloque de vivienda).

En una primera aproximación se pretende optimizar el aislamiento en cada climatología. Se realizarán simulaciones energéticas para cada tipología edificatoria, con baja inercia térmica y alta inercia térmica, comprobando cómo ésta disminuye la demanda energética frente a un mismo espesor de aislamiento. Se dan valores comparativos de espesor de aislamientos y no transmitancias sobre una misma tipología de cerramiento, para comprender mejor la influencia sobre la superficie útil y el sobre coste del mismo. El aislamiento utilizado es EPS con un valor de conductividad térmica de  $0,035\text{W/mK}$ . Se toma como partida una ventana con valores de transmitancia y emisividad dentro del rango recomendado para Passivhaus en nuestro clima, con el fin de evitar los efectos de “pared fría” [10]. Las transmitancias del marco ( $U_m$ ) y el vidrio ( $U_g$ ) son de  $1\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ , y  $0,7\text{W/m}^2\cdot\text{K}$  respectivamente y permanecerán invariables y la emisividad ( $g$ ) es de 0,5.

Para obtener un cifra de demanda energética que permita comparar los resultados, se impondrán los requerimientos para el diseño de edificios bajo el estándar Passivhaus señalados en números en la introducción, y de los datos geométricos definidos en el apartado de tipologías edificatorias.

En una segunda aproximación, una vez definidos los aislamientos más adecuados para cada zona climática y tipología edificatoria, se procederá a establecer las ganancias o pérdidas de energía a través de  $1\text{m}^2$  de ventana en cada orientación, en función de su emisividad.

Por último se estudiarán las protecciones solares adecuadas para disminuir la demanda de refrigeración. Primero se realizará la protección mediante el 50% de sombreado por elementos móviles (persianas, stores...) y posteriormente a través de vuelos fijos de 0,5m.

## **2.5 Estudio de sistemas activos**

Para reducir la carga de climatización se estudiará el efecto de la ventilación nocturna en verano. Introducida esta ventilación nocturna se analizará como superar las cargas de refrigeración.

## **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En este apartado se ofrecen los resultados de las diferentes simulaciones energética expuestas en el apartado 2. Metodología. En las gráficas se designa siempre demanda de calefacción como Dcal, carga de calefacción como Ccal, demanda de refrigeración como Dref y carga de refrigeración como Cref.

### **3.1 Aislamiento de la envolvente térmica**

En un principio se impondrá en cada tipología edificatoria el mismo espesor de aislamiento, y se compararán las demandas y cargas energéticas obtenidas para cada climatología. Se impone como espesor de aislamiento el mínimo requerido para cumplir con todos los parámetros del estándar en la zona menos extrema en calefacción, en este caso, el valle. En la figura 2 se ofrecen los resultados para el caso de un unifamiliar. El espesor de aislamiento utilizado es de 20cm. En la figura 3 se ofrecen los resultados de un bloque de viviendas. El espesor de aislamiento utilizado es de 10cm. En ambos casos se muestran resultados para baja inercia térmica ( $60\text{W}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$ ) y alta inercia térmica ( $204\text{W}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$ ) de la envolvente.

Posteriormente se realizaron simulaciones energéticas aumentando los espesores de aislamiento y modificando los elementos necesarios para cumplir con la demanda y carga energética (tabla 1). En el caso de unifamiliar en montaña ha sido necesario además eliminar las 3 ventanas del norte y sumarlas a las ventanas en la fachada sur.

En las figuras 4 y 5 se muestran las demandas y carga obtenidas con los espesores y ventanas de la tabla 1, para vivienda unifamiliar y bloque de vivienda respectivamente.

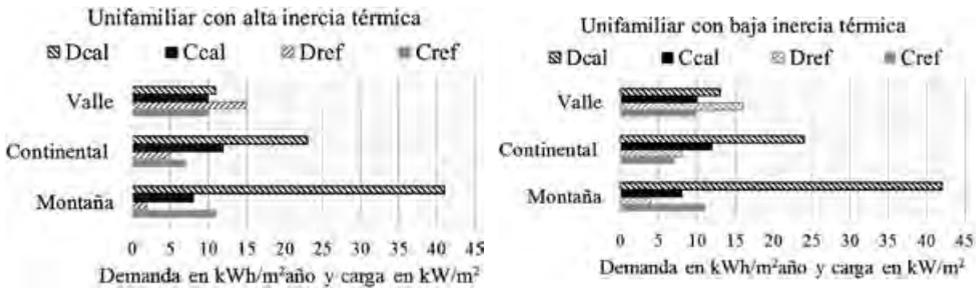


Figura 2. Demandas y cargas energéticas de una vivienda unifamiliar con 20 cm de EPS.

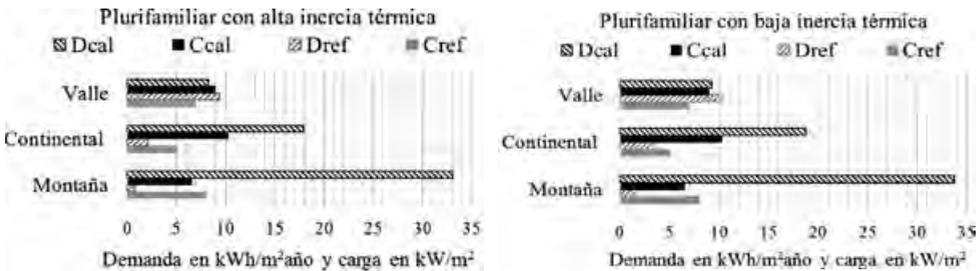


Figura 3. Demandas y cargas energéticas de un bloque de viviendas con 10 cm de EPS.

Tabla 1: Espesores de aislamiento EPS de cerramientos, emisividad de ventanas y eficiencia mínima del recuperador, para el cumplimiento del estándar Passivhaus.

	Valle		Continental		Montaña	
	Unifamiliar	Bloque	Unifamiliar	Bloque	Unifamiliar	Bloque
Fachada	20cm	10cm	25cm	12cm	30cm	22cm
Cubierta	20cm	10cm	30cm	12cm	30cm	22cm
Losa	20cm	10cm	30cm	12cm	30cm	22cm
Ventana	g:0,5	g:0,5	g:0,5	g:0,5	g:0,63	g:0,5
η recuperador	75%	75%	75%	75%	88,5%	75%

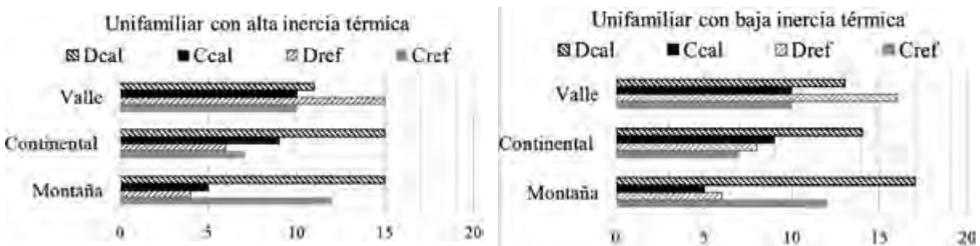


Figura 4. Demandas (kWh/m2año) y cargas (kW/m2) de una vivienda unifamiliar con aislamientos de tabla 1.

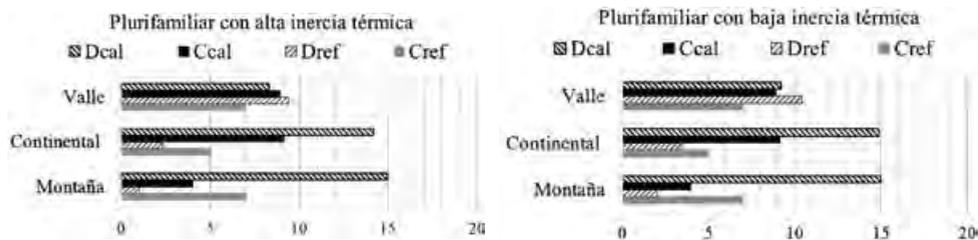


Figura 5. Demandas (kWh/m<sup>2</sup>año) y cargas (kW/m<sup>2</sup>) de un bloque de viviendas aislamientos de tabla 1.

### 3.2 Ventanas: Aprovechamiento solar

Se modifican los valores de emisividad de los cristales manteniendo el valor de transmittancias.

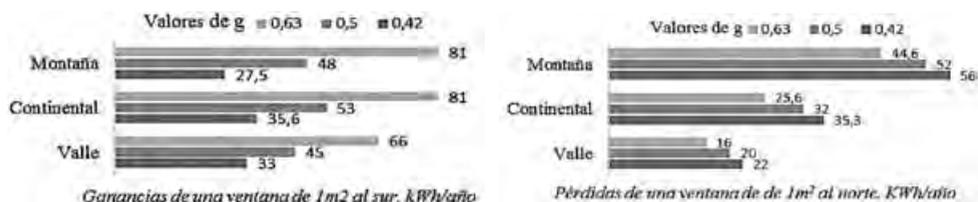


Figura 6. Izquierda: Ganancias solar al sur. Derecha: Pérdidas solares al norte.

Se obtiene la diferencia de ganancias y pérdidas energéticas en una ventana de 1m<sup>2</sup> de superficie, ubicada al norte y al sur de las edificaciones, en kW·h/año (figura 6).

### 3.3 Protecciones solares

Se realizan de nuevo para vivienda unifamiliar y bloque de vivienda. Se incluye únicamente el caso de edificios con baja inercia térmica ya que las variaciones por los elementos de sombreado son prácticamente las mismas a las de edificios con alta inercia térmica (figura 7).

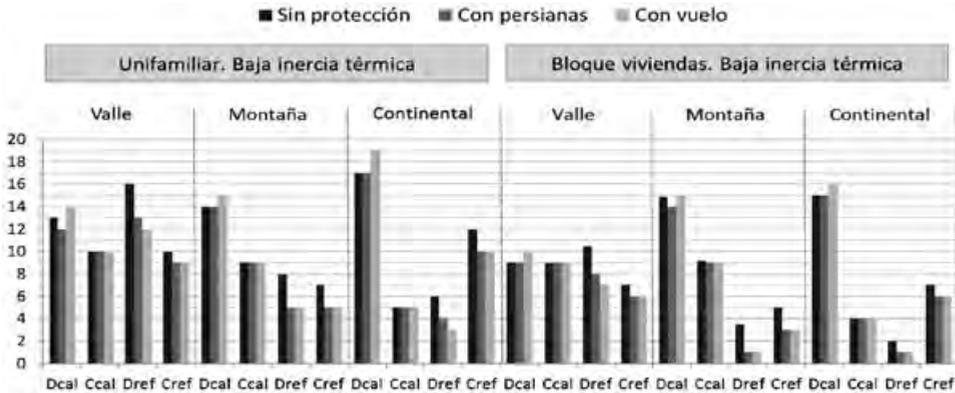


Figura 7. Demandas y cargas energéticas en función de las protecciones solares en cada climatología. Caso de baja inercia térmica.

### 3.4 Ventilación nocturna

La ventilación nocturna puede realizarse mediante la apertura de ventanas o realizando un by-pass en el sistema de ventilación mecánica con recuperación de calor. Para el caso de by-pass se aumenta el caudal de ventilación un 50%. Se ha comprobado que si la vivienda posee baja inercia térmica en todos los casos la demanda de refrigeración disminuye en 1kWh/m<sup>2</sup>año. Si la vivienda posee una alta inercia térmica la demanda de refrigeración disminuye en torno a 2kWh/m<sup>2</sup>año con la ventilación por by-pass y si se combina con la apertura de ventanas, en torno a 3kWh/m<sup>2</sup>año.

### 3.5 Sistemas de climatización

La demanda de refrigeración en la zona continental y de montaña, si realizamos una ventilación nocturna combinada, es muy pequeña. En clima de montaña únicamente se produce un sobrecalentamiento en torno al 1% (sólo el 1% de los días se supera la temperatura de confort de 25°C), muy por debajo del 10%, máximo permitido por Passivhaus. En clima continental el sobrecalentamiento se encuentra en torno al 9%. Por tanto en ambos casos, en líneas generales, no serían precisos sistemas de climatización. En cambio en la zona climática de valle, semidesértica, el sobrecalentamiento obtenido es del 20%. Si aumentáramos la temperatura de confort a 26°C dicho sobrecalentamiento sería del 15%, con 27°C del 8%, y con 28°C del 1%. Estos resultados parciales dejan entrever que en realidad las temperaturas de sobrecalentamiento no excesivas.

Para llevar a cabo la refrigeración se tratará el aire de impulsión (en el sistema de ventilación) y el aire en circulación en el interior de las viviendas. Aunque las cargas de refrigeración no son muy altas, es imposible superarlas a través del aire de impulsión, ya que su temperatura de impulsión no puede bajar de 17°C para evitar problemas de condensaciones en el sistema [10]. Impulsando aire a esa temperatura únicamente se consiguen 2,8W/m<sup>2</sup> en clima de montaña, 2,7W/m<sup>2</sup> en clima de valle y 1,7W/m<sup>2</sup> en clima continental. Si enfriamos el aire en circulación, en el clima continental bastaría con disponer de un generador de 500W funcionando a un caudal de 65m<sup>3</sup>/h (70% del caudal máximo de ventilación de

la vivienda). Para el clima semidesértico del valle se precisaría de un equipo de 900W y un caudal de 194 m<sup>3</sup>/h. En este caso por tanto se precisaría impulsar un caudal constante a temperaturas cercanas a la de confort para no generar gradientes térmicos en la estancia, con bolsas de aire frío en las zonas cercanas al generador.

### 3.6 Discusión de resultados

Se comprueba que la inercia térmica es un factor determinante en el diseño, sobre todo en el caso de viviendas unifamiliares, para disminuir la demanda energética. Así la demanda de calefacción al utilizar cerramientos de alta inercia térmica se reduce utilizando un mismo espesor de aislamiento entre el 7% (en clima continental) y el 18% (en el valle) respecto al uso de cerramientos de baja inercia. En demanda de refrigeración, varía entre el 6% (en valle) y el 50% (en montaña). La influencia de la inercia térmica en la edificación en bloque es menor, sobre todo en la demanda de refrigeración.

En cuanto al análisis del aislamiento, se ha obtenido que frente a un mismo aislamiento, mientras se cumple los límites de demanda y carga energéticas en el valle, en el clima continental prácticamente se duplican y en el clima de montaña están cerca de triplicarse, tanto para vivienda unifamiliar como para bloque de viviendas. En clima continental, en vivienda unifamiliar ha sido necesario aumentar el aislamiento en losa y cubierta un 50% respecto al colocado en la zona de valle, y en clima de montaña, aún aumentado un 50% ese espesor (con un total de 30cm de aislamiento) ha sido necesario mejorar la emisividad de las ventanas (además de su redistribuirlas) y la eficiencia del recuperador.

Otro factor determinante es el factor de forma del edificio. Se comprueba que los espesores de aislamientos obtenidos para cumplir con las demandas energéticas establecidas en el bloque de viviendas, se encuentran en todos los casos por debajo de la mitad que los necesarios para la vivienda unifamiliar. Además, la variación de aislamiento para cumplir con el estándar en diferentes climas también es menor. En clima continental se aumentan un 20% y en clima de montaña, aumentando el aislamiento un 150% (con un espesor total de 22cm) no se precisa modificar ni la emisividad de las ventanas ni la eficiencia del recuperador.

Si analizamos las ganancias energéticas de los vidrios al sur y las pérdidas de los vidrios al norte, comprobamos que para bajas emisividades ambas se equilibran en clima continental en montaña son mayores las pérdidas y en el valle mayores las ganancias. Al aumentar la emisividad de los vidrios, cada vez aumentan más las ganancias de las ventanas ubicadas en el sur (casi un 200% en montaña y un 100% en valle) y disminuyen las pérdidas de las ventanas ubicadas en el norte (un 25% en montaña y 37,5% en valle). Donde más ganancias se producen en las ventanas ubicadas al sur es en el clima de montaña, después en el continental y por último en el valle. En cambio, en cómputo global, si al aprovechamiento solar del sur le restamos las pérdidas de las ventanas al norte, frente a una misma distribución de ventanas, es en el valle donde más ganancias se producen, después en el clima continental y por último en el clima de montaña. En lo referente al uso de medidas de protección solar, se ha comprobado que no afecta a la carga de calefacción pero si a la demanda de calefacción (entre un 11 y un 17%) en el caso de protecciones fijas como son los vuelos. En cuanto a la demanda de refrigeración, con los vuelos se obtiene el mejor dato en todos los casos. Si en vez de vuelos utilizamos elementos móviles, en el valle aumenta la demanda un 10%, y en continental un 33%. Si no utilizamos ningún tipo de protección, en la zona de valle aumenta (respecto a poner un vuelo) un 33%, en las zonas continental y de montaña un 100%.

#### 4. CONCLUSIONES

El Passivhaus Institut identifica en Aragón una zona climática, denominada warm temperate, para recomendar valores que permitan alcanzar el cumplimiento del estándar. En el artículo se han identificado y justificado no obstante, tres climatologías muy diferenciadas: valle (semidesértico), continental y de montaña. Además debería considerarse que en las bases de datos climáticos no se incluye el efecto de la niebla, que afectaría a la carga de calefacción y por tanto al diseño de los equipos. La radiación solar en el mes de enero en el valle debería considerarse al 50%.

Mientras en las viviendas unifamiliares la inercia térmica juega un papel muy importante para disminuir las demandas de energía, en el caso de las viviendas en bloque no es un factor decisivo. Si bien es verdad, se tenderá de forma natural a usar cerramientos de alta inercia térmica por las técnicas de construcción utilizadas para las tipologías en bloque. Además, se ha comprobado que en las viviendas en bloque con un factor de forma menor que las viviendas unifamiliares, los espesores de aislamiento requeridos para cumplir con el estándar se encuentran por debajo de la mitad. Por tanto, será más sencillo y con menor sobre coste, diseñar y construir bloques de viviendas Passivhaus que unifamiliares.

Se comprueba también que los mayores aislamientos son requeridos en los climas más fríos. Mientras en los climas continental y de montaña el factor determinante en el diseño es la demanda de calefacción, en el valle (semidesértico) será la refrigeración.

En cuanto a los vidrios, se ha podido comprobar que el clima de montaña debería tenderse a ubicar las ventanas al sur, utilizando vidrios con altas emisividades. En cambio, en la zona de valle las ventanas ubicadas al sur pueden producir sobrecalentamientos por un exceso de captación solar. En todos los casos será interesante combinar el uso de vidrios de baja y alta emisividad buscando en cada orientación su uso más adecuado para poder equilibrar a favor del cumplimiento del estándar Passivhaus el balance energético de la edificación. El clima de valle sufre más sobrecalentamiento, por lo que sus ventanas deberán protegerse mediante sombreados, debiendo evitar a toda costa ubicar en fachada sur excesivos huecos acristalados sin protección. No obstante el uso de vuelos puede ser contraproducente en zonas frías al producir un aumento de la demanda de calefacción por lo que se deberá guardar especial atención al resultado del balance energético al incorporarlos. El uso de elementos de sombreado móviles no altera el valor de la demanda en ningún caso, si bien esto es solo en la teoría ya que su uso depende del factor usuario.

En lo referente a los sistemas activos, si realizamos una adecuada ventilación nocturna, en las zonas de montaña y continental no sería preciso incorporar sistema de refrigeración, siendo ineludible en el clima de valle. Dicha refrigeración no podrá llevarse a cabo a través del aire en impulsión, si no a través del aire en circulación, o con la combinación de ambos sistemas.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] European Commission, Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings. Official Journal L153, 18/6/2010, p. 13-35. Strasbourg, 2010.
- [2] European Commission. National Energy Efficiency Action Plans (NEEAPs): update on implementation Accompanying document to the Energy Efficiency. Plan 2011 COM (2011) 109. Brussels, 2011.
- [3] European Commission. Energy Efficiency Plan 2011. COM(2011) 109. Brussels, 2011.
- [4] Buildings Performance Institute Europe (BPIE). Principles for Nearly Zero-energy Buildings. Published by Buildings Performance Institute Europe (BPIE) Brussel, 2011.
- [5] Guía del estándar Passivhaus. Edificios de consume energético casi nulo. Madrid 2011. DL: M.37.033-2011. Edita: Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, PEP, Zhender.
- [6] Passive Houses in South West Europe. 2016. Jürgen Schneider. Passivhaus Institut, Darmstadt.
- [7] Validation of the PHPP program calculations in Mediterranean climates for ENERPHIT standard. Rodríguez, B; Navarro, C; Guillén, S; Sierra, J. 10th Conference on Advanced Building Skins. Suiza, 2015.
- [8] IDAE. Serie: Calificación de eficiencia energética de edificios. Guía no.12: Opción simplificada. Viviendas. Memoria de cálculo. IDAE, Madrid, 2009
- [9] IDAE (Proyecto Sech-Spahousec, Análisis del consumo energético del sector residencial en España), (2016). [www.idae.es](http://www.idae.es).
- [10] Course material for the “Certified Passive House Designer” / Passive House Institute Dr. Wolfgang Feist, Darmstadt 2017.

## UNA INNOVADORA MEJORA ENERGÉTICA: CAPTADOR SOLAR TÉRMICO PARA ENTORNOS TRADICIONALES Y CASCOS HISTÓRICOS

CIVANTOS CAPELLA, JORGE<sup>1</sup>; SALCEDO HERNÁNDEZ, JOSÉ CARLOS<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Autónomo Arquitecto Técnico, Cáceres, España*

*E-mail: jorgecivantos@yahoo.es, Web: <http://uexgica.blogspot.com.es>*

<sup>2</sup> *Universidad de Extremadura, Cáceres, España*

*E-mail: [arquitectura.vitruvio@gmail.com](mailto:arquitectura.vitruvio@gmail.com), Web: <http://uexgica.blogspot.com.es>*

**PALABRAS CLAVE:** Energía solar; captador; integración.

### RESUMEN

España es un país privilegiado para el aprovechamiento de la energía solar. A la vista de las dificultades para popularizar la solar fotovoltaica, la energía solar térmica se coloca en posición preferente como medio apropiado para el ahorro y la eficiencia energética. A veces los edificios existentes, en muchos casos las “casas de pueblo” o los propios entornos protegidos por su valor patrimonial, no permiten la instalación de paneles solares convencionales. Para resolver esto y otras dificultades, hemos desarrollado y patentado un captador solar térmico inteligente y de bajo impacto visual.

Su forma alargada y cilíndrica le permite integrarse bien en fachadas, balcones, etc evitando así la instalación en cubiertas, en muchos casos inclinadas y con dificultades aparejadas. Sus sensores y componentes electrónicos lo hacen inteligente permitiéndole tomar decisiones como protegerse del sol excesivo, la lluvia, etc o en función de las temperaturas requeridas accionar una bomba de circulación.

Su ligereza y forma permite además instalarlo en caravanas, autocaravanas y similares. Todo un desafío que mejora muchos inconvenientes de paneles habituales que no tienen tanto en cuenta las singularidades de los lugares donde finalmente van a ser instalados.

## INTRODUCCIÓN

Como entusiasta de la energía solar como fuente renovable, tenía en mente que ésta pudiera popularizarse, llegar a más personas que como yo, descubrieran sus ventajas. Vengo de Extremadura y en mi región apenas se instalan paneles solares por varios motivos. El primero un cierto desconocimiento de la población en general que sólo ha comenzado a instalarlos por la obligatoriedad del Código Técnico. Después temas económicos, dificultad de instalación en viviendas existentes, mantenimiento necesario, etc. Y en el caso de mi región y el de la mitad sur de España, así como en otros muchos países, la falta de radiación solar no es el problema. Si los grandes fondos de inversión crean en Trujillo una de las plantas fotovoltaicas más importantes del mundo, y nosotros los que vivimos en este país no aprovechamos mejor el sol, algo no estamos haciendo bien.

El objetivo de la investigación era desarrollar un panel solar térmico, para la generación de agua caliente, que pudiera instalarse en lugares donde los otros no es posible y que resolviera otros problemas relacionados con la propia arquitectura de la zona, común a muchas otras zonas de España y países mediterráneos.

Se instalan colectores solares planos en terrazas transitables en edificios de los últimos años. Se dispone de un acceso desde el castillete de ascensor o escalera, y se apoyan en estructuras auxiliares. Pero en edificaciones construidas antes de la entrada del CTE la misión es realmente compleja. Pensemos en bloques que no tengan esa terraza adecuada, cubiertas inclinadas con teja en viviendas tradicionales o de fibrocemento en bloques residenciales de los años 60 a 80.

En estas últimas construcciones comunitarias se debe llegar a un consenso entre propietarios que no es fácil. Muchos vecinos se negarán a la solicitud de ese *propietario ecológico* por el riesgo de que aparezcan goteras o por temas de seguridad.

En la tipología de vivienda más común en muchas zonas de España -la vivienda unifamiliar entre medianeras- la situación vecinal es más fácil pero técnicamente puede ser peor. A veces los tejados antiguos tienen una estructura de palos de madera que no permitirá instalar un equipo pesado encima, sin un refuerzo previo que llevará un coste.

La importancia del acceso al lugar donde está instalado un panel es crucial. He conocido casos de personas que han instalado paneles solares y se han cansado de hacer las sencillas operaciones que nada tienen que ver con el mantenimiento anual, como su limpieza, o un tapado parcial, solo por el hecho de que el acceso era complicado. Incluso en viviendas posteriores a la entrada del CTE a veces no existe un acceso a la cubierta.



Figura 1. Paneles solares en cubierta sin acceso:  
Al no taparse se aprecia que todos han reventado por exceso de calor y presión.

Por último está el aspecto estético que también hace renunciar a muchas personas, que con bastante lógica no quieren ver en el tejado de su casa un aparato así: Habitualmente no guarda la misma inclinación que el tejado, es un elemento extraño, grande, de color oscuro y más *feo* aún si lleva el depósito integrado.



Figura 2. Esquema de un panel solar convencional instalado en una cubierta inclinada.

En definitiva, la vivienda existente y tradicional, no está preparada en muchas zonas de España, para la instalación de estos equipos. Las dificultades técnicas de instalación y el componente económico son algunas causas por las que esta energía renovable no está más extendida.

Con el fin de aportar una alternativa que mitigara parte de estos problemas pensé en la invención de un panel que pudiera instalarse preferentemente en fachadas. Con esto se facilitaría su instalación desde un balcón y su posterior mantenimiento y llevaría implícito un ahorro económico indudable. Se eliminarían así riesgos de roturas de elementos de cubrición, de filtraciones, de caídas. Se trataría de un elemento de carácter lineal, es decir, que en él predominara una dimensión de forma que su integración fuera más fácil. Y también como novedad, dotarle de tecnología actual para que él mismo se gestione y minimice la actuación diaria del usuario, mediante electrónica.

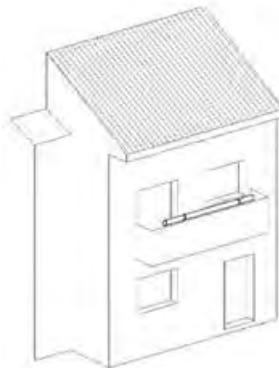


Figura 3. Esquema del nuevo captador solar térmico inteligente de bajo impacto ambiental sobre un peto.

Concretamente su modo de integrarse en conjuntos históricos, en zonas de arquitectura popular, se basa en su forma lineal y sus dimensiones. Estas, que son de unos 3m. de largo y 12 cm. de diámetro, lo asemejan mucho a un toldo enrollado pudiendo así ser instalado en fachadas, no en cubiertas donde provocarían un mayor impacto visual. Podría ser colocado en el pretil de un balcón quedando centrado respecto a huecos existentes, de modo que se integre bien. También en patios antes que en fachadas a la calle, ya que generalmente se trata de viviendas de 1 ó 2 plantas y colocado a una cierta altura se asegura su exposición al sol. Además, el color de su trasdós (generalmente el mismo de la fachada donde se instala) le hace integrarse mejor.

## DESARROLLO Y METODOLOGÍA

A partir de la idea concebida sobre todo en lo que se refiere a la forma, se ha realizado durante varios años un estudio de los materiales del mercado con la idea de crear un prototipo. Se elige un sistema forzado donde únicamente el captador solar está en el exterior y el resto de componentes como el acumulador está en el interior de la vivienda a la que sirve.

A la vez se inician los trámites para la protección de la idea mediante una patente. Se incorpora al proyecto José Carlos Salcedo Hernández, Arquitecto técnico, Arquitecto y Doctor por la Universidad de Extremadura, gran amigo e incansable investigador. La solicitud de una patente requiere un largo trabajo previo para comprobar que se aporta novedad, es decir, que no existe nada igual en el mundo. Gracias a Internet se hace una búsqueda exhaustiva de patentes similares en varias bases de datos, todas enlazadas desde la web de la Oficina Española de Patentes y Marcas y Google Patents.

Volviendo al prototipo, se va mejorando con el tiempo y buscando soluciones sencillas que abaraten los costes de una posible fabricación posterior en serie. En el garaje de mi casa, con mis medios y recursos, he construido un primer prototipo usando tubería de cobre para hacer un circuito y pintarlo de color negro y un tubo de PVC como carcasa, con una parte de policarbonato compacto transparente. Los problemas fundamentales eran los relativos a su estilizado diseño, puesto que no era sencillo meter el captador y unas piezas para el giro de su carcasa en tan poco espacio.



Figura 4: Etapa durante la fabricación del primer prototipo.

Tras la construcción se comprueba que el sistema no calienta como se esperaba, posiblemente debido a la falta de un material absorbedor altamente selectivo que sea realmente eficiente. La superficie de captación es muy inferior a la de los paneles convencionales y por ello el absorbedor se convierte en parte fundamental. Compruebo que usar una lámina con un tratamiento de Nitróxido de Titanio mejora notablemente las temperaturas medidas. Se puede ver en la siguiente fotografía que la diferencia de temperatura de un tubo pintado en color negro y el mismo tubo soldado a una lámina con el tratamiento indicado es del orden de 20° C.

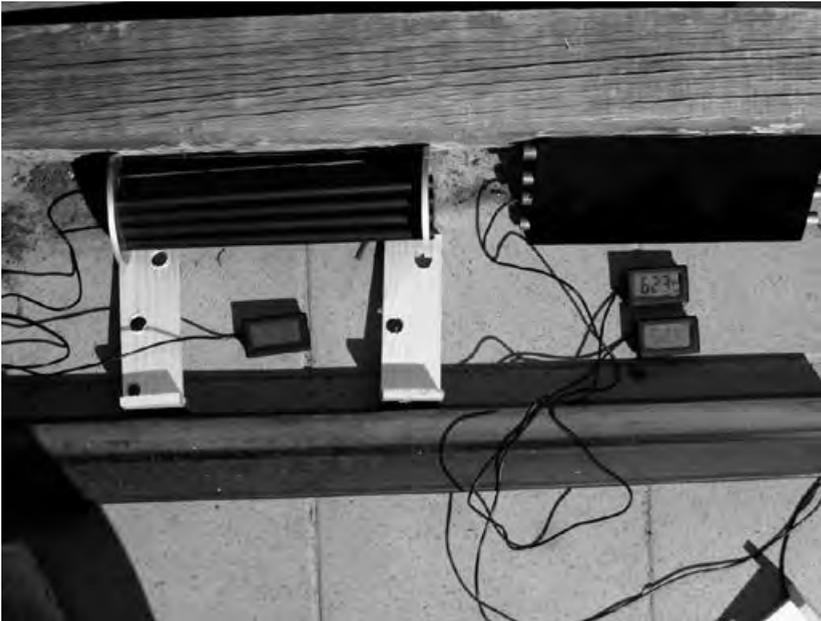


Figura 5. Comprobación de la mejora de la temperatura al usar un absorbedor altamente selectivo, pasando de 42 a 62° C.

Más adelante me lanzo al mundo del prototipado por medio de una estupenda herramienta de trabajo: La impresión en 3D. Consigo crear piezas completamente funcionales mediante la impresión con filamento y una máquina Prusa i3.

La impresión en 3D permite una precisión total y un abaratamiento enorme al hacer correcciones en piezas. La mayoría de las piezas se realizan en varios tipos de materiales en filamento, mediante técnica de deposición de plástico fundido. No es una técnica con la que se consigan resultados inmediatos. En mi caso requirió una formación previa mediante un curso para el montaje de la máquina, el aprendizaje de un programa de “fileteado” que transforma los modelos en 3D al lenguaje Gcode que interpreta la impresora. También fueron necesarias y forman parte de la investigación, las horas de lectura en la web sobre los distintos tipo de filamento, propiedades de los mismos, resolución de problemas de impresión, etc. Se muestran a continuación algunas de las piezas impresas con Ácido Poliláctico PLA que son funcionales dentro del segundo prototipo que se encuentra en su fase final.



Figura 6. Impresión de varias piezas del segundo prototipo.

Posiblemente en la fecha del Congreso Contart 2018 ya se habrán realizado las mediciones de temperaturas que corroboren su buen funcionamiento. Por ejemplo, con el nuevo diseño se están resolviendo temas de estanqueidad al disponer de una carcasa completamente cerrada en su desarrollo curvo. Se trata de un tubo de Policarbonato Compacto de 3 mm. de espesor de pared, cuyas propiedades ópticas ayudan a generar el efecto invernadero tan favorable a la hora de la captación del calor.

## RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Se ha conseguido inventar, desarrollar de forma real mediante prototipado y mejorar su futura producción, un captador solar térmico cuya geometría permite resolver muchos problemas de los paneles rectangulares del estado actual de la técnica. La idea está protegida como patente ES 2 598 602 B2 y concedida bajo la modalidad de *examen previo* que le da mayor seguridad jurídica y mayor valor curricular.

OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS  
ESPAÑA

Nº solicitud: 20180046  
Fecha de presentación de la solicitud: 14/03/2018  
Estado de tramitación

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

Int. Cl.: Ver Hoja Adicional

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documento citado	Referencias afectadas
A	EP 3148154 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP) (20160826) Cilindro de línea de columna de línea de línea	1
A	DE 101434 A1 (BERZOS-GUISTA) (11/02/2011) Figuras 6, 7 y 8 y Resumen de la descripción de la patente	1
A	WO 2012/07142 A2 (WATDIP EN ENVIRONMENTAL) (11/03/2012) Resumen: Agua	1
A	JP 5730548 A (TOKYO SHIBURA ELECTRIC CO) (19970816) Figuras 6, 7 y 8 y Resumen de la descripción de la patente	1
A	CN 201303274 Y (YINJIANG) (20130916) Figuras 6, 7 y 8 y Resumen de la descripción de la patente	1
A	FR 3127153 A (DALME-SOCHEN et al) (17/03/2018) Todo el documento	1

Figura 7: Recorte del informe del Estado de la Técnica con resultado favorable.

La forma es su principal novedad que le permite ser instalado preferiblemente en fachadas soleadas. Una carcasa exterior en forma de tubo, guarda en su interior un captador con un circuito que se calienta por la exposición solar. Su geometría le permite una integración arquitectónica mucho mejor como hoy en día se integra un canalón de cubierta, un toldo, etc. es decir, elementos predominantemente. De este modo no sólo se facilita el acceso e instalación al mismo sino que estéticamente es adecuado.

Se ha cuidado la durabilidad del equipo, ya que la facilidad de acceso al mismo permite revisiones más frecuentes, su limpieza y en particular de la parte translúcida que asegurar además un buen rendimiento. La capacidad de autoprotgerse contra fenómenos atmosféricos adversos mejora también su durabilidad.

La carcasa exterior dispone de una parte translúcida y otra opaca. Esta parte opaca tiene preferiblemente el color de la fachada o elemento sobre el que está fijado el conjunto. Gracias a la funcionalidad de giro de esta carcasa, se protege el interior (cuyo captador interior permanece inmóvil en un ángulo acimutal regulable) del excesivo sol, de la lluvia, del polvo, de la nieve, etc, aumentando el tiempo de su vida útil al sufrir menos sus componentes interiores. Al girar la carcasa gracias a unos rodamientos internos, su propia parte opaca genera sombra al interior. Dos goterones longitudinales protegen de la lluvia y el polvo a la parte transparente manteniéndola hacia abajo cuando no se usa el captador. Esta protección contra sobrecalentamientos evita el tener que instalar sistemas de disipación de calor, lo cual refiere un ahorro (compra, energía para disipar el calor, mantenimiento de esa parte, etc).



Figura 8. Aspecto terminado del primer prototipo construido.

Una serie de sensores electrónicos de radiación, lluvia y temperatura, colocados en la carcasa, hacen tomar decisiones a un microcontrolador que está en el interior de la vivienda, en base a unos parámetros establecidos. Por ejemplo, en función de la hora y la radiación solar del momento, al microcontrolador activa la bomba que hace circular el fluido por el interior del primario y del panel. Un motor lento en el interior es el encargado de hacer girar la carcasa según las necesidades o a voluntad del usuario. Por ejemplo si el detector de lluvia detecta agua, la carcasa gira para que la parte transparente no se ensucie. Si los sensores de temperatura detectan que el fluido vuelve a la misma temperatura a la que salió del captador, significa que ya no se requiere seguir calentando y se da una orden al motor de proteger al captador que ha *finalizado su jornada*, y la bomba que puede dejar de consumir electricidad.

A pesar de su dimensión predominante, su ligereza y forma permite que sea instalado por un único operario, lo cual representa un ahorro en su coste de colocación.

Como buen arquitecto técnico, algo cuadrado y empirista, en mi casa tengo un panel solar convencional para poder comparar resultados. Es accesible mediante una escalera al estar colocado sobre una pérgola. Al menos en nuestra latitud, -en Cáceres- el panel está tapado en sus  $\frac{3}{4}$  partes entre los meses de Abril y Octubre, es decir 7 meses. Con el 25% del espacio de captación es suficiente para nuestro caso particular de calentar 140 litros de agua a más de 50 grados al final de la tarde.

Ciertamente viendo las dimensiones del nuevo captador solar puede afirmarse que su rendimiento es inferior a un panel convencional. Pero es razonable pensar que si en gran parte de nuestra geografía el exceso de sol es un problema, un captador con menor superficie pero que resuelve otras muchas dificultades, puede ser un acierto.



Figura 9. Panel solar térmico convencional (derecha) y uno fotovoltaico a la izquierda.

En la actualidad se está concluyendo el montaje del segundo prototipo. Tan pronto se tomen temperaturas se podrá conocer su rendimiento y si se logra la financiación del proyecto, hacer los ensayos pertinentes para su homologación y obtención del marcado CE.

En resumen, esta invención tiene en cuenta aspectos arquitectónicos propios del entorno, como cascos históricos -donde los paneles convencionales están completamente prohibidos-, calles con viviendas de tipología popular que si bien no está tan prohibida su instalación, es cierto que provocan un impacto visual indudable. Éstos son asuntos que los ingenieros no consideran prioritarios y que para nosotros tienen mucha importancia.

Populariza la instalación de la energía solar térmica, ya que en bloques residenciales en altura, un propietario tendrá más fácil instalar en su balcón su nuevo captador, como un toldo, o sobre su barandilla sin apenas notarse desde el exterior. Los comuneros sí lo verían viable con unos criterios estéticos mínimos ya que no afectaría a elementos comunes como el tejado. Por sus dimensiones y forma puede ser instalado en autocaravanas, caravanas, incluso barcos.

Tiene igualmente en cuenta la durabilidad, la comodidad de instalación, uso y mantenimiento, la reducción de riesgos de caídas por trabajos en altura, el ahorro en componentes adicionales y la posibilidad de ser instalado muchos sitios. Son todos aspectos que nos identifican a los arquitectos técnicos como valedores de estas cualidades secundarias pero tan importantes como el fin que se busca.

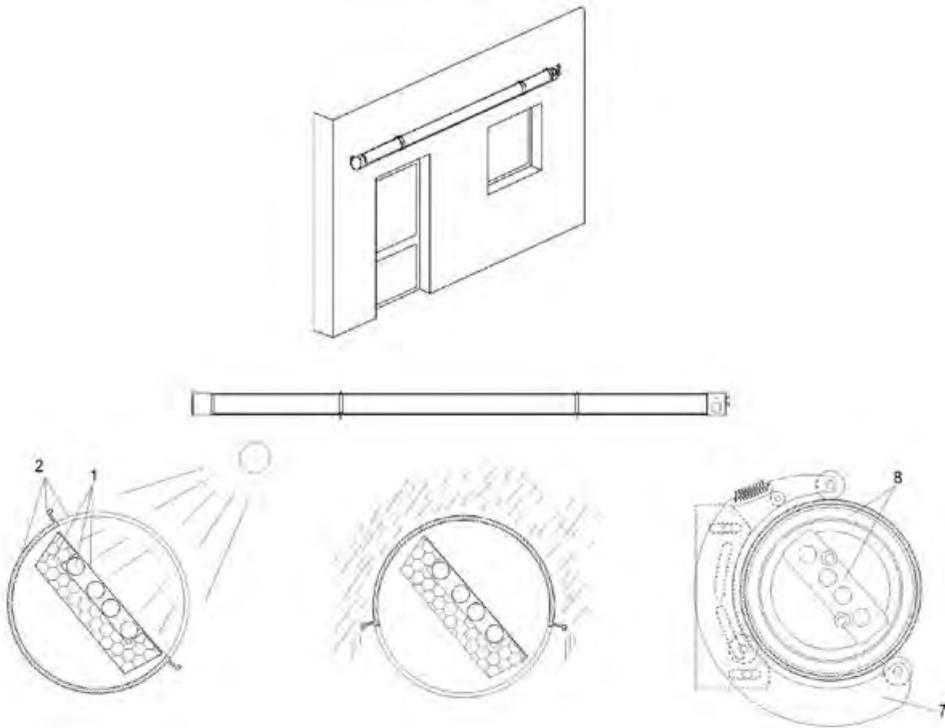


Figura 10. Diversos dibujos en perspectiva, alzado y tres secciones transversales sacadas del documento de patente.

## RECONOCIMIENTOS

Un especial recuerdo a mi padre, arquitecto e inventor sin patentes, que estaría feliz por haber transmitido su afición por el bricolaje, la innovación y la mejora continua de cuanto nos rodea. Y un agradecimiento a mi mujer por su apoyo y permitir que nuestra casa haya sido un laboratorio de experimentación.

## BIBLIOGRAFÍA

- Mendez, J.M. (2009), *Energía Solar Fotovoltaica*. (4ª Ed.) Madrid. Fundación Confemetal.
- Tobajas M.C. (2008) *Energía Solar Térmica para instaladores* (3ª Ed.). Barcelona. Ediciones Ceysa.
- Mac Cartney, K. (1980) *Agua caliente Solar Manual Práctico* (1ª Ed.) Madrid. H Blume Ediciones.
- Guía práctica de Energía Solar Térmica* (2008). Valencia. Agencia Valenciana de la Energía.
- Libro blanco de las Energías Renovables* (2017). Barcelona. Salvador Escoda S.A.
- Perez R. *Manual Sistemas Solares Térmicos*. Madrid. Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

**CIEM. PRIMER EDIFICIO DE CONSUMO CASI NULO DE TITULARIDAD MUNICIPAL EN ZARAGOZA. ESTRATEGIA DE EJECUCIÓN Y FUNCIONAMIENTO**

GARCÍA BALLANO, CLAUDIO JAVIER<sup>1</sup>; MONNE BAILO, CARLOS<sup>2</sup>; SÁNCHEZ ITURBE, MANUEL<sup>3</sup>; GARCÍA APARICIO, EDUARDO<sup>4</sup>

*<sup>1</sup> Universidad San Jorge, Zaragoza, España*

*E-mail: [cjgarcia@usj.es](mailto:cjgarcia@usj.es), Web: <https://www.usj.es/estudios/grados/arquitectura>*

*<sup>2</sup> Universidad de Zaragoza, Zaragoza, España*

*E-mail: [cmmmb@unizar.es](mailto:cmmmb@unizar.es), Web: <https://eina.unizar.es/>*

*<sup>3</sup> IDEYA, Zaragoza, España*

*E-mail: [msanchez@ideyared.es](mailto:msanchez@ideyared.es), Web: <http://www.ideyared.es/>*

*<sup>4</sup> Universidad de Zaragoza, Zaragoza, España*

*E-mail: [egarciap@unizar.es](mailto:egarciap@unizar.es), Web: <https://eina.unizar.es/>*

**PALABRAS CLAVE:** ECCN, energía renovable, geotermia, tubos canadienses, doble piel.

**RESUMEN**

Disponemos en la ciudad de Zaragoza de uno de los Edificios de Consumo Casi Nulo primeros de España. Se trata de un edificio de titularidad municipal, situado en el entorno de la Milla Digital construido en 2010 y destinado a albergar un vivero empresas tecnológicas de nueva creación: el edificio CIEM.

En el presente artículo se va a proceder a describir las premisas iniciales de partida que han posibilitado conseguir un ECCN, así como la manera en que han sido las soluciones implementadas en todos los campos: orientación óptima del edificio en función del soleamiento y de los vientos dominantes de la zona, resolución de la envolvente térmica, doble

piel, acristalamientos utilizados tanto en la piel exterior como en la interior, geotermia de lazo abierto agua-agua, geotermia tierra-aire mediante tubos canadienses, recuperador de calor, enfriamiento evaporativo, captadores solares fotovoltaicos tanto en fachada como en cubierta además de la microgeneración eólica.

Una vez planteadas las soluciones ejecutadas en el edificio se describirán las estrategias de funcionamiento del mismo, en función de las condiciones exteriores. Se explicará el funcionamiento del edificio en días soleados de invierno, basado en el pre-calentamiento del aire de ventilación a través del intercambiador tierra-aire y el aprovechamiento máximo de la radiación solar, así como la recuperación de calor del aire de extracción y su posterior expulsión al exterior a través de las cámaras nortes con el fin de crear un colchón térmico en estas fachadas. Igualmente se explicará el funcionamiento del edificio en días soleados de verano, generando auto-sombras y realizando un pre-enfriamiento del aire de ventilación a través del intercambiador tierra-aire, recuperando la energía del aire de extracción y generando un colchón térmico con el aire de expulsión en las cámaras sur incrementado su rendimiento tanto del sistema de climatización como el de los captadores solares fotovoltaicos de fachada mediante un enfriamiento adiabático previo a la salida del edificio en la fachada Suroeste.

## 1. INTRODUCCIÓN

Vivimos en una situación económica desfavorable donde se suma además que las necesidades energéticas a nivel mundial están en constante aumento; esta situación hacía presagiar, hasta hace unos años, una catastrófica situación a nivel de escasez de recursos energéticos. Por todo ello la Unión Europea publicó la Directiva 2010/31/UE [1], normativa que obliga a los 27 países miembros a asumir el denominado “triple objetivo veinte” para 2020: reducción de las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en un 20%; aumento de la eficiencia energética en un 20%; y que la energía en la Unión Europea (UE) provenga en un 20% de energías renovables. Esta misma directiva establece la obligatoriedad para finales de 2020 de proyectar las nuevas edificaciones de manera que sean edificios de consumo de energía casi nulo, y de que, de igual manera, después del 31 de diciembre de este año 2018 actual, los edificios nuevos que estén ocupados y sean propiedad de autoridades públicas, sean edificios de consumo de energía casi nulo.

En el presente artículo, se va a describir los elementos tenidos en cuenta, así como la dinámica de funcionamiento del edificio del CIEM en Zaragoza.

## 2. COMUNICACIÓN

### 2.1 Descripción del edificio

El edificio que nos ocupa está ubicado en una parcela de la Milla Digital de Zaragoza. Dicha parcela, tiene una superficie total de 3.004 m<sup>2</sup> y la edificación ocupa el 23% de la parcela. En el resto de la parcela se ubica el intercambiador de calor tierra aire (EAHX) así como zona de aparcamientos y el lugar para disponer los tres aerogeneradores de eje vertical que están instalados.

En este tipo de edificaciones es muy importante el factor de forma, es decir la relación de superficie de la envolvente frente al volumen que encierra. El volumen total edificado es

de 11.700 m<sup>3</sup>, siendo la superficie construida total de 2.727 m<sup>2</sup> y la útil de 2.309 m<sup>2</sup>.

El edificio, presenta una forma perfectamente cúbica de 22 m. de lado. La distribución interior gira en torno a un atrio que no sólo se concibe como un espacio común interior sino como una parte esencial en el funcionamiento del edificio. Dentro de las funciones que se le pueden asignar a este atrio son lograr una iluminación natural al interior, servir de centro de circulación además de una estancia informal común a las “incubadoras” que en el edificio se implantan.



Figura 1: Atrio central en el edificio del CIEM



Figura 2: Lucernario cenital del atrio.

En sección, se desarrollan tres plantas alzadas donde se ubican los viveros de empresas además de planta baja donde se alberga la recepción y el salón de actos, así como un semi-sótano que alberga el parking y los cuartos de instalaciones. [2]

Este semisótano tiene una peculiaridad que es que al tener más del 50% de su superficie de fachada por encima de la cota de terreno que lo rodea, permite llevar a cabo una ventilación e iluminación natural del mismo, reduciendo el consumo en este par de conceptos.

En la planta de cubierta se sitúa un campo de captadores solares fotovoltaicos así como el lucernario central que realiza una doble función: provee de una iluminación cenital del atrio y en el funcionamiento de modo verano generar una ventilación del atrio antes nombrado.



Figura 3: Campo solar fotovoltaico en cubierta del edificio.

La totalidad de las cuatro fachadas están formadas por una doble piel que genera unos espacios de circulación del aire de climatización además de un colchón térmico. Además, esta doble piel, en su cara exterior cuenta en las fachadas sureste y suroeste con una serie de captadores solares fotovoltaicos, así como grandes huecos que permiten el paso de la luz a través de la misma. En la cara noreste y noroeste, simplemente cuenta la cara exterior

de la doble piel con un vidrio serigrafiado por motivos meramente estéticos. Existen es este hueco pasillos de tramex que además de servir de pasarelas de mantenimiento para los paneles fotovoltaicos de fachada, sirven como protección solar para soleamientos inde-seables a las ventanas interiores, sin impedir la libre circulación del aire de climatización.



Figura 4 Fachadas Sur y captadores solares fotovoltaicos.  
Fachadas norte vidrio serigrafiado. M. Sánchez Iturbe.

Los vidrios que componen la fachada exterior son de tipo laminado 4+4 templado. En ellos, no se ha primado en sus características el aislamiento térmico ni la baja emisividad puesto que interesa que el calor se introduzca en las cámaras sur para poder gestionarlo más tarde en el interior del edificio y aprovecharlo para satisfacer parte de la demanda de calefacción. La estructura que soporta la piel exterior es de tipo muro cortina autoportante con perfilaría oculta y anclada a los forjados, teniendo especial cuidado en eliminar el puente térmico que se genera en este sistema de anclaje.

La distribución interior de las distintas estancias del edificio se ha llevado a cabo de la siguiente manera:

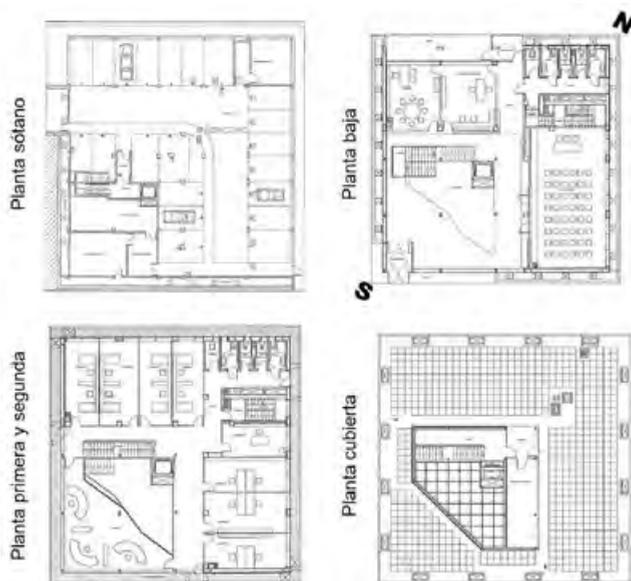


Figura 5 Plantas del edificio del CIEM. Autor: Proyecto de ejecución Intecsa-Inarsa.

## 2.2 Descripción de las instalaciones

### 2.2.1 Intercambiador tierra aire

Huyendo del “síndrome del edificio enfermo”, el CIEM, renueva el 100% del aire utilizado y lo introduce en el sistema de climatización a través de un intercambiador tierra aire (Earth Air Heat Exchanger – EAHX), siendo el caudal variable entre el mínimo necesario para la ventilación, de 5.480 m<sup>3</sup>/h, hasta los 15.500 m<sup>3</sup>/h necesarios para climatizarlo mediante free-cooling. Este intercambiador tierra-aire, está formado por un conjunto de 18 tubos de hormigón de 50 m. de longitud, colocados en dos niveles. La disposición de los 9 tubos de cada hilera es al tresbolillo, y se encuentran situados a una profundidad de entre 4 y 6 m. La distancia entre centros de los tubos es de 1 m. Para el dimensionado, disposición y longitud de los tubos se han tenido en cuenta aspectos económicos y funcionales, siendo en este caso de hormigón de 300 mm. de diámetro interior y 400 mm. de diámetro exterior, con un coeficiente de transmisión térmica de 0,93 W/m<sup>2</sup>K. [3]



Figura 6. Distribución tubos canadienses y fotografías de la ejecución de los mismos.  
Autor M. Sánchez Iturbe.

### 2.2.2 Climatizador todo aire exterior

Como se ha dicho anteriormente el climatizador es del tipo “todo aire exterior”, es decir, no existe mezcla de los flujos de aire de impulsión con los de extracción, de esta forma no se produce la contaminación cruzada típica de los sistemas tradicionales con retorno de aire. La UTA en modo ahorro energético, solamente trata el caudal mínimo necesario para ventilación. Este varía en función de la ocupación del edificio entre 0 y 5.500 m<sup>3</sup>/h. El caudal máximo de la climatizadora se da en función de free-cooling pudiendo llegar a los 24.000 m<sup>3</sup>/h.

La producción de frío y calor para el funcionamiento de la UTA viene dado por dos elementos. Se ha instalado una bomba de calor geotérmica de 60KW. Esta, intercambia calor con un flujo de agua proveniente de una instalación geotérmica agua-agua en lazo abierto. El COP de dicha bomba de calor es cercano a 6.

Se ha provisto al sistema de una de biodiesel de baja temperatura. Esta caldera alimenta tanto el suelo radiante del atrio en planta baja como unas baterías de apoyo a la entrada de

los plenums de los despachos como al climatizador. La caldera de baja temperatura permite trabajar a temperaturas de 35 a 45°, permitiendo la recuperación del calor latente de los gases de combustión; consiguiendo un rendimiento del 103,6% (si se toma como referencia el PCI del combustible).

### **2.2.3 Electricidad e iluminación**

El alumbrado artificial en edificios públicos puede llegar a suponer un 50% del gasto energético total (21). El aprovechamiento de la luz natural, junto con la utilización de sistemas de alumbrado de alta eficiencia, permite reducir este consumo entre un 60 y 70%. [4]

En el edificio se ha instalado tecnología led además de un sistema domótico que permite ajustar las necesidades de iluminación artificial en función de varios parámetros como son la ocupación de los espacios y la iluminación natural de los mismos.

En el edificio existe un cuadro eléctrico general y 9 cuadros secundarios. Todos ellos cuentan con la instalación de un analizador de redes que permite monitorizar los consumos en tiempo real.

### **2.2.4 Renovables**

En el edificio se ha instalado un total de 77,5 kW de potencia nominal. La producción fotovoltaica se sitúa tanto en las fachadas Sur-Oeste y Sur-Este como sobre la cubierta del edificio.

Los módulos fotovoltaicos colocados sobre las fachadas, en integración arquitectónica con una inclinación de 90, forman parte de la piel exterior de las cámaras. Tiene cada módulo una potencia de

70 Wp y poseen un excelente rendimiento, incluso con poca irradiación solar y altas temperaturas.

Los módulos fotovoltaicos colocados sobre la cubierta estarán sujetos a una estructura soporte anclada a la cubierta del edificio con una inclinación de 0°, con respecto al plano del suelo. A pesar de no tener una inclinación óptima, en poder ocupar el 100% de la superficie sin generarse sombra unos a otros hizo tomar esta decisión. La instalación de cubierta está formada por 150 módulos con una potencia de 300 Wp. El conjunto de captadores solares se puede resumir en un conjunto de 3 instalaciones, dos de 20 kW nominales (fachadas) y una de 37,5 kW nominales (cubierta) respecto a paneles y con dos inversores de 20 kW (fachadas) y tres de 12,5 kW nominales (cubierta).

### **2.2.5 Minieólica**

La instalación eólica consta de 3 aerogeneradores Urban Green Energy de eje vertical de 4 kW cada uno de ellos. Los aerogeneradores se ubican en la propia parcela, próximos a la fachada del edificio, en la zona donde las corrientes de aire alcanzan las mayores velocidades pues el rendimiento de estos generadores depende en mayor medida de la velocidad de rotación de las palas.



Figura 7. Aerogeneradores de eje vertical. Autor: Zeroplus.

### 2.3 Estrategia de funcionamiento en un día invierno

Para esta época del año (invierno), el edificio se ha diseñado de forma que sea capaz de retener el máximo calor en su interior, aprovechando su alta capacidad de acumulación térmica. El funcionamiento con el que se ha programado el edificio en estos días es el siguiente:

El 100% del aire primario utilizado para calefactar el edificio se introduce a través del sistema de intercambiador tierra-aire o tubos canadienses con el fin de ser precalentado. Antes de ser introducido en el sistema de climatización para ser calentándolo mediante sistemas convencionales, se debe aportar al mismo toda la energía gratuita posible. Para producir este calentamiento el aire es introducido a las cámaras sur (sureste y suroeste) de edificio. De esta manera conseguimos aprovechar el efecto invernadero generado en las mismas y este aire es conducido al lucernario de la parte alta del atrio donde, si las condiciones meteorológicas son favorables, sigue aumentando la temperatura.

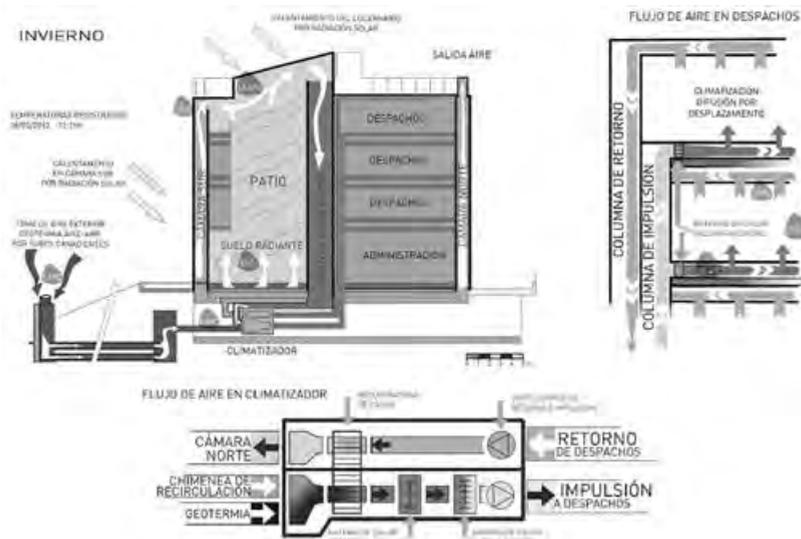


Figura 8. Estrategia de funcionamiento de un día soleado de invierno. Autor: Zeroplus.

Una vez calentado el aire, este es conducido por el conducto vertical existente en el atrio junto al ascensor hasta la unidad de tratamiento de aire UTA situada en el sótano. La UTA, mediante una bomba de calor geotérmica agua-agua que aprovecha la entalpía del nivel freático usado en este caso como foco caliente y /o una caldera de biodiesel, consigue terminar de calentar el aire hasta la temperatura de consigna para luego ser filtrado y servido a cada planta.

La distribución del aire se realiza por plénium a través del suelo mediante un sistema de difusión por desplazamiento. Este sistema de distribución genera menos consumo del ventilador de impulsión al introducir menos pérdida de carga en los conductos y además permite trabajar con una temperatura del aire más próxima a la de servicio, disminuyendo así mismo la energía necesaria para alcanzar esta temperatura.

El aire una vez utilizado llega por convección a los techos de cada estancia y es conducido a la UTA para su expulsión. Es en es la propia UTA donde, antes de ser expulsado al exterior, a través de un recuperador entálpico se recupera parte de su energía. Para expulsarlo al exterior se hace circular a través de las cámaras norte (noreste y noroeste) de manera que se genera un colchón térmico en la misma y se protegen térmicamente los cerramientos de los despachos.

## **2.4 Estrategia de funcionamiento en un día soleado de verano**

Para esta época del año (verano), el edificio se ha diseñado de forma que sea capaz de eliminar el máximo calor de su interior, aprovechando su alta capacidad de ventilación.

El funcionamiento con el que se ha programado el edificio en estos días es el siguiente:

El 100% del aire primario utilizado para refrigerar el edificio se introduce a través del sistema de intercambiador tierra-aire o tubos canadienses. Este aire es preenfriado ha de ser introducido en el sistema de climatización para ser enfriado mediante una bomba de calor geotérmica agua-agua que aprovecha la entalpía del nivel freático usado en este caso como foco frío. Existen días en los que si el salto térmico que ha de generar la bomba de calor es mínimo este se aporta utilizando, a través de un intercambiador, el agua proveniente del pozo de captación del sistema de geotermia en lazo abierto existente. Una vez enfriado el aire hasta la temperatura de consigna es filtrado y servido a cada planta.

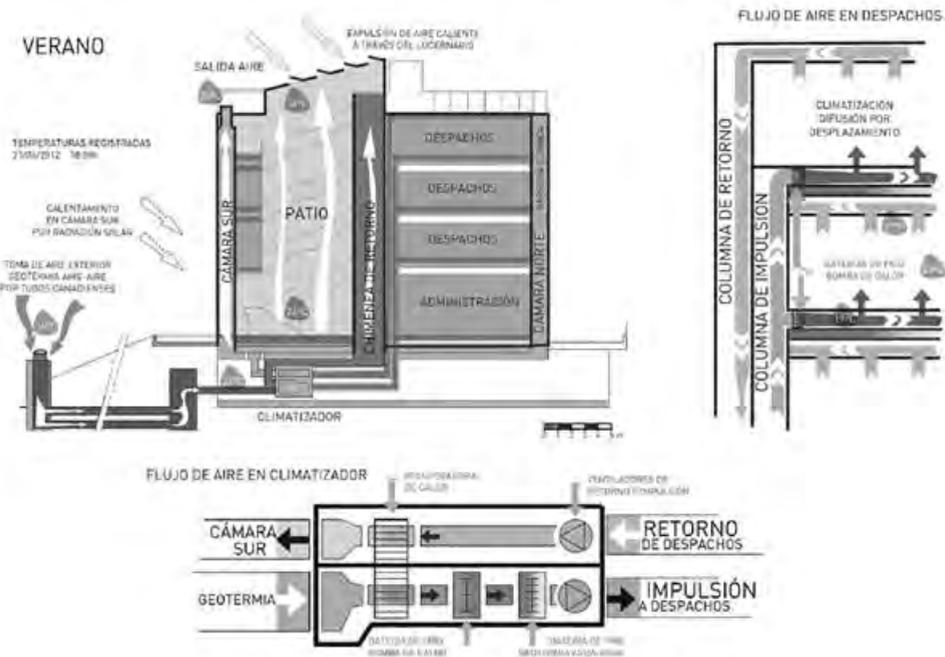


Figura 9. Estrategia de funcionamiento de un día soleado de verano. Autor: Zeroaplus.

La distribución del aire se realiza al igual que en el modo de funcionamiento de invierno por plénium a través del suelo mediante un sistema de difusión por desplazamiento.

El aire una vez utilizado llega por convección a los techos de cada estancia y es conducido a la UTA para su expulsión. Al igual que se ha explicado antes, es en la propia UTA donde, antes de ser expulsado al exterior, a través de un recuperador entálpico se recupera parte de su energía. Para expulsarlo al exterior se hace circular a través de las cámaras sur (sureste y suroeste).

Esta circulación del aire de expulsión es además sometida a un enfriamiento adiabático, mediante la atomización de agua a alta presión sobre unas termoarcillas situadas en la base de la cámara por las que se hace circular el aire. De esta manera se consigue disminuir más la temperatura del aire de expulsión, mejorando la capacidad de la cámara como colchón térmico para proteger las zonas comunes y además refrigerar los paneles solares fotovoltaicos que forman parte de la piel exterior.

Durante este funcionamiento las trampillas de la parte superior del lucernario superior permanecen abiertas con el fin de mejorar la ventilación natural del edificio y que no se acumule calor en la parte alta del atrio. Este lucernario tiene una inclinación favoreciendo la extracción del aire acumulado mediante efecto Venturi, al generar una depresión por aumento de la velocidad del aire en el exterior provocando una succión en las aberturas.

### 2.5 Funcionamiento de climatización en verano en modo free-cooling

Existen horas del día en verano que se dan condiciones óptimas para poder llevar a cabo un enfriamiento gratuito (free-cooling). El sistema está preparado para que, en los

momentos en que la temperatura exterior es inferior que la del interior del edificio, éste abra una serie de compuertas e introduzca el aire del exterior produciendo una disminución de la temperatura interior sin aporte energético. Para ello, en la fachada noroeste del edificio existe una entrada de aire, que viene favorecida por ser la fachada más expuesta al viento dominante en la ciudad (Cierzo) que conecta dicha fachada con el interior del atrio en planta baja.



Figura 10. Estrategia de funcionamiento del free-cooling. Autor: Zeroaplus.

Igualmente se abren las trampillas superiores de las fachadas norte y se introduce el aire fresco directamente al suelo de los despachos. Este es recogido por los conductos de extracción y forzado a su expulsión a través del lucernario de la parte superior del atrio y de las fachadas sur, de manera que se refresquen las mismas y por consiguiente los paneles solares fotovoltaicos que forman parte de esta.

### 3. CONCLUSIONES

A lo largo de la presente comunicación se han ido describiendo las diferentes soluciones activas y pasivas diseñadas en el edificio del CIEM. Este conjunto de soluciones ha conseguido llevar al edificio a unos niveles de eficiencia energética tan elevados que se han cumplido las premisas de partida del proyecto de construir un “edificio de Consumo Casi Nulo”.

Es fundamental el poder disponer de tecnología suficiente para poder llevar a cabo la implementación de los distintos modos de funcionamiento, así como es clave la monitorización de todos los sensores que dispone en edificio (de consumo, de temperatura, de humedad, de caudales, etc.) con el fin de poder ajustar el funcionamiento de este en función de sus lecturas. Ha sorprendido el excelente funcionamiento del intercambiador tierra aire, llegando en momentos puntuales a comienzo de primavera y de otoño de COP's por encima de 80 [5], con una amortización de esta instalación a los 2,8 años de su puesta en marcha. Sería deseable en este tipo de intercambiadores el implementar una entrada directa del aire de climatización desde el exterior, si pasar por los tubos; un by-pass que, si las condiciones de salida del aire de los tubos fueran peor que las directas de entrada desde el exterior, pudiera tomar aire directamente del exterior.

Se puede concluir que este edificio ha permitido testar las soluciones integradas en él, de manera que pueda servir como ejemplo para para futuros proyectos.

#### 4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Parlamento-Europeo. (18 de 6 de 2010). DIRECTIVA 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios. Diario Oficial de la Unión Europea la Directiva.
- [2] M.SÁNCHEZ, A.SÁNCHEZ, J. GRACIA. Proyecto Constructivo “Edificio Cero Emisiones en Zaragoza”. (2010)
- [3] M. SÁNCHEZ, O. CABELLO; “La Geotermia Aire-Suelo, caso de éxito en el edificio “cero Emisiones”de Zaragoza.”
- [4] IDAE.; Guía Técnica de Eficiencia Energética: Oficinas. (2001).
- [5] M. SÁNCHEZ, C. J. GARCÍA; “Análisis de un intercambiador tierra-aire (EAHX), atendiendo al comportamiento cíclico estacional de la temperaturas del terreno que envuelve a los tudos. III Congreso de Edificios de Energía Casi Nula (2016).

**PASSIVHAUS EN ALTURA EN BOLUETA-BILBAO. PROYECTO DE 361 VPO, SOCIALES Y TASADAS EN DOS BLOQUES (28 Y 21 ALTURAS SOBRE RASANTE). CUMPLE ESTÁNDARES PASSIVHAUS**

CELADA ORTIZ DE APODAKA, LUIS ANTONIO<sup>1</sup>; TINA GALDÓS, FRANCISCO JAVIER<sup>2</sup>;  
LA PEÑA IRIGOYEN, HUGO<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Vivienda y Suelo de Euskadi, S.A., Visesa, Vitoria-Gasteiz, España*  
*E-mail: luis@visesa.eus, Web: www.visesa.eus*

<sup>2</sup> *Vivienda y Suelo de Euskadi, S.A., Visesa, Vitoria-Gasteiz, España*  
*E-mail: javier.tina@visesa.eus, Web: www.visesa.eus*

<sup>3</sup> *VARQUITECTOS, Pamplona, España*  
*E-mail: hugo@varquitectos.com, Web: www.varquitectos.com*

**PALABRAS CLAVE:** “#361BOLUETA”, ”PASSIVHAUS”, “VPO”, “RASCACIE-LOS”.

**RESUMEN**

El proyecto se comienza a desarrollar en 2012, tras resultar adjudicatarios del concurso público convocado por Gobierno Vasco, concretamente por Visesa, para la redacción del proyecto y la posterior dirección de obra de 361 viviendas, repartidas en dos bloques, el A con 171 viviendas 28 alturas, y el B con 190 vivienda y 21 alturas.

El proyecto en sus inicios se planteó como un edificio eficiente, con generación mediante una central de distrito. Dicha central de distrito no llegó a materializarse, por lo que en ese momento para poder seguir ofreciendo unas viviendas eficientes se planteó la posibilidad de adaptar al estándar Passivhaus el proyecto. Se desarrolló un estudio que fue aprobado por Visesa, y a partir de ese momento se trabajó para poder contar con un proyecto certificable.

Ha supuesto un reto por varios motivos; en primer lugar por el propio tamaño del edificio, en este caso un bloque con 171 viviendas, y otro con 190. Por otro lado su altura, hace que sea el edificio Passivhaus más alto del mundo, por encima del rascacielos de Nueva York o la torre de oficinas de Austria. Y por último, el que sean viviendas de protección oficial, e incluso 63 de ellas sean sociales en régimen de alquiler, hacen que cobre todo el sentido el esfuerzo por realizar un edificio de consumo casi nulo, para los gastos derivados de vivir en el mismo sean lo más acotados posibles.

## INTRODUCCIÓN

El trabajo desarrollado se ha centrado en adaptar al exigente estándar alemán un proyecto de vivienda de protección oficial promovido por Visesa, con técnicas constructivas y materiales tradicionales.

Para ello se presentó un estudio que se desarrollará a continuación exponiendo los cambios y mejoras necesarios para poder alcanzar el estándar.

Las principales exigencias del Passivhaus son las siguientes:

- Demanda de calefacción:  $< 15\text{kWh/m}^2\text{a}$ .
- Carga de calefacción:  $< 10\text{W/m}^2$ .
- Hermeticidad:  $< 0,6$  renovaciones/hora.
- Energía Primaria:  $< 120\text{kWh/m}^2\text{a}$ .

Poder alcanzar estos parámetros ha supuesto un reto, puesto que son cifras de Edificio de Consumo casi Nulo. Además, el hacerlo con materiales tradicionales como el hormigón, ladrillo, yeso, etc. y conseguir que el presupuesto no se incremente más de lo aceptable, para que siga entrando en los ratios de Gobierno Vasco y sea viable.

El proyecto fue galardonado con la calificación BEST en los X Best Practice Awards de sostenibilidad de Naciones Unidas, tanto por la eficiencia del edificio como por la actuación urbanística de regeneración urbana.

Ha sido publicada en diversas revistas especializadas del sector, incluyendo medios internacionales, y ha sido noticia en medios de comunicación tanto gráficos como escritos, tanto a nivel local como nacional.

Del mismo modo, ha sido objeto de presentación en los siguientes Congresos de alta eficiencia y sostenibilidad:

- 7ª Conferencia Passivhaus Española: El proyecto fue el seleccionado para abrir la conferencia de 2015 que tuvo lugar en Barcelona.
- 21º Conferencia Internacional Passivhaus: En Abril de 2017 En Austria, el proyecto #361Boluetta fue seleccionado para ser expuesto junto a otros proyectos emblemáticos a nivel mundial.
- 17º Conferencia Passivhaus Estados Unidos: En Octubre de 2017 tuvo lugar dicha conferencia en San Francisco en la que el proyecto #361Boluetta tuvo una ponencia destacada.
- 5º Conferencia Passivhaus Portugal 2017: El proyecto fue seleccionado para desarrollar la ponencia principal del Congreso.
- I ePower&Building The Summit: En Madrid, en Noviembre de 2017 #361Boluetta

fue el Proyecto seleccionado para la clausura del Congreso.

- IV Congreso de Edificios de Energía Casi Nula: En Diciembre de 2017 fue seleccionado para participar en el Congreso.
- II Bial Arquitectura Colegio Arquitectos Vasco Navarro: En 2018 #361Bolueta ha sido seleccionado para ser expuesto en la clausura de la misma.

## DESARROLLO Y METODOLOGÍA

El proyecto se ha trabajado principalmente sobre los cinco principios básicos del Passivhaus, aplicando diversas mejoras. El punto de partida era el proyecto de origen con una calificación energética A, y para ello se ha modelizado este estado previo con el PHPP, la herramienta informática del Passivhaus Insitute. En estas condiciones el proyecto arroja una demanda de calefacción de 56kWh/m2a, cifra que coincide con los consumos reales de este tipo de edificios pese a contar con la máxima calificación energética, pero muy lejos de los 15kWh/m2a exigidos por el Passivhaus Institute para poder considerarse Pasivo, o Edificio de Consumo Casi Nulo.

Specific building characteristics with reference to the treated floor area		Treated floor area m <sup>2</sup>	Criteria	Alternative criteria	FullPass <sup>2</sup>
Space heating	Heating demand kWh/(m <sup>2</sup> a)	56	18	10	no
	Heating load W/m <sup>2</sup>	23	-	10	-
Space cooling	Cooling & dehum. demand kWh/(m <sup>2</sup> a)	-	-	-	-
	Cooling load W/m <sup>2</sup>	-	-	-	-
	Frequency of overheating (> 25 °C) %	2	10	-	yes
	Frequency excessively high humidity (> 12 g/kg) %	0	20	-	yes
Airtightness	Pressurization test result n <sub>50</sub> 1/h	2,5	0,6	-	no
Non-renewable Primary Energy (PE)	PE demand kWh/(m <sup>2</sup> a)	-	120	-	-
	PER demand kWh/(m <sup>2</sup> a)	-	-	-	-
Primary Energy Renewable (PER)	Generation of renewable energy kWh/(m <sup>2</sup> a)	-	-	-	-

Tabla 1. Estado previo con el PHPP.

Se han trabajado en este orden estos aspectos: 1. Aislamiento. 2. Puentes térmicos. 3. Carpinterías de altas prestaciones. 4. Ventilación mecánica de doble flujo con recuperación de calor. 5. Alta hermeticidad al aire.

**1. Aislamiento:** Fue el primer aspecto que se trabajó en el PHPP. Se contaba ya con una envolvente continua por el exterior del edificio, de 6cm de lana de roca, y 5cm adicionales de lana mineral en el trasdosado de cartón yeso. Finalmente se optó por una solución consistente en 10cm de lana de roca por el exterior y 5cm al interior, sumando por tanto 15 cm de aislamiento. Con estos espesores en fachadas, se opta por 15cm en cubierta, y suelo de baja 10cm más 3cm de arlita, las transmitancias de los paramentos rondan 0,20-0,25W/m2k, cifra suficiente para el clima de Bilbao, y sin duda favorecidos por el gran volumen del edificio y su buen factor forma.

La mejora del espesor del aislamiento se traduce en una reducción den la demanda de 14kWh/m2a, pasando ahora a 42kWh/m2a de demanda.

Es realmente importante que el aislamiento sea continuo, para lo que es preciso que se coloque por el exterior. Se aplica lo que se ha venido a llamar la regla del rotulador, que no consiste más que en poder trazar una línea continua de la envolvente térmica tanto en plantas como en secciones, sin levantar el lápiz del papel. Este sencillo ejercicio permitirá

obtener una continuidad total de la envolvente térmica, eliminando los principales puentes térmicos.

Para la fachada ventilada se ha optado por colocar lana de roca de doble densidad al exterior por varios motivos. El primer es su comportamiento al fuego, siendo un material ignífugo, y que no desprende gases tóxicos en caso de incendio. Es un producto que permite el paso del vapor de agua, dejando “respirar” a la fachada. Además, por su elevada densidad no precisa de un velo para evitar que pierda propiedades con el agua, por lo que resulta especialmente adecuada para este tipo de aplicaciones.



Figura 1. Aislamiento exterior.

**2. Puentes térmicos:** Al plantear un aislamiento continuo por el exterior del edificio, se eliminan los puentes térmicos en frentes de forjados, pilares, etc. Para el resto de encuentros, fachada con cubierta, forjado de planta baja con fachada, etc. se han modelizado con la herramienta Flixo energy 7.0 para poder desarrollar el detalle constructivo más adecuado para cada caso. A continuación se muestran algunos de los puentes térmicos calculados; encuentro de carpinterías con fachada ventilada, con SATE, jambas, etc.

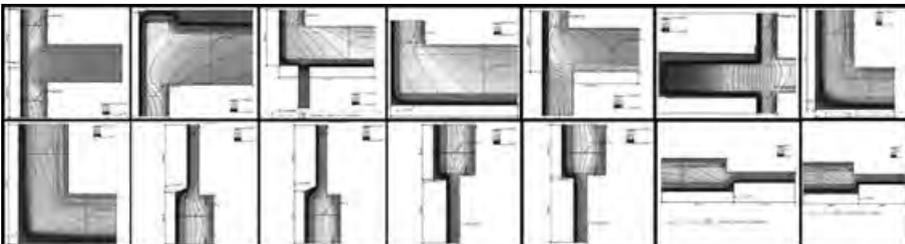


Figura 2. Puentes térmicos.

La repercusión que tiene en el conjunto la mejora de estos puentes térmicos es relevante, puesto que dadas las dimensiones del conjunto, cualquier puente térmico mal resultado supone unas pérdidas energéticas de importancia en el total. En total se trata de  $8\text{kWh/m}^2\text{a}$ , pero lo principal es poder garantizar la ausencia de patologías derivadas de condensaciones por bajas temperaturas en cualquier punto de la envolvente de los paramentos interiores.

Para lograr estos objetivos, se ha tratado en todos los casos de utilizar soluciones sencillas, efectivas y baratas para eliminar los puentes térmicos. Las soluciones industrializadas en muchos casos quedan fuera de presupuesto, y por lo que ha habido un intenso trabajo de análisis y modelizaciones para poder dar viabilidad a estas soluciones.

**3. Carpinterías altas prestaciones:** Las carpinterías previstas de proyecto, ya eran de altas prestaciones por las propias características del edificio y sus exigencias derivadas de la altura, problemática de ruidos, etc. La  $U_w$  prevista era de  $1,6\text{W/m}^2\text{k}$ , pero finalmente se han prescrito carpinterías certificadas Passivhaus, con una  $U_w$  menor de  $0,85\text{W/m}^2\text{k}$ .

Esto implica pasar de un balance energético anual tremendamente negativo, a un casi equilibrio entre pérdidas y ganancias, y su repercusión en la demanda de calefacción implica una reducción de  $7\text{kWh/m}^2\text{a}$  adicionales.

El aspecto de la eficiencia energética no ha sido fácil de resolver, pero el resultado ha sido muy satisfactorio. Más complejo ha sido el detalle para proteger el hueco tipo de posibles entradas de agua. Pese a contar con un encintado de hermeticidad exterior que es impermeable al agua, se decidió colocar un elemento lineal por lo menos en alfeizar y cabezal que impidiese el discurrir del agua. La imagen de la izquierda es una solución que si bien es correcta desde el punto de vista térmico genera un gran puente térmico por tratarse de bandejas metálicas. Finalmente se optó por el detalle de la derecha, con un recerco de PVC, a base de un perfil alveolar extrusionado que no producía pérdidas térmicas, y aseguraba además la impermeabilidad del hueco en todas sus caras.



Figura 3. Carpinterías



Figura 4. Carpinterías.

**4. Ventilación de doble flujo con recuperación de calor:** La ventilación mecánica de doble flujo resulta imprescindible en un proyecto como este, y es en gran parte responsable de la calidad del aire interior, así como del confort en la vivienda. Se planten recuperadores individuales por cada unidad de vivienda, situados en el exterior de la misma, generalmente en el falso techo de las terrazas, dependiendo de cada tipología. La admisión se realiza desde la propia fachada, en tanto que la expulsión del aire viciado del interior de las viviendas se hace por unos conductos interiores que cuentan con ventiladores en cubierta.

Es importante destacar que el recuperador será de alta eficiencia y certificado por el Passivhaus Institute, para contar con la certeza de que el rendimiento del mismo será máximo. Esta medida se cuantifica con una reducción de 8kWh/m<sup>2</sup>a.

Contar con una ventilación de doble flujo con recuperación de calor, permitirá que las viviendas siempre dispongan de la máxima calidad del aire interior, con todo el confort posible. Se da el caso, de que la calidad interior del aire podrá ser mejor que la exterior gracias al filtrado del mismo previo a su impulsión, y en primavera por ejemplo es evitará el polen en el interior. Todo ello implica una notable reducción de ruidos del exterior.

Pero todo ello sin una correcta instalación y posterior puesta en marcha de poco servirá, es imprescindible un calibrado muy exacto de cada máquina, con una diferencia entre admisión y expulsión de un máximo del 10%.



Figura 5. Ventilación de doble flujo con distribución en árbol.

**5. Hermeticidad:** Tras la correcta implementación de las anteriores medidas, es necesario trabajar la hermeticidad al aire, puesto que de otro modo el rendimiento de la ventilación con el doble flujo caería en picado, además de perder confort, calidad del aire interior, etc. Para conseguir una hermeticidad de tan solo 0,6r/h se ha planteado una línea de hermeticidad por unidad de vivienda. Para ello se ha previsto un enyesado de todo el perímetro

interior de cada una de las viviendas, sobre la fábrica maciza de ladrillo. Las zonas de la torre con pantallas de hormigón no se ha previsto enyesarlas, puesto que las pantallas ya son estancas al aire. Los patinillos y todas las perforaciones de la envolvente se trabajarán con productos específicos, sean cintas o bandas de estanqueidad, collarines, etc.



Figura 6. Líneas de hermeticidad por unidad de vivienda.

Pero todo esto es la teoría, la realidad es que en obra, se han superado todas las expectativas, y en los procesos de soplado de la primera fase, con 171 viviendas ensayadas y terminadas, la hermeticidad media ha sido de tan solo 0,37 renovaciones/hora. Por supuesto todas y cada una de las viviendas están por debajo del límite de 0,6 r/h. Esta mejora adicional en la hermeticidad permite ganar unas décimas más a la eficiencia energética del edificio.

Para ello, el rigor en la construcción y la limpieza en el día a día de la obra ha sido clave, para realizar un Blower door o soplado de puerta, la obra se asemeja más a un laboratorio que a una obra...



Figura 7. Hermeticidad.

Esta medida supone una reducción de la demanda de calefacción de 7 kWh/m<sup>2</sup>a, quedando por tanto la demanda en tan solo 11 kWh/m<sup>2</sup>a.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El edificio está en proceso de certificación, pero las cuestiones más complejas de obra, especialmente la hermeticidad se han solventado con gran éxito. Por tanto, podemos afirmar que es perfectamente posible desarrollar un edificio bajo el estándar Passivhaus de VPO, en altura, con construcción tradicional y además sin desviaciones en el presupuesto. Los

sobrecostos que han supuesto esta serie de mejoras y medidas se exponen en la siguiente tabla, con un desglose por cada bloque.

Tabla 2. Sobrecostos.

	RE1A	RE1B
Hermeticidad	68.145,00	71.718,00
Carpinterías altas prestaciones	101.868,00	115.207,00
Recuperación de calor	165.600,00	170.680,00
Eliminación de Puentes térmicos	18.594,00	19.803,00
Mejoras	354.207,00	377.408,00
<b>Total Presupuesto</b>	<b>10.814.194,00</b>	<b>12.234.461,00</b>
Presupuesto+mejoras	11.168.401,54	12.611.869,00
<b>Sobrecosto %</b>	<b>3,28</b>	<b>3,08</b>

Se puede determinar por tanto que adaptar el edificio hasta convertirlo en Pasivo o de Consumo Casi Nulo ha supuesto un sobre costo en torno al 3%. Pero habría que analizar el periodo de retorno de esta inversión, para poder valorar su rentabilidad:



Tabla 3. Ahorros.

El ahorro para la torre A con 171 viviendas suma 60.000€/anuales, y para el total de las 361 con 125.000€/anuales, suponiendo un precio de 0,1.€/kWh. Esto hace que el sobrecosto se iguale con el ahorro en tan solo 6 años.

**CONCLUSIONES**

El edificio se ha ejecutado según lo previsto, y acaba de obtener la certificación Passivhaus, siendo por tanto el edificio certificado Passivhaus más alto del mundo.

El desarrollo de los trabajos no ha tenido incidencias reseñables, gracias a un proyecto con un muy elevado nivel de definición, un equipo de obra bien formado, y una dirección de obra muy intensa.

Este proyecto demuestra que es posible desarrollar un edificio pasivo o de consumo casi nulo sin un sobrecosto reseñable, aun siendo tipología de vivienda de protección oficial.



Figura 8. Estado actual.

**REFLEXIONES SOBRE LOS PLIEGOS DE CONTRATACIÓN PÚBLICA  
DE EDIFICIOS DE ENERGÍA CASI NULA. EL CASO DE LA REFORMA DE  
FILOSOFÍA EN LA UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA**

GONZÁLEZ MARTÍNEZ, CARLOS

*Unidad Técnica Universidad de Zaragoza, Zaragoza, España*

*E-mail: cgonzal@unizar.es*

**PALABRAS CLAVE:** Contratación pública EECN, Criterios de admisión y adjudicación, Mejoras

**RESUMEN**

Nadie discute hoy la necesidad de reducir el impacto que la actividad humana está produciendo sobre el planeta hasta el punto de poder controlar los efectos devastadores que el cambio climático anuncia. Las actividades relacionadas con la construcción, a lo largo de todo el ciclo de vida de los edificios, contribuyen en gran medida al deterioro ambiental por su alto consumo de recursos, pero, también es cierto que se trata de un sector donde parece relativamente asequible invertir la tendencia si se ponen los medios y recursos adecuados. El primer objetivo, por tanto, será reorientar la actividad y el negocio de la construcción bajo modelos de economía circular donde se marquen criterios de sostenibilidad. Bajo cualquier modelo de intercambio económico, los contratos entre las partes son un instrumento fundamental del que depende en gran medida el éxito del negocio y, ahora más que nunca, será necesario que los contratos que se suscriban sean capaces de garantizar e incluso mejorar los estándares *sostenibles* que el promotor perseguía cuando alumbró su proyecto. Un medio eficaz para verificar el correcto cumplimiento del contrato es la certificación por terceros del resultado final. Es en estos aspectos en los que se centra este trabajo: los pliegos de contratación de la obra de construcción.

El trabajo se focaliza en la contratación de obra pública de edificación y estudia el caso de las aportaciones técnicas introducidas en los pliegos de contratación de la obra de *Reforma y Ampliación de la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad de Zaragoza* que contribuyen a alcanzar los objetivos de sostenibilidad en su construcción. Se da por supuesto que el proyecto de obras redactado, objeto de esta licitación, cumple con todos los requisitos exigidos y presenta un diseño óptimo de eficiencia merecedor de ser el adjudicatario del concurso público celebrado en su día. Se trata de regular en el contrato la forma de reducir los riesgos de una contratación deficiente, de obtener nuevos beneficios a partir de las mejoras que el constructor oferte y de asegurarse de haber alcanzado los resultados que en la fase de proyecto determinamos. No tratamos aquí de analizar el proyecto sino de la contribución del proceso de contratación a la mejora de los resultados.

## 1. INTRODUCCIÓN

El ordenamiento jurídico, con su desarrollo técnico normativo, es cada vez más exigente con la demanda energética, la gestión de los residuos y el consumo de recursos, siempre escasos. Desde finales de la última década del siglo pasado, la Unión Europea ha venido introduciendo en el cuerpo legislativo numerosas directivas donde se plasma el carácter ejemplarizante y dinamizador que deben desempeñar las administraciones públicas [1]. Con la Directiva 2010/31/UE<sup>1</sup>, relativa a la eficiencia energética de los edificios, termina de perfilarse la senda a seguir. Dispone en su expositivo que “Las autoridades públicas deben dar ejemplo y procurar aplicar las recomendaciones contenidas en los certificados de eficiencia energética.” Dice asimismo que “los edificios ocupados por las autoridades públicas [...] deben constituir un ejemplo de que los factores medioambientales y energéticos se tienen en cuenta y, en consecuencia, tales edificios deben ser objeto periódicamente de certificación energética”. Atendiendo a este preámbulo, la directiva obliga a que, a partir del 31 de diciembre de 2020, todos los edificios de nueva construcción sean de consumo de energía casi nulo, pero para los edificios públicos, anticipa la exigencia al 31 de diciembre de 2018.

La siguiente norma comunitaria relativa a la eficiencia energética que ve la luz, es la Directiva 2012/27/UE<sup>2</sup> que incluye ya los edificios existentes, incidiendo en la rehabilitación energética del parque inmobiliario público que constituye el sector con mayor potencial de ahorro de energía, sector que considera crucial para alcanzar el objetivo de la Unión de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero entre un 80 % y un 95 % para 2050 respecto a 1990. Los edificios de propiedad estatal representan una parte considerable del parque inmobiliario y tienen una alta visibilidad ante la opinión pública. La *Guidance for National Energy Efficiency Action Plan* [2] precisa, en los renglones 34 y 35, los compromisos que las administraciones públicas tanto centrales como de otros organismos públicos adquieren con su patrimonio inmobiliario.

La Universidad de Zaragoza no ha rehuído ejercer el papel ejemplarizante que se le otorga a las Administraciones Públicas y ya en 2009 inauguraba un edificio que pretendía obtener el distintivo de cero emisiones (NZEB): el CIRCE. El comportamiento energético

<sup>1</sup> Directiva 2010/31/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios (refundición).

<sup>2</sup> Directiva 2012/27/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 25 de octubre de 2012 relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE.

del edificio ha sido objeto de numerosos estudios [3] aunque no se construyó siguiendo los procedimientos de verificación bajo el amparo de ningún procedimiento de certificación de la sostenibilidad reconocido.

En España, las reglas para la contratación de obras en el sector público se rigen hoy por la Ley 9/2017, de Contratos del Sector Público<sup>3</sup>. Esta ley gozó de un periodo de *vacatio legis* de cuatro meses, en cuyo *interin* –el 26 de febrero- fue publicado en el Diario Oficial de la Unión Europea el procedimiento de licitación de las obras de Reforma y Ampliación de la Facultad de Filosofía. Por tanto, el instrumento normativo en el que se enmarca la contratación de estas obras es la anterior ley de contratos de 2011<sup>4</sup>. Se trata de un contrato típico de obra.

En los pliegos de un procedimiento de licitación de una obra pública disponemos de posibilidades para incidir en el éxito de un buen proyecto de obras. Partimos de la base de que se trata de un buen proyecto, elaborado bajo criterios de sostenibilidad, siguiendo el mandato de la cada día más exigente legislación (o yendo más allá) y buscando ejercer el papel ejemplarizante que se nos atribuye en las Directivas señaladas. Tenemos posibilidades de incidir sobre tres aspectos del pliego:

a) Criterios de admisión. La solvencia técnica.

Salvo supuestos especiales, podrán justificar su solvencia técnica todos los licitadores que dispongan de la clasificación requerida en los pliegos y que viene legalmente determinada por el objeto (Grupo y subgrupo) y por la anualidad media del importe del contrato que viene a ser el presupuesto del proyecto, dividido por el plazo de ejecución en años (categoría). Se trata de un criterio de capacidad más que de calidad o experiencia. Existen supuestos especiales en materia medioambiental. Se refieren a obras que puedan generar un alto impacto ambiental. Bajo esta exigencia podemos incluir que el contratista esté certificado según el estándar UNE EN 14.001, UNE EN 50.001, OSHAS...

b) Obligaciones esenciales y condiciones específicas de ejecución de la prestación.

Como obligaciones esenciales cabe introducir en los pliegos, entre otras obligaciones, las relacionadas con los medios humanos adscritos a la obra, las referidas a la subcontratación y aquellas ofertadas por el licitador y valoradas en la adjudicación. Entre las condiciones específicas de ejecución podríamos enumerar todas las que en adición a las requeridas por la buena praxis de la construcción se consideraran de interés: metodología de gestión de la obra, gestión y obtención de certificados de calidad, salubridad y eficiencia, inclusión, igualdad...

c) Los criterios de adjudicación y, en particular, las mejoras propuestas que el licitador se comprometa a realizar sin coste adicional.

Este es el punto en el que más capacidad de intervención se tiene. En primer lugar quiero señalar el daño que la preponderancia del factor económico tiene en la gran mayoría de las licitaciones. Los criterios sometidos a valoración automática deben suponer más del 50 % de la puntuación máxima<sup>5</sup>.

<sup>3</sup> Ley 9/2017, de 8 de noviembre, de Contratos del Sector Público, por la que se transponen al ordenamiento jurídico español las Directivas del Parlamento Europeo y del Consejo 2014/23/UE y 2014/24/UE, de 26 de febrero de 2014. Su entrada en vigor se produjo el 9 de marzo de 2018.

<sup>4</sup> Real Decreto Legislativo 3/2011, de 14 de noviembre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Contratos del Sector Público.(TRLCSP)

<sup>5</sup> Salvo que se incorpore un comité de expertos externo a la administración convocante para su evaluación y se justifique el por qué es necesario utilizar este, cuestiones estas normalmente muy complejas en su definición y argumentación.

Tradicionalmente el criterio de la baja (reducción del precio ofertado respecto del presupuesto base del proyecto en tanto por ciento), ha sido hasta ahora el criterio principal de adjudicación. Si a la elevada participación del precio en el reparto de la puntuación unimos las directrices que el precepto estipula para la formación de la fórmula que distribuye los puntos entre las ofertas presentadas (y la rígida interpretación de los preceptos que guían la confección de esa fórmula por parte de la Intervención) que llevan en la práctica a distribuciones lineales de la puntuación, entenderemos la sinrazón de las tremendas bajas con que se adjudican los contratos. Esta situación origina la perversión del sistema y agudiza la dificultad para ejecutar un contrato en las condiciones previstas en el precio inicialmente acordado. No tiene ningún sentido adjudicar obras con el 40 % de baja en edificación (o del 60 % en obra civil) como viene siendo habitual y tener luego obras paralizadas o proyectos reformados de importancia. Los estudios más o menos rigurosos de las oficinas técnicas de las empresas constructoras son *manipulados* por la dirección que ordinariamente se plantea, de forma prioritaria, la obtención del premio inmediato y el mantenimiento de la cartera de negocio de la Delegación al final del ejercicio. Las consecuencias no son solo malas para el resultado final del producto, lo son también para la limpieza del proceso.

¿Qué podemos hacer frente a este problema? Tenemos dos armas. La primera es la baja temeraria y la segunda es la inclusión de mejoras cuantificables como criterios de evaluación automática, o lo que es lo mismo, mediante aplicación de fórmulas o, simplemente, mediante el compromiso de su realización sin coste adicional.

Las ofertas anormalmente bajas [4] vienen reguladas tanto en el artículo 152 del TRLCSP que rige el contrato de la obra de Filosofía, como en el artículo 149 de la nueva Ley 9/2017. En ambos casos se viene a decir que si el precio ofertado es uno de los criterios objetivos que han de servir de base para la adjudicación, podrán indicarse en el pliego los límites que permitan apreciar, que la proposición no puede ser cumplida como consecuencia de ofertas desproporcionadas o anormales. Lo habitual ha sido utilizar como punto de referencia para establecer el límite de anormalidad una referencia relativa en función de la media de las ofertas (por las prescripciones de la subasta de la Ley de Contratos de las Administraciones Públicas de 2001), pero en ningún momento ha prohibido referencias absolutas al precio de proyecto base de licitación.

La segunda arma con la que contamos es la introducción, entre los criterios de adjudicación, de mejoras que permitan hacer más cosas por el mismo coste total pagado. En general, las administraciones disponen presupuestariamente de un importe para acometer una actuación. La asignación presupuestaria para la actuación es finalista en el caso de obras singulares, o lo que es lo mismo, no se puede gastar en otra cosa distinta. La retención de crédito de dicha actuación contempla lo que se denomina precio estimado. La diferencia entre el precio estimado retenido al publicar la licitación y el precio finalmente resultante de la adjudicación, es decir, la baja de adjudicación, no puede emplearse salvo modificación presupuestaria, cuestión compleja y que requiere acuerdo político. Si se trata de una subvención por contrato-programa suscrito entre administraciones como ocurre en el caso de las obras de Filosofía, promovidas por la Universidad de Zaragoza gracias a la financiación del Gobierno de Aragón, parte de la subvención “se pierde” para la entidad gestora. Es obvio, por tanto, que le interesa inducir en los pliegos a que la baja no sea excesiva, desincentivando los alocados intentos de algunos licitadores de ganar el premio a toda costa. Y también es obvio que a la administración promotora le interesa obtener el máximo de prestaciones con el dinero de que se dispone en los presupuestos.

Los preceptos 145, 146 y 147 de la Ley 9/2017 establecen que la adjudicación de los contratos se realizará utilizando una pluralidad de criterios con base en la mejor relación calidad-precio. Este principio sustituye al concepto de la oferta económica más ventajosa que regía en el TRLCSP derogado en marzo de 2018 con la entrada en vigor de la mencionada Ley 9/2017, y que es, como ya se ha dicho en numerosas ocasiones a lo largo de este artículo, el instrumento legal por el que se rige el contrato de obras de Filosofía. Junto con el concepto de mejor relación calidad-precio, aparece también el de mejor relación coste-eficacia: “Previa justificación en el expediente, los contratos se podrán adjudicar con arreglo a criterios basados en un planteamiento que atienda a la mejor relación coste-eficacia, sobre la base del precio o coste, como el cálculo del coste del ciclo de vida” [5]. Las mejoras evaluables que pueden introducir los licitadores deben responder a todas o parte de las mejoras propuestas en el pliego. Es decir, para considerar una propuesta de mejora de la prestación por parte del licitador, esta mejora debe constar en los pliegos como tal mejora, debe estar bien definida de modo que pueda ser evaluada económicamente y ser verificable su realización [6]. Además debe ser realizada, sin coste adicional, al precio estimado de licitación, ya que en otro caso supondría la posibilidad de aceptar variantes al proyecto, que no es el caso. El inciso 7 del artículo 145 de la Ley 9/2017<sup>6</sup> cifra en el 2,5 % el límite de puntuación para las mejoras cuya forma de valoración de las ofertas siga criterios cualitativos, los que denominamos sometidos a evaluación previa pero nada dice de las mejoras incluidas como automáticas o de evaluación posterior por ser cuantificable su valoración mediante fórmula.

## 2. METODOLOGÍA

El desarrollo del presente trabajo se ha iniciado escrutando la legislación vigente en materia de contratación pública y tras un proceso de reflexión acerca de las posibilidades que nos ofrecen los pliegos de condiciones de las licitaciones de obra pública de alcanzar ventajas añadidas a los mejores resultados posibles obtenidos de la buena ejecución del proyecto de obras. También han sido objeto de reflexión y análisis, los problemas que he ido detectando a lo largo de mi actividad laboral como responsable de los contratos de obras<sup>7</sup> de la Universidad de Zaragoza. He analizado pliegos de cláusulas administrativas y pliegos de prescripciones técnicas de licitaciones de obras de tres universidades públicas españolas<sup>8</sup> para documentarme acerca de las soluciones introducidas en algunas de sus obras, centrándome en los pliegos de contratación de las obras de Reforma y Ampliación de la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad de Zaragoza<sup>9</sup>. Se han estudiado conforme a la legislación que les era aplicable y, en el caso central de la obra de Filosofía, se ha estudiado a la luz de la nueva Ley 9/2017 en lo que se hubiera visto afectado su clausulado. El trabajo concluya exponiendo los resultados y su justificando su inclusión en los pliegos del procedimiento abierto para la licitación de las obras de Filosofía.

<sup>6</sup> Dice el inciso 7. “En el caso de que se establezcan las mejoras como criterio de adjudicación, estas deberán estar suficientemente especificadas. Se considerará que se cumple esta exigencia cuando se fijen, de manera ponderada, con concreción: los requisitos, límites, modalidades y características de las mismas, así como su necesaria vinculación con el objeto del contrato [...]. Las mejoras propuestas por el adjudicatario pasarán a formar parte del contrato y no podrán ser objeto de modificación.”

<sup>7</sup> Responsable del contrato en el sentido y con las responsabilidades que establece la LCSP.

<sup>8</sup> Universidad de Valladolid, Universidad Carlos III y Universidad de Zaragoza.

<sup>9</sup> Pueden consultarse en el Perfil del Contratante de la web de la Universidad de Zaragoza.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para enmarcar los resultados en un contexto real es necesario explicar el proyecto de obras en el que se ha focalizado el trabajo. Se trata de la reforma integral del edificio diseñado por los arquitectos Borobio y Beltrán sede de la Facultad de Filosofía, cuya puesta en uso tuvo lugar en 1941, y de la construcción de un nuevo edificio de ampliación del espacio multidepartamental en sustitución del actual edificio de Filología anexo a él. El edificio a rehabilitar tiene una superficie de 11.024 m<sup>2</sup> y el nuevo edificio se ha proyectado con una superficie de 8.759 m<sup>2</sup>. El proyecto plantea el aprovechamiento del espacio bajo cubierta del edificio de Borobio y el saneamiento y reutilización del espacio bajo el Pabellón del Aula Magna, con lo que la superficie de intervención en este edificio está en torno a los 13.000 m<sup>2</sup>. El presupuesto de salida es de 18.951.000 €, con un plazo de ejecución de 36 meses. Se emplaza en el Campus de la Ciudad Universitaria de la Plaza San Francisco, a la izquierda del acceso principal del Campus.

En la Figura 1, se muestra la contribución de las distintas medidas tomadas en el diseño para alcanzar los valores de uso de energía primaria neta que la Recomendación UE 2016/1318 hace para determinar los valores de referencia que deben servir para considerar un edificio como Edificio de Energía Casi Nulo (EECN)<sup>10</sup>. En la Recomendación se hace referencia al mandato de la Comisión M/480 que trabaja en eficiencia en la edificación a la Comisión Europea de Normalización (CEN) para la elaboración de normas de eficiencia energética (DEEE), donde se precise, de forma inequívoca, de qué forma concretarán los Estados Miembros estos valores dentro de los rangos admitidos en función de las zonas climáticas. El valor tomado en el estudio del edificio como valor de referencia EECN está dentro de los rangos recomendados, situándolo en 33 kWh/m<sup>2</sup>.año. Partimos en la actualidad de un consumo de energía primaria en las instalaciones de la Facultad de 150 kWh/m<sup>2</sup>.año siendo el valor de referencia según el Código Técnico de la Edificación que le correspondería al nuevo conjunto edificado de 70 kWh/m<sup>2</sup>.año. Las mejoras realizadas con la introducción de mayores exigencias bioclimáticas, la aportación de sistemas de aprovechamiento de energía del subsuelo –pozos canadienses y reservorio estacional-, las medidas activas de optimización de la producción y la inclusión de una instalación de paneles híbridos (fotovoltaica más solar) dan como resultado una previsión de uso de energía primaria neta inferior a los 10 kWh/m<sup>2</sup>.año.

Un proyecto tan ambicioso con un presupuesto ajustado no debería ser objeto de una baja importante que ponga en riesgo la viabilidad del proyecto manteniendo la calidad y el alcance de los objetivos de la actuación. Por otro lado, la Universidad de Zaragoza persigue la excelencia como organización y, en virtud de ello, pretende que sus nuevos edificios no se queden en edificios de energía casi nula, sino que den el salto y se conviertan en edificios de energía positiva, generadores y no consumidores de energía. En otro orden de cosas, es requisito indispensable hoy, que los resultados obtenidos en función de las previsiones del proyecto y de la ejecución de la obra sean refrendados por una entidad internacionalmente reconocida. Por último, no puede dejar de considerarse que en el ADN universitario están la investigación y la innovación. Por este motivo, sus edificios deben tener posibilidades de ejercer como verdaderos laboratorios de experimentación de una edificación puntera.

---

<sup>10</sup> RECOMENDACIÓN (UE) 2016/1318 DE LA COMISIÓN de 29 de julio de 2016 sobre las directrices para promover los edificios de consumo de energía casi nulo y las mejores prácticas para garantizar que antes de que finalice 2020 todos los edificios nuevos sean edificios de consumo de energía casi nulo.

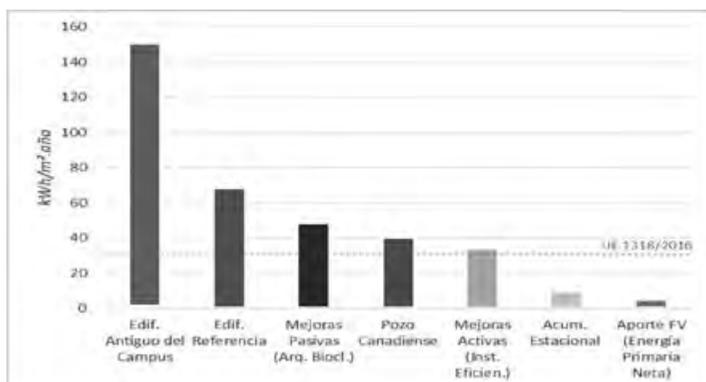


Figura 1: Aportación de medidas activas y pasivas en el diseño EECN del edificio.

En la introducción de este trabajo, señalabamos algunas de las posibilidades que nos ofrecen los Pliegos administrativos para ayudar a obtener estos objetivos. Expondré en este punto cómo se han abordado en los pliegos que rigen la licitación de las obras de Reforma y ampliación de la Facultad de Filosofía y Letras.

### 3.1. Criterios de admisión. La solvencia técnica

La clasificación necesaria<sup>11</sup> para la admisión al procedimiento de las empresas nacionales es la máxima categoría (6) del Grupo de Edificación. Para las no nacionales, la solvencia se refiere a la cifra de negocio con respecto a la anualidad media de la obra. Existe un número significativo de empresas que disponen de esta clasificación. No parece que la contribución de este criterio de solvencia aporte grandes resultados.

Los licitadores deben tener implantado en la empresa un Sistema de Gestión Ambiental de acuerdo a la norma UNE-EN ISO 14.001 con certificación en vigor. Asimismo, deben tener implantado un Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud Ocupacional, según la especificación internacional OHSAS 18.001.

Se exige que la empresa contratista disponga de un equipo de alta cualificación profesional adscrito a la obra con experiencia acreditada. Este sí es un criterio de solvencia interesante a nuestros propósitos. Además del jefe de obra, jefes de producción, encargados y técnico de seguridad, deben incorporar un BIM manager y un técnico certificador de sostenibilidad. A todos ellos se les exige experiencia previa en obras como la que nos ocupa.

Estas exigencias contribuyen a garantizar que las empresas admitidas sean capaces de abordar la obra.

### 3.2 Obligaciones esenciales y condiciones específicas de ejecución de la prestación

Como obligaciones esenciales figuran el plazo de ejecución, el cumplimiento de las mejoras a que se ha comprometido y que ha valorado el Órgano de Contratación al ex-

<sup>11</sup>Según el artículo 26 del Reglamento General de Contratos del Estado modificado por el Real Decreto 773/2015, de 28 de agosto, por el que se modifican determinados preceptos del Reglamento General de la Ley de Contratos de las Administraciones Públicas, aprobado por el Real Decreto 1098/2001, de 12 de octubre.

minar el baremo de adjudicación en la licitación, el compromiso de mantenimiento de los medios adscritos que han sido considerados para informar favorablemente sobre su solvencia técnica y, finalmente, los relacionados con la subcontratación. Los tres primeros nos sirven para comprobar que todo lo solicitado se lleva a cabo y abre la puerta a la resolución del contrato en caso de incumplimiento o de penalización por cumplimiento con incidencias. Lo mismo ocurre con la subcontratación obligatoria. Trata este pliego de velar por la correcta defensa de los intereses de los subcontratistas y al mismo tiempo exigir que dispongan de forma acreditada de la experiencia, clasificación u homologación necesarias para participar en el proceso constructivo. Aparece como obligación esencial el pago en plazo de sus prestaciones por parte del contratista principal que, salvo pacto en contrario (no abusivo), no podrá ser superior al que se obliga la administración con el contratista principal. Se pretende con estas medidas que los subcontratistas<sup>12</sup> sean empresas que ofrezcan garantías de buena ejecución en una obra de estas características, y preservar una relación de equilibrio entre contratista principal y subcontratistas.

Como condiciones específicas de ejecución los pliegos señalan, en el anexo de Cláusulas complementarias y en el Pliego de Prescripciones Técnicas dos obligaciones que se consideran importantes para el proceso de construcción, la gestión del edificio durante su uso y la verificación de resultados. Se trata de desarrollar el proyecto de obras con una metodología de trabajo colaborativo a través de la maqueta digital del proyecto. Esta metodología no es otra que el BIM (Building Information Modeling). Otro requerimiento de ejecución del contrato es la certificación BREEAM<sup>13</sup>. Es obligación del contratista adjudicatario asumir la tarea de evaluación y certificación para la obtención de la mejor puntuación que el diseño y prestaciones del edificio sea capaz de conseguir con base en el proyecto licitado<sup>14</sup>.

### 3.3 Los criterios de adjudicación

a) Criterio de precio. Entre los criterios de adjudicación, el criterio del precio ofertado tiene un peso relevante en la distribución de la puntuación. Con la nueva Ley 9/2017, el criterio del precio se enfocará de forma que la consideración de mejor precio tendrá en cuenta en su valoración todo el proceso de la vida del edificio y no solo el precio de la construcción. Esto es muy importante. Valorar el coste del ciclo de vida *de la cuna a la tumba* muestra mucho mejor la eficiencia económica de la inversión que la Administración realiza. En el caso del pliego de la Reforma y Ampliación de Filosofía, licitado conforme a la Ley

---

<sup>12</sup> Existe subcontratación obligatoria en electricidad, climatización, control de accesos, control de calidad, carpintería exterior, fontanería y saneamiento, aparatos de elevación y protección contra incendios. En la presentación de la oferta, el licitador debe proponer una terna de empresas subcontratistas (máximo) con las que tiene previsto negociar para realizar esa parte de la obra. Salvo situaciones excepcionales no cabe la elección de otra con posterioridad a la adjudicación.

<sup>13</sup> BREEAM (Building Research Establishment's Environmental Assessment Method) es un método de evaluación y certificación de la sostenibilidad de la edificación, ampliamente reconocido en el ámbito internacional. Con independencia de su ubicación, el denominador común de los edificios es su planificación, diseño, construcción y operación de acuerdo con los principios de mejores prácticas de sostenibilidad.

<sup>14</sup> BREEAM analiza una serie de criterios con base científica que abarcan un conjunto de requisitos agrupados en categorías para evaluar el uso de la energía y el agua, la salud y el bienestar, la contaminación, el transporte, los materiales, los residuos, el uso del suelo, la ecología y los procesos de gestión. Los edificios se clasifican y se certifican siguiendo una escala de «Correcto», «Bueno», «Muy Bueno», «Excelente» y «Excepcional».

de 2011, supone un 40 % de la puntuación total con aplicación de una fórmula proporcional lineal para distribuir los puntos. Se asigna 0 puntos a la oferta que no realiza

b) baja y el máximo – 40 puntos- a la oferta que presenta una baja del 15 % sobre el precio de licitación. Por encima de esta baja, la oferta se considera anormalmente desproporcionada y se inicia un proceso regulado en la Ley. Si finalmente puede el empresario justificar su oferta, será admitido y la Mesa de Contratación reorganizará las puntuaciones otorgando la máxima puntuación a la nueva. No parece que el licitador tenga fácil justificar una proposición económica con ofertas significativamente bajas, cuando son tantas las exigencias requeridas y tan ajustado el importe presupuestado por unidad de superficie construida o reformada. La inclusión de un límite absoluto y no relativo a las ofertas como referencia pretende desincentivar a los directivos de las empresas licitadoras a efectuar bajas a menudo difíciles de sostener.

c) Mejoras. Como ya se mencionó en la introducción, las mejoras que pueden ser incluidas en la baremación de adjudicación deben cumplir, al menos, tres condiciones: que estén íntimamente relacionadas con el proyecto, que respondan a propuestas que se hayan formulado y justificado en los pliegos con suficiente claridad y que no superen unos umbrales de participación en el baremo.

En el caso de nuestro estudio, tenemos como mejoras sometidas a juicio de valor el establecimiento de un plan mejorado de control de calidad y asistencia, la incorporación de un plan de monitorización integral de las instalaciones y la mejora de la condición saludable del edificio. Los enuncio simplemente. Solo apuntar la importancia de introducir como mejora la implantación de un plan de monitorización integral de las instalaciones, con el añadido de nuevos sensores y transmisores inteligentes que faciliten un óptimo funcionamiento y posibiliten desarrollar el potencial investigador del edificio. Es especialmente interesante para los pozos canadienses y el reservorio estacional, pero en general, lo es para todas las instalaciones que van a ser gobernadas de forma inteligente dentro del proyecto de Smart Campus que la Universidad de Zaragoza está desarrollando.

En cuanto a las mejoras cuya evaluación es automática, se trata de contemplar la ampliación de prestaciones que el licitador está dispuesto a realizar de forma fácilmente comprobable. La respuesta del licitador en su proposición es del tipo *comprometo/no comprometo* (a realizar la mejora), siempre entendido que lo hace sin coste adicional para la Universidad. Estas mejoras están definidas en el Pliego de Prescripciones Técnicas.

El conjunto de estas mejoras supone en el baremo general un peso del 25 % (25 puntos sobre un máximo de 100 puntos) con lo que ya se advierte la importancia tanto conceptual como económica que tienen. En el pliego que nos ocupa se han considerado como mejoras, la ampliación del periodo de garantía, la mejora de la funcionalidad de los despachos destinados al profesorado, la ampliación de los equipos de información y, los que más interesa remarcar, la obtención de certificación LEED Platino y VERDE (6 %) y la ampliación de la instalación fotovoltaica en el doble o en el triple de la potencia proyectada y presupuestada (3 % o 6 % respectivamente).

La obtención de la Certificación LEED PLATINUM y la Certificación VERDE para el edificio departamental de nueva planta introduciendo las mejoras necesarias, documentando las exigencias precisas y aportando los medios humanos y las medidas y acciones oportunas para ello. Ya se ha hablado en el trabajo de las ventajas de la certificación de la sostenibilidad como garante de la comprobación de los resultados previstos en la construcción. Añadiré ahora la importancia que tiene desde el punto de vista ejemplarizante para la

sociedad. Tan solo 34 edificios en España disponían en 2016 del distintivo LEED Platino<sup>15</sup>.

La ampliación de la instalación de paneles fotovoltaica con todos los equipos requeridos a una o a las dos cubiertas planas restantes, supondrían reducir todavía más el consumo neto de energía primaria en el edificio, aproximar su dependencia energética a cero. Se pretende ampliar la instalación de energías renovables siguiendo las directrices que guían los objetivos del desarrollo sostenible a los que las administraciones nos hemos comprometido.

#### 4. CONCLUSIONES

Los pliegos de contratación de obra pública suponen una oportunidad para mejorar los resultados que un buen proyecto de obras proporciona incluso después de una ejecución correcta.

La inclusión de criterios de solvencia adecuados y la determinación de obligaciones esenciales ayudan a garantizar el cumplimiento de los objetivos del contrato. El establecimiento de condiciones específicas de ejecución tales como la utilización de metodologías de trabajo colaborativo BIM y de realizar la tarea de documentación y gestión de la certificación de sostenibilidad del edificio, nos permiten verificar el logro de los objetivos perseguidos.

La introducción de medidas desincentivadoras –menor influencia del criterio precio frente a otros criterios basados en la calidad de la oferta y establecimiento de un valor límite absoluto y no relativo a las medias-, para la consideración de la oferta como temeraria- de la realización de ofertas económicas con bajas desproporcionadas por parte de licitadores poco rigurosos es importante para el aseguramiento de la calidad y el buen final de la construcción.

Las mejoras propuestas en el pliego que son atendidas por el adjudicatario sin coste adicional en su oferta pueden contribuir a alcanzar mayores cotas de sostenibilidad en el sector de la construcción. En concreto, serán muy oportunas aquellas que estén dirigidas a disminuir la dependencia energética del edificio o a visibilizar y verificar el comportamiento del edificio tienen un efecto significativo en el resultado final.

---

<sup>15</sup>Dos de ellos son edificios de las Universidades públicas de Valladolid (Edificio Lucía)y Carlos III (Edificio Carmen Martín Gaité).

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Directivas de eficiencia energética en Europa Accedido el 20 de enero de 2018. <http://www.efenergia.com/legislacion-eficiencia-energetica/europa/>
- [2] *Template for National Energy Efficiency Action Plan under Directive 2012/27/EU of the European Parliament and the Council*. Accedido el 18 de enero de 2018. <http://www.efenergia.com/wp-content/uploads/guidance-for-national-energy-efficiency.pdf>
- [3] Sánchez-González, Alberto & Salom, Jaume & Cubí, Eduard. (2012). Towards Net Zero Energy Office Buildings in Spain: A review of 12 Case Studies.
- [4] López, Purificación (2015). La contratación pública verde en el Derecho Español (1ª ed.). Cuenca, Facultad de Ciencias Sociales de Cuenca.
- [5] Compra verde: Se publica la nueva ley de contratos del Estado. Accedido el 21 de enero de 2018 <https://www.ecopost.info/se-publica-la-nueva-ley-contratos-publicos-la-esperada-compra-verde/Escriba-aquí-la-ecuación>.
- [6] Página web oficial del Instituto Nacional de la Administración Pública (INAP). Accedido el 21 de enero de 2018. <http://laadministracionaldia.inap.es/noticia.asp?id=1507995>.

## CASO PRÁCTICO DE APLICACIÓN DE CERTIFICACIÓN BREEAM EN EDIFICIO DE 105 VIVIENDAS SEMINARIO EN ZARAGOZA

CASTELLANOS CASTILLO, D. ANTONIO DAVID<sup>1</sup>; MARTÍNEZ GARCÍA, PABLO JOSÉ<sup>2</sup>;  
GABRIEL JUAN, GABRIEL JUAN<sup>3</sup>; SEARA BIURRUN, JUAN<sup>4</sup>;  
FARINOS SAID, ÁNGEL<sup>5</sup>; PÉREZ BENEDICTO, JOSÉ ÁNGEL<sup>6</sup>

<sup>1</sup> ACCIONA, Zaragoza, España

E-mail: [acastellanos@acciona.com](mailto:acastellanos@acciona.com), Web: [www.acciona-construccion.com/es/](http://www.acciona-construccion.com/es/);

<sup>2</sup> ACCIONA, Zaragoza, España

E-mail: [pablojose.martinez.garcia@acciona.com](mailto:pablojose.martinez.garcia@acciona.com), Web: [www.acciona-construccion.com/es/](http://www.acciona-construccion.com/es/);

<sup>3</sup> ACCIONA, Zaragoza, España

E-mail: [gabrieljuan.juan.sanjose@acciona.com](mailto:gabrieljuan.juan.sanjose@acciona.com), Web: [www.acciona-construccion.com/es/](http://www.acciona-construccion.com/es/);

<sup>4</sup> Arquitecto, Zaragoza, España

E-mail: [seara.vhs.estudio@gmail.com](mailto:seara.vhs.estudio@gmail.com), Web: [hs.arquitectura@vhservy](http://hs.arquitectura@vhservy);

<sup>5</sup> Arquitecto, Zaragoza, España

E-mail: [angel.farinos@gmail.com](mailto:angel.farinos@gmail.com), Web: [arquitecturafu.farinosseara](http://arquitecturafu.farinosseara);

<sup>6</sup> Escuela Universitaria de la Almunia, Zaragoza, España

E-mail: [joanpebe@unizar.es](mailto:joanpebe@unizar.es), Web: [www.eupla.unizar.es/](http://www.eupla.unizar.es/)

**PALABRAS CLAVE:** SOSTENIBILIDAD, BREEAM, ENERGÍAS RENOVABLES.

### 1. RESUMEN

El presente documento describe la importancia que tiene la utilización de la Certificación Breeam en la construcción de edificios. En esta certificación se conciencian todos los elementos implicados en la construcción, tanto el promotor, el equipo redactor del proyecto, como la empresa constructora.

Para minimizar las emisiones se intenta fomentar la utilización de energías renovables como una de las medidas. La característica principal de estos edificios de bajo consumo es que su energía demandada debe ser igual a su energía generada. Esta energía puede ser

producida in situ o en el entorno más cercano con el uso de energías renovables.

Esta certificación presenta dos fases: Fase de diseño y Fase de ejecución, quedando ambas verificadas por los Asesores presentándoles las evidencias.

En fase de diseño se tienen en cuenta: orientación del edificio, aislamientos, ventilaciones naturales, reducción de energía consumida por la elección del tipo de instalaciones y sus demandas de CO<sub>2</sub> así como su entorno con sus certificaciones energéticas, transportes, reducción de consumo de agua, minimización de la gestión de residuos domésticos.

En fase de construcción se analiza: reducción de consumo de CO<sub>2</sub> tanto en los transportes como en las actividades de la obra, utilización de materiales con nula emisión de COV (componentes orgánicos Volátiles), utilización de materiales de bajo impacto ambiental con un ACV (Análisis de Ciclo de Vida), realización de un estudio ecológico del suelo, estudio de flora y fauna, mitigación del impacto ecológico, se realiza una gestión efectiva y apropiada de los residuos generados en obra, realizando una separación de los mismos e intentando que se les realice un tratamiento especial a la hora de valorizarlos, inclusive su reutilización.

La construcción de edificios con estos parámetros de diseño aporta beneficios tanto económicos como ecológicos colaborando a mejorar el medio ambiente con una mejora de la eficiencia energética.

## 2. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la construcción en España está empezando a aplicar criterios de sostenibilidad y es este ámbito donde alguna de las nuevas edificaciones se está gestionando a través de la certificación BREEAM.

Este documento tiene como objetivo general que se sepan identificar los diferentes puntos a tener en cuenta para obtener la puntuación BREEAM en una obra en fase de ejecución.

El trabajo presenta un caso práctico de la aplicación de la certificación BREEAM en un bloque de viviendas en las que la empresa Acciona esta promoviendo y construyendo en la ciudad de Zaragoza.

En los últimos años empresas promotoras, empresas constructoras y técnicos se están planteando que la rentabilidad en el campo de la edificación pasa por una sustentabilidad de sus proyectos en la que las variables de carácter ambiental sean decisorias a la hora apostar por los grandes proyectos y donde no solo se pondera esta parcela, sino también la parte social de la sostenibilidad de los mismos, y esto se está traduciendo en la realización de construcciones sostenibles, que intenten mitigar el consumo de CO<sub>2</sub> de carácter antrópico y que tan perjudicial está siendo o puede llegar a ser en la preservación de calidad ambiental de la vida tal y como la deseamos, y para ello se persigue reducir consumos de recursos naturales y (agua, electricidad, combustible, madera, etc..) en definitiva, reducir el consumo de recurso que puedan comprometer el capital natural a medio y largo plazo.

En el caso de la obra que se presenta, el grupo Acciona apuesta clara y contundente por el uso de energías renovables que son fuentes de energía limpias e inagotables. La importancia de estas energías es que no producen gases de efecto invernadero que son causantes entre otras cosas del cambio climático. Al igual que para BREEAM todos estos puntos son contemplados en su Manual Técnico.

Para la obra de “105 viviendas seminario” Acciona Construcción ha dispuesto de un Sistema de Gestión Ambiental UNE-EN ISO 14001, ya que uno de sus objetivos principa-

les es reducir los niveles de residuos y el consumo energético. Esto es imprescindible para poder obtener una buena puntuación BREEAM ya que en la categoría GST 3 Impactos en la zona de obras tiene un ítem que exige que el contratista principal trabaje con un sistema de Gestión Ambiental.

Para el seguimiento y recogida de datos se ha tenido que formar a uno de sus Técnicos en obra con la formación de Asociado BREEAM. Este técnico es el encargado de llevar un control exhaustivo de la ejecución de las diferentes unidades de obra y tutelado por un Departamento de Calidad, Medio Ambiente e Impacto social .

Este técnico está coordinado con el Servicio de Compras del Departamento, ya que las contrataciones de los trabajos y suministros de materiales no se realizarán a cualquier empresa, en concreto para esta obra se ha realizado un estudio muy exhaustivo del mercado para poder cumplir con las exigencias BREEAM. Existen varias categorías que para cumplir con la puntuación se tienen que tener en cuenta y esto quedará reflejado en las ETC (Especificaciones Técnicas de Compras) del material o servicio prestado.

De igual manera es necesaria una coordinación muy estrecha entre técnico de empresa y equipo redactor del proyecto para proponer alternativas o mejoras en algunas de las categorías. Como ejemplo en la obra “105 viviendas seminario” se propuso el cambio en el sistema de cimentación, lo que supuso un ahorro de materias primas como hormigón y acero, y una reducción en la producción de residuos procedentes de la excavación. Esto se consiguió realizando dos losas para cada una de las zonas de edificio con plantas alzadas y zapatas aisladas en zona de pilares donde solo existen plantas de sótanos, en sustitución de una única losa para todo el conjunto. De esta manera se ha conseguido ponderar el componente ambiental de los proyectos siguiendo criterios de la propia Instrucción EHE-08 donde se recogen aspectos medioambientales y sostenibles del proyecto tanto en la fase de redacción como en la fase de ejecución de estos (Índice de contribución de la sostenibilidad de la estructura).

Mensualmente se han presentado evidencias a los asesores para que puedan llevar un seguimiento de la implantación de la certificación en obra. La comunicación con estos asesores ha sido bastante frecuente, debido a que ellos son los expertos en implantar la metodología.

### **3. OBJETIVO**

El objetivo principal del presente trabajo es evaluar la aplicación del sello BREEAM en un caso práctico, en el que se sigue un proceso constructivo tradicional de edificación en España.

### **4. DESARROLLO**

Esta visión global del concepto de sostenibilidad permite cubrir una gran cantidad de aspectos medioambientales en un sólo análisis, yendo más allá de las tradicionales normas de gestión medioambiental y abarcando el ciclo completo del hecho constructivo.

Se van a estudiar ciertos puntos que se han tenido en cuenta desde la constructora para cumplir la certificación BREEAM y que a lo mejor no se hubieran tenido en cuenta en otras obras de edificación similares.

BREEAM premia el uso de materiales de bajo impacto ambiental, fomentando que los

productos y materiales dispongan de etiquetas o declaraciones ambientales (tipo I, tipo II y tipo III). Las declaraciones ambientales más valoradas son el tipo I (UNE EN ISO 14024) y la tipo III (UNE ISO 14025) también denominadas DAP (Declaraciones Ambientales de Producto Para cumplir con esta categoría que en concreto es la MAT 8 del Manual se han tenido en cuenta en nuestra obra los siguientes elementos de construcción.

- Particiones interiores Verticales y medianeras. Se ha obtenido que todos los fabricantes de ladrillo y placas de yeso laminado tengan la Etiqueta Ecológica.
- Fachadas: Al ser nuestra fachada ladrillo caravista, se ha peinado el mercado para conseguir una empresa que dispusiera de la Etiqueta Ecológica.
- Aislamientos e impermeabilizaciones: se ha conseguido que todos los aislamientos que se han instalado en obra tengan Etiqueta Ecológica.

BREEAM promueve que los productos y materiales empleados en la construcción del edificio hayan sido adquiridos de forma responsable basándose en el nivel y ámbito de la certificación obtenida por el proveedor o fabricante del material. En este sentido, los materiales más valorados son aquellos en los que su certificado cubre el proceso de cadena de suministro. Como ejemplos de estos sistemas de certificación estarían FSC, PEFC. En nuestra obra toda la madera procede de plantaciones con gestión forestal sostenible y el 100% es de origen legal.

En la obra que presentamos se ha conseguido que toda la madera que entre tenga todos los sistemas de certificación, desde tablancillos como los tableros de los encofrados de pilares como de forjados, en la siguiente imagen se puede apreciar la etiquetas que llevaban los encofrados utilizados.



Figura 1: Pegatina encofrados.

BREEAM favorece la implementación de una gestión eficaz de los impactos en la zona de obra. Esto implica entre otros, el control e informe de las emisiones de CO<sub>2</sub> o energía resultante de los transportes, el consumo de agua resultante de las actividades en la zona de obras. Esto se deberá realizar para cumplimentar los apartados referentes a la categoría Gestión (GST3). Se realiza tabla Excel para realizar la conversión del consumo.

Los subcontratistas y proveedores deberán mandar una carta al final de cada mes notificando el número de viajes a obra, el tipo de combustible (diésel o gasolina) y tipo de camión (articulado o rígido) con esto se prevé su responsabilidad de minimizar lo máximo el consumo de CO2.

SEGUIMIENTO CO2 TRANSPORTE EN OBRA					Mes: Febrero 17
Proyecto: ETICOR-105 VIVIENDAS SEMIPIEDRES ZARAGOZA Responsable Obra: Antonio David Castellanos					
Empresa	Total km recorridos	Combustible (l) por km	Factor de conversión	Total de kg de CO2	
1. Hierres Ayora	25,4	0,35	2,63	23,36	
2. Hermanos Salton	4403	0,33	2,63	4052,96	
3. Gasoleros Virgen de la Oliva	40	0,4	2,63	42,08	
4. Camas	320	0,4	2,63	326,24	
TOTAL CO2 EMISIO				4076,24	

Tabla de Factores de conversión de Admisión de vehículos de transporte					
Tipo de vehículo	Total km recorridos	Combustible (l por km)	Tipo de Combustible	Factor de conversión	Total de kg de CO2
Articulado	x	0,35	Gasolina	2,39	
			Diésel	2,63	
Rígido	x	0,40	Gasolina	1,89	
			Diésel	2,63	
			GN	1,04	

Fecha: 31/01/17  
 Función: COO/Responsable Breeam  
 Firmado: Antonio David Castellanos

Figura 2: Informe final de mes seguimiento de CO2 en obra.

También se ha realizado un cálculo del consumo de CO2 procedente de los consumos de energía procedentes de la actividad de la obra.

Cálculo automático de emisiones totales en relación a los consumos energéticos de sus instalaciones

FACTORES DE EMISIÓN DE CONSUMO ELÉCTRICO				
Consumo mensual	Unidades de medida Base	Factor de emisión (kg de CO2 eq/kWh)	Kg de CO2 eq	
Electricidad	kWh	0,273		0

FACTORES DE EMISIÓN DE COMBUSTIBLES						
Combustible	Consumo mensual	Unidades de medida Base	Factor de conversión	kg/h	Factor de emisión (kg de CO2 eq/kWh)	Kg de CO2 eq
Gas natural		m <sup>3</sup>	10,705	kg/h (kWh)	0	0
Gasóleo	240	litros	2,68	kg/h (l)	2400,0	643,20
Gas		kg	21,311	kg/h (kg)	0	0
GLP (doméstico)		kg	21,688	kg/h (kg)	0	0
Carbón natural		kg	5,807	kg/h (kg)	0	0
Carbón por combustión		kg	7,091	kg/h (kg)	0	0
Gasóleo		litros de combustión a kg	22,439	kg/h (kg)	0	0

FACTORES DE EMISIÓN DE OTROS PRODUCTOS				
Producto	Consumo mensual	Unidades de medida Base	Factor de emisión (kg de CO2 eq/kg)	Kg de CO2 eq
Propano (doméstico)		kg	0	0
Propano (industrial)		kg	1,0	0
Agua		m <sup>3</sup>	0,708	0

Figura 3: Informe final de Emisión procedente de los consumos.

Se ha realizado el seguimiento de los consumos de agua para minimizar el mismo. A su vez se ha estudiado la posibilidad de reutilizar el agua para realizar las pruebas de estanqueidad de las cubiertas, potenciando de esta manera que el balance hídrico y por la tanto la huella hídrica se intente a través de estas medidas, que los vectores de huella neutra ponderen al alza respecto a los más desfavorables desde el enfoque sustentable del mismo balance, posiblemente a una escala muy local y reducida pero bajo un comportamiento ambiental de gran valor y apuesta por la preservación.



Figura 4: Grafica de seguimiento de consumo de agua.

Se han trabajado en realizar las mejores prácticas ambientales en la construcción en lo relativo a la contaminación atmosférica, como el polvo resultante de las actividades en la zona de obras. Para minimizar estas emisiones de polvo a la atmosfera durante la fase de excavación y fresado de las pantallas se realizó una Instrucción de Trabajo Medio Ambiental, y se decidió adoptar medidas realizando una rampa de acceso guardapolvos, es decir, se hormigona la rampa y se les delimita a los camiones el recorrido por la obra para reducir las emisiones de polvo. A su vez se informa a los trabajadores que cuando se realice el fresado de las pantallas se riegue continuamente para reducir la emisión de polvo.



Figura 5: Rampa Acceso Guardapolvos.

Al igual se aplican medidas de ahorro energético durante el desarrollo de la obra, esto se ha implementado en obra montando luminaria LED en toda la obra, esta debe tener restricciones sobre los efectos de contaminación lumínica, eligiendo luminarias direccionales y no contaminantes.



Figura 6: Iluminación de la obra con pantallas LED.

En cuanto a residuos BREEAM se han minimizado la generación de residuos. En fase de redacción del proyecto se dispuso de un PGR (Plan de Gestión de Residuos de construcción), y en obra se identificaron los residuos según su código LER. El mayor objetivo de esta clasificación es la reutilización, reciclado y otras formas de valorización o tratamiento. En esta obra en especial el movimiento de tierras ha generado un gran volumen de residuos, para cumplir con los criterios reutilización se buscó la forma de hacerlo, esto se consiguió llevando las tierras a una cantera cercana para la restauración de la explotación minera. Estos residuos se han reciclado con código LER 170503, de esta manera se ha potenciado el valor del residuo generado y eliminando la opción de vertedero y ayudando a la restauración, rehabilitación y restitución ambiental de los huecos mineros.



Figura 7: Residuos clasificados en obra por categorías.

Otro punto importante que se mira en la certificación BREEAM son los COV (Compuestos Orgánicos Volátiles). Con este aspecto, nos encontramos que gran parte de los suministradores de materiales al preguntar si cumplían con la Directiva 2004/42/CE, no sabían que responder. En unos casos por desconocimiento del tema, en otros al explicárselo manifestaban que no era importante porque no se veían, y nuestra respuesta siempre fue está claro no se ven, pero existen y afectan a la calidad del aire interior y por lo tanto a la salud de los propietarios de las viviendas que se están construyendo. Como ejemplo el Código Técnico de la Edificación, en su documento dedicado a la salubridad (sección 3 Calidad del aire interior) no contempla nada sobre los compuestos orgánicos volátiles, su control y limitación. En nuestro caso se ha tenido especial cuidado en este tema sobre todo en los adhesivos de alicatados, suelos laminados, pinturas, madera compuesta y falsos techos con placas de yeso laminado. Al igual que en los otros puntos, previo a la contratación, se pidió a los industriales que facilitaran las fichas técnicas al objeto de comprobar que cumplen con lo establecido. Sobre este tema se insistió en las Especificaciones Técnicas de Compras, que debían cumplir con la normativa vigente sobre este tema.

Previo al inicio de la obra se realizó un Informe de control de erosión del terreno existente en la parcela. El riesgo era muy bajo al quedar la zona totalmente urbanizada y no ser susceptible al proceso erosivo.

Se realizó también un estudio Ecológico de la parcela para llevar a cabo un Plan de Gestión de Biodiversidad. Tras el análisis del medio físico y biótico de la parcela de estudio, se puede concluir que dentro del área donde se implantará el proyecto no existía ningún elemento que mereciera una protección especial, mediante gestión especial del mismo.

## 5. CONCLUSIONES

Para la gestión del certificado BREEAM la empresa constructora pese a tener implantado un Sistema de Gestión Ambiental, tuvo que adaptar su PGO (Plan de Gestión de Obra), y promover planes de formación a todos sus técnicos sobre el tema de construcción sostenible, con el objetivo de promover un cambio de mentalidad en el proceso constructivo que permita ahorrar recursos naturales.

Otro punto importante en el certificado BREEAM es la concienciación del equipo ejecutor del proyecto, ya que el medio ambiente es responsabilidad de todos, por lo que todas las acciones que se tomen en obra deberán estar enfocadas en realizar el menor impacto negativo sobre este.

Esta certificación BREEAM, en la actualidad y en muchos agentes del sector de la edificación se puede estar considerando como un mal necesario en la construcción, sin embargo y desde un planteamiento razonable tiene que permitir dar un nuevo enfoque al sector, donde se potencien aspectos de sustentabilidad y socioambientales tan olvidadas hasta la fecha.

También se pueden sacar puntos negativos de la implantación de esta certificación, ya que al ser una herramienta desarrollada en Reino Unido y ha sido adaptado por el Instituto Tecnológico de Galicia existen metodologías de construcción muy difíciles si no decir imposibles de adaptar a la normativa Española, por ejemplo con la reutilización de áridos, la EHE (Instrucción Española del Hormigón Estructural) ya que nos dice que el árido reciclado debe ser menor o igual al 20% y en la categoría RSD 2 nos habla que para cumplir los puntos disponibles que los áridos reciclados supere el 25%.

Este es solo uno de los puntos que se han detectado que al hacer la traducción de un idioma al otro es muy complicado la obtención de los puntos de esta categoría.

Un punto que destacar es que BREEAM intenta reducir el impacto medioambiental de la construcción y del entorno que lo rodea.

BREEAM a su vez intenta aumentar la satisfacción, el bienestar de los usuarios y su productividad, esto se consigue sobre todo realizando un buen estudio en fase de redacción de proyecto, donde el equipo redactor tendrá en cuenta muchos factores para que se cumplan las puntuaciones de las diferentes categorías.

BREEAM mejora la funcionalidad y vida útil de los edificios, que esto a su vez le da un valor añadido a la edificación, por esto aumenta el valor de los inmuebles y reduce los gastos de funcionamiento, mantenimiento y los consumos energéticos (agua, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>).

Como conclusión final destacamos que la aplicación del sello Breeam en obras tradicionales de edificación en España debería adecuarse dado que en nuestra opinión prima en exceso factores como la ubicación y situación del solar y no valora lo suficiente la buena calidad del proceso constructivo.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS (Y CITAS EN EL TEXTO)

Las referencias que se han tomado para la realización de este artículo son:

MANUAL BREEAM ES VIVIENDA 2011. REVISIÓN 02

<https://www.camarazaragoza.com/>

## 7. ABREVIATURAS Y ACRONIMOS

**BREEAM.** (Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology) es el método de evaluación y certificación de la construcción sostenible técnicamente más avanzado y líder a nivel mundial.

**PGO** (Plan de Gestión en Obra), es donde Acciona tiene su biblioteca de archivos de la obra.

**ETC** (Especificaciones Técnicas de Compras). Donde se realiza una descripción general, normativa aplicable del producto o servicio contratado.

**DAP** (Declaración Ambiental del Producto). Es un documento que presenta los resultados del Análisis del Ciclo de Vida”

**ACV** (Análisis del Ciclo de Vida). El ACV es un método para evaluar los impactos medioambientales de un sistema, teniendo en cuenta su ciclo de vida completo.

**Cadena de custodia:** Se utiliza para conservar y documentar la historia cronológica de las pruebas y el recorrido del producto del bosque hasta los consumidores. Todos los pasos intermedios deben mantener unos sistemas de control de inventario que permitan la separación e identificación del producto certificado.

**EGR** (Estudio de Gestión de Residuos de construcción y demolición): A elaborar por el promotor, se configura como el documento de referencia que, en materia de residuos, coordinaría su producción y gestión. Como mínimo debe incluir para cada tipología de residuos producidos, una estimación de su cantidad, las medidas genéricas de prevención que se adoptarán, el destino previsto para los residuos, así como una valoración de los costes derivados de su gestión que deberán formar parte del presupuesto del proyecto.

**Formaldehidos:** El formaldehído o metanal es un compuesto químico, más específicamente un aldehído (el más simple de ellos) es altamente volátil y muy inflamable.

**LER** (Lista Europea de Residuos): Lista de residuos, elaborada por la UE para estandarizar la descripción de los residuos en toda Europa y para posibilitar el registro, seguimiento y control de los residuos de forma más efectiva.

**PGR** (Plan de Gestión de Residuos de construcción y demolición): Siguiendo la pauta definida en el Estudio de Gestión de RCD (EGR), el PGR busca fomentar la eficiencia de los recursos y prevenir las actividades ilegales de desecho. La eficiencia en la gestión de los residuos incluye minimizar los residuos en origen y garantizar que los clientes, diseñadores y contratistas principales evalúen la utilización, reutilización y el reciclaje de materiales y productos en la obra y fuera de ella.

**RCD** (Residuos de la Construcción y Demolición), son aquellos de naturaleza fundamentalmente inerte, que no experimentan transformaciones físicas, químicas o biológicas significativas.

**Vida útil:** Duración estimada que un objeto puede tener cumpliendo correctamente con la función para la cual ha sido creado.

## 8. AGRADEMIENTOS

Agradecer a la empresa Acciona la oportunidad y las facilidades dadas, así como a todo el equipo de trabajo la dedicación prestada. Igualmente al Servicio de Calidad y Medio Ambiente por la ayuda prestada en estos meses de trabajo.

**CONSTRUCCIÓN Y MONITORIZACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA  
REAL DE UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR EECN  
EN ALCAÑIZ (TERUEL) - CLIMA D3**

HIGUERO ARTIGAS, ROBERTO

*Autónomo, Zaragoza, España*

*E-mail: rha@coaatz.org, Web: <http://rha1686.wixsite.com/rharq>*

**PALABRAS CLAVE:** Edificio de Energía Casi Nula (EECN), ficheros climáticos de referencia, análisis climático demanda de refrigeración, estrategias pasivas de refrigeración, sistemas activos de refrigeración, monitorización, validación.

## **RESUMEN**

El cambio climático plantea un nuevo escenario en la construcción de EECN. Las cargas de climatización y el confort en verano son cada vez más importantes dentro de la planificación de la eficiencia energética de un edificio. Partiendo del análisis climático, y el comportamiento dinámico de una vivienda construida bajo criterios de diseño EECN, daremos algunas pistas para superar el próximo reto de la construcción EECN, es decir, mantener el mismo nivel de eficiencia energética proyectado a lo largo de todo el ciclo de vida del edificio.

## **1. INTRODUCCIÓN**

Dentro del estudio dinámico de los edificios EECN, el presente artículo pretende estudiar el comportamiento real del edificio ante el cambio climático global que está generando anomalías térmicas importantes en los climas de interior, en concreto, nos centraremos en climas D3 (CTE 2013). Contextualmente, el estudio de los datos climáticos existentes ha permitido generar ficheros climáticos desde los cuáles trabajan los diseñadores y técnicos

que permiten simular el comportamiento del edificio, para establecer el nivel de eficiencia energética, que teóricamente ha de mantenerse constante durante el ciclo de vida del edificio. En este artículo se pretende estudiar la relación real entre los ficheros climáticos de diseño, con los datos climáticos reales, y correlacionar estos datos con la monitorización real del clima D3 en los años 2016-2017 y el comportamiento energético real de un edificio EECN. El objetivo se centra en dos aspectos principales. Se persigue validar anomalías climáticas mediante el estudio de los ficheros climáticos oficiales (German Campos, 2016), datos históricos de los últimos 17 años y datos reales de monitorización climática. Por otro lado, se busca determinar si los criterios de diseño de edificios EECN están preparados para amortiguar las anomalías térmicas a largo plazo con el objetivo final de garantizar un nivel óptimo de eficiencia energética a largo plazo, para ello estudiando su comportamiento dinámico.

## 2. DESARROLLO Y METODOLOGÍA

Proyecto de construcción de vivienda unifamiliar (ver Figura 1) situada en Alcañiz (Teruel) de consumo de energía casi nulo mediante sistema de paneles de encofrado perdido aislante de VIRUTA DE MADERA RECICLADA AGLOMERADA CON CEMENTO. Superficie construida: 199,31 m<sup>2</sup>. Superficie útil a climatizar: 162,30 m<sup>2</sup>.



Figura 1. Vista Sur-Oeste de la vivienda. (Fuente: Elaboración propia).

### 2.1 Clima del emplazamiento

Tipo D3 (CTE2013). Clima Köppen BSk – Estepario seco. Las precipitaciones están entre un 50% y un 100% de la temperatura media anual multiplicada por veinticuatro. Bajo estas condiciones la vegetación es escasa. Este clima es conocido en algunas regiones como mediterráneo seco pues es, en muchas ocasiones, un clima de transición entre el Csa (mediterráneo) y el BW (desértico).

### 2.2 Estrategias de diseño pasivo del edificio

Orientación sur. Captación solar directa. Alta inercia térmica. Protecciones solares de huecos sur y oeste. Alto nivel de aislamiento de la envolvente ( $U_{\text{global}} < 0,25 \text{ w/m}^2\text{k}$ ). Tratamiento de puentes térmicos. Carpintería de mixta con vidrios triples de baja emisividad.

Sistema de ventilación mecánica controlada con recuperador de calor de alta eficiencia. Nivel de estanqueidad  $h_{50PA}^{-1} = 1$  ren/h. Ventilación cruzada nocturna. Refrescamiento evaporativo mediante la incorporación de una lámina de agua en la dirección de los vientos predominantes nocturnos.

### 2.3 Características técnicas

La envolvente térmica mantendrá de forma continua el nivel de aislamiento, como puede observarse en la figura 2.

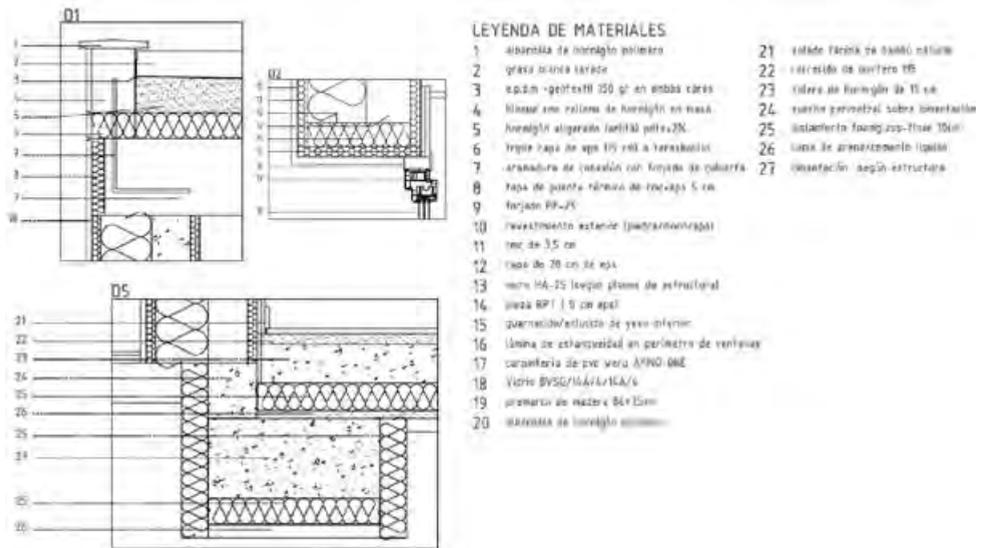


Figura 2. Detalles constructivos de la envolvente térmica (Fuente: Elaboración propia)

La transmitancia térmica media de los huecos: 1,28 W/(m<sup>2</sup>K).

Transmitancia global de la envolvente: 0,282 W/(m<sup>2</sup>K).

Factor de pérdidas total 185,2 W/K- La ventilación aporta 22,9 W/K (un 12% del total).

Los puentes térmicos suponen un 3% de las pérdidas de la envolvente.

Sistema de Ventilación Controlada (VMC) de doble flujo con recuperador de calor de la marca SIBER modelo EXCELENT 400+ homologado para vivienda pasivo. Caudal máximo 300 m<sup>3</sup>/h. Potencia máxima absorbida 98 W. Filtros tipo G3.

*Sistema de climatización:* Sistema de climatización para cubrir demanda pico de calor y frío y producción de ACS. Equipo generador mediante bomba de calor aerotérmica marca DE DIETRICH modelo ALEZIO AWHP 8MR-3. Depósito acumulación de ACS de 200l. Depósito de inercia frío/calor de 100l. Regulación mediante termostato por planta y electroválvula automática.

## 2.4 MATERIALES Y MÉTODO

La principal novedad en este proyecto radica en el sistema constructivo de la envolvente opaca. El sistema se conforma de forma muy sencilla mediante tres tipos de paneles de CMC. El sistema se complementa con broches o separadores de acero protegidos ante la corrosión para facilitar el montaje en seco (ver Figura 3).



Figura 3. Paneles de CMC con y sin aislamiento. Broches de montaje como separadores.

Los tableros cuentan con las fichas técnicas correspondientes para la caracterización de medidas, densidad, resistencia térmica, factor de difusión de vapor, rigidez mecánica, así como informe de inocuidad para la salud e higiene de los trabajadores. Igualmente posee una clasificación de protección frente al fuego como revestimiento B-s1, d0.

## 2.5 SISTEMA DE MONTAJE

El sistema comienza con la colocación del panel exterior aplomado y nivelado sobre la solera (ver Figura 4). A continuación, se colocará el panel interior mediante la ayuda de los broches o distanciadores metálicos. Procederemos a realizar la primera hilada de forma completa respetando los huecos. A continuación, se procederá a incluir el acero necesario según cálculo, incluidos refuerzos estructurales necesarios. La ejecución se realizará mediante la superposición de dos hiladas completas.



Figura 4. Esquema de montaje y resultado final del proceso de muros.

(Fuente: Elaboración propia).

Posteriormente se procede a la realización de las jambas de huecos para puertas y ventanas mediante paneles de 5 cm de CMC. En este punto es importante tratar el puente térmico de las jambas de las ventanas mediante la adición de aislamiento térmico en función de las necesidades del emplazamiento. Igualmente se tendrá en cuenta este efecto en el cálculo de los dinteles de huecos. Posteriormente se procederá al hormigonado del espacio según el

espesor de cálculo (11 cm), conforme a las especificaciones de la normativa vigente (EHE 2008). En el caso de construcción de edificio EECN, se recomienda la integración de los premarcos en los paneles de las jambas para minimizar la superficie de PT ligado a jambas y dinteles.

Posteriormente una vez alcanzada la cota de forjado se procede al montaje de este, conforme al método elegido. El sistema es compatible con la ejecución de forjados unidireccionales y reticulares en todos sus formatos y materiales, así como con forjados de madera, prefabricados o semi-prefabricados. Igualmente, el sistema permite generar vuelos a modo de balcones, terrazas o aleros de protección solar integrados en la estructura integrando el tratamiento del puente térmico correspondiente.

## 2.5 MONITORIZACIÓN

Se ha instalado un datalogger de Kintech Engineering modelo EOL Zenith, controlando las siguientes sondas, con lecturas cada diez minutos:

Variables climatológicas: temperatura del aire, humedad relativa, velocidad y dirección de viento. Variables térmicas internas: 4 zonas de temperatura (una sonda por zona). Salón suroeste PB, Zona sur P1<sup>a</sup>, dormitorio este PB, dormitorio NE P1<sup>a</sup>. Variables técnicas: Monitorización de temperaturas y consumo energético del recuperador de calor, consumo energético de producción de ACS, lectura de consumos energético de los sistemas activos (ver Figura 5).



Figura 5. Sistema de monitorización. (Fuente: Elaboración propia).

Para el estudio climático se han utilizado datos climáticos diezminutales de los años 2016 y 2017, datos horarios de los últimos cinco años y datos medios mensuales de la serie 2000-2017 (fuente AEMET) del emplazamiento. Igualmente se ha trabajado con los ficheros climáticos oficiales del CTE según documento de referencia (en adelante *FCR*) y el fichero climático utilizado en el software PHPP de certificación de edificios Passivhaus (en adelante *FCPH*).

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Relativos al sistema constructivo

El tiempo de ejecución de la estructura se reduce un 70% conforme a un sistema convencional. En el ejemplo real la estructura está terminada en 9 semanas estando lista para la

instalación de la carpintería exterior y los revestimientos. Mano de obra y economía local. La mano de obra ha sido en un 82,3% mano de obra local o de menos de 100 km desde el emplazamiento del edificio. Lo que ha repercutido en una economía local del 90,87%. Coste. El coste de la estructura es de 270 €/m2 para un coste total de construcción de 1.031 €/m2. En el sistema se ha utilizado un 12,74% menos de hormigón que en un sistema convencional, así como un 60,45% menos de acero. Esto supone una reducción de un 37,2% de emisiones de CO2 en la ejecución de la estructura.

### 3.2 Relativos al clima

Se ha procedido al estudio de los datos climáticos oficiales del emplazamiento, en el periodo comprendido entre los años 2000 y 2017 (en adelante 00-17), con el objetivo de estudiar anomalías climáticas reseñables (ver Figura 6) que justificasen el estudio comparativo de los datos climáticos monitoreados, con los ficheros climáticos de referencia usados en los diferentes softwares de simulación energética de edificios. A continuación, podemos observar los datos relativos a las temperaturas invernales y estivales del periodo estudiado.

Se observa una anomalía térmica importante en la evolución de las temperaturas máximas registradas en verano (+1,99°C), así como de las mínimas registradas en invierno (+2,09°C). Las anomalías quedan más armonizadas en los valores medios, con +0,78°C en verano y +0,66°C en invierno. Igualmente se han estudiado, en el mismo periodo, frecuencias de precipitaciones, días de lluvia, días con niebla y días de tormenta, obteniendo los siguientes resultados:

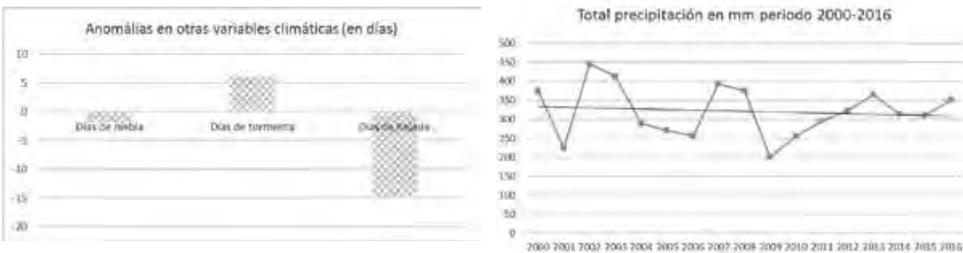


Figura 6. Otras variables climáticas 2000-2017. (Fuente: Elaboración propia)

En la segunda fase de esta investigación se han tratado los datos diezminutales, fruto del monitoreo de las variables climáticas (en adelante MON). Se ha procedido a la comparativa de estos datos con las siguientes series: MON – Fichero climático real monitoreado; FCR – Fichero climático de referencia HULC; FCPH – Fichero climático Passivhaus Institut; 00-17 – Fichero climático años 2000-2017. Los resultados de anomalías térmicas entre los ficheros se muestran en la Figura 7.

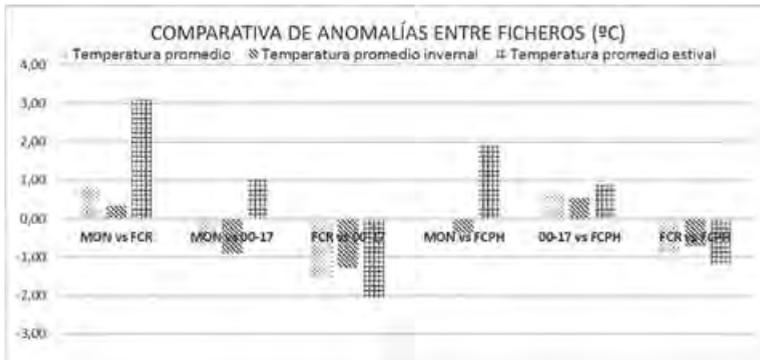


Figura 7. Anomalías térmicas entre ficheros climáticos. (Fuente: Elaboración propia)

### 3.3 Comportamiento dinámico del edificio

Con los datos extraídos de la monitorización se ha validado la eficiencia energética real con la proyectada. Se analizan resultados anuales en demanda de energía, potencia del sistema y energía primaria no renovable en la Figura 8:

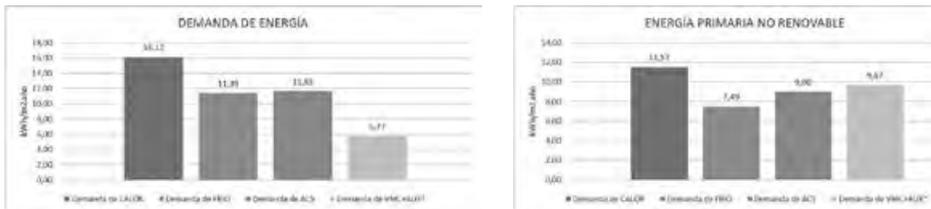


Figura 8. Resultados de indicadores anuales. (Fuente: Elaboración propia)

Igualmente se han correlacionando las variables de consumo de energía final con las condiciones climáticas externas. En invierno, es de especial interés el estudio entre consumo instantáneo de energía final con la velocidad del viento y la temperatura exterior (ver Figura 7).

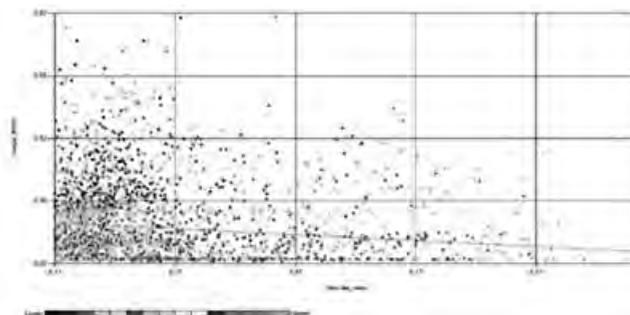


Figura 9. Correlación de datos entre consumo de energía final (eje y), velocidad de viento (eje x) y temperatura exterior (escala de color). (Fuente: Elaboración propia)

A mayor velocidad de viento la respuesta de edificio conlleva menores consumos de energía final, por lo que no existe correlación entre estas variables, debido a la alta hermeticidad (Lambea, Rodríguez 2017). Si existe correlación entre un mayor consumo de energía final a menor temperatura exterior. Del mismo modo se han estudiado otras correlaciones, relativas a la dirección del viento y temperatura de agua de impulsión del sistema de climatización, encontrando las convergencias esperadas establecidas en las condiciones del proyecto.

En verano, se han estudiado las correlaciones entre variables sin encontrar convergencias importantes entre consumo de energía final, velocidad y dirección de viento, peses a detectarse un aumento de la demanda en situaciones de viento Este, pero siempre ligadas a temperaturas más altas. Como era previsible, el consumo de energía final converge con la temperatura de impulsión de agua de la climatización y temperaturas exteriores elevadas (ver Figura 10).

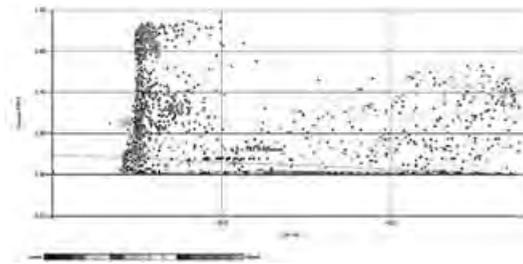


Figura 10. Correlación de datos entre consumo de energía (eje y),  $T^a$  climatización (eje x) y temperatura exterior (escala de color). (Fuente: Elaboración propia)

Otro aspecto importante es el funcionamiento del Recuperador de Calor (RC), durante el año. El sistema ha presentado un rendimiento estacionario invernal del 80% y estival del 48%.

Al correlacionar los datos de temperaturas de impulsión y extracción a vivienda por el RC en función de la temperatura exterior, podemos encontrar convergencias de sobrecalentamiento interior del edificio en situaciones de altas temperaturas exteriores. Con temperaturas exteriores por encima de los 35°C, la impulsión del aire a la vivienda supera los 30°C, lo que aumenta correlativamente, la temperatura de extracción hacia el RC, generando sobrecalentamiento (ver Figura 11).

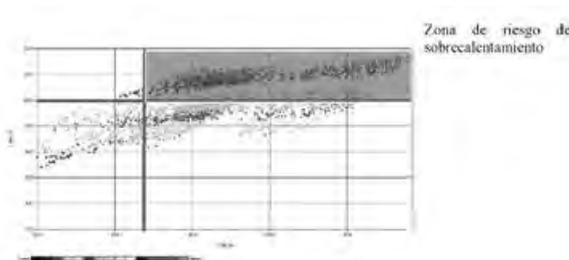


Figura 11. Correlación de datos entre  $T^a$  Impulsión a Vivienda (IV) (eje y),  $T^a$  Extracción de Vivienda (EV) (eje x) y temperatura exterior (escala de color). (Fuente: Elaboración propia)

## 4. CONCLUSIONES

### 4.1 Conclusiones al estudio de ficheros climáticos

- Se constata que los datos climáticos reales ofrecen un escenario a medio plazo, de calentamiento tanto estival como invernal, con temperaturas máximas y mínimas más extremas, especialmente en verano, donde las olas de calor son más intensas y más prolongadas en el tiempo.
- En otros fenómenos climáticos, se observa principalmente un descenso de días de heladas, un descenso moderado en los días de nieblas, y un aumento importante de los días de tormenta (en relación con el aumento de temperaturas máximas registradas).
- El fichero climático MON ha resultado ser más cálido que el resto de los ficheros. Se trata de una serie anual por lo que está sujeta a anomalías climáticas de corta duración.
- El fichero climático de la serie 00-17, resulta 1,45°C más cálido que los FCR y FCPH, con una anomalía de 1,17°C en invierno y 1,90°C en verano. El FCPH resulta el más armonizado con la serie 00-17 con una anomalía de 0,67°C para el invierno y de 0,54°C para el verano.
- Los FCR resultan muy conservadores en comparación con el resto de los ficheros especialmente en los meses estivales.

### 4.2 Conclusiones a la respuesta dinámica del edificio

- La estanqueidad al aire de  $h_{50PA}^{-1} = 1$  ren/h, no tiene convergencia sobre el consumo de energía a diferentes velocidades y direcciones de viento (Lambea, Rodríguez 2017).
- En un escenario a largo plazo, y debido al incremento de la temperatura, las olas de calor y los elevados valores medios de las mínimas, será preciso revisar los ficheros climáticos de referencia para ayudar a los proyectistas en fase de diseño, a calibrar de forma correcta la incidencia de la refrigeración en los edificios.
- Queda validado que un clima tipo D3 o cálido templado, precisa de un sistema activo de refrigeración para mantener las condiciones de confort interior. Especialmente interesante el post-enfriamiento del aire de impulsión en sistemas VMC con RC.
- Las estrategias pasivas para prevenir el sobrecalentamiento han de aumentar su importancia dentro del programa de toma de decisiones en fase de proyecto. El control solar en los acristalamientos, de forma conjunta de la protección solar, así como desarrollo de sistemas eficientes de ventilación y control de humedad interior, serán estrategias fundamentales.
- La necesidad de implementar en el edificio sistemas de monitorización y control que permitan evaluar la eficiencia energética real y su comparativa con la calculada en proyecto.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLOG: Artículo “Mucho cuidado con los datos de referencia del nuevo HE” por German Campos. Control strategies for Energy Recovery Ventilators in the South of Europe for residential nZEB—Quantitative analysis of the air conditioning demand. 2017 Silvia Guillén-Lambea, Beatriz Rodríguez-Soria, José M. Marín.
- Comfort settings and energy demand for residential nZEB in warm climates. 2017 Silvia Guillén-Lambea, Beatriz Rodríguez-Soria, José M. Marín.
- NORMATIVA: Directiva 2010/31/UE del 19 de mayo de 2010 relativa la eficiencia energética de los edificios. CTE DB-HE Ahorro de energía.
- COFERENCIAS: Documentos formativos estándar Passivhaus. Conferencias y manual del software PHPP 2007.
- AEMET – Agencia Estatal de Meteorología. Servicio OpenData

## UP. COMPLETAR EDIFICIOS PARA MEJORAR LAS CIUDADES

BAILACH HERNANDIS, JOSÉ<sup>1</sup>; LOSTAO CHUECA, DIEGO<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> *Metro7 Edificación Singular y Construcción Sostenible SL, Zaragoza, España*  
*E-mail: jose@metro7.es, Web: www.metro7.es*

<sup>2</sup> *Metro7 Edificación Singular y Construcción Sostenible SL, Zaragoza, España*  
*E-mail: proyectos@metro7.es, Web: www.metro7.es*

**PALABRAS CLAVE:** sobreelevación; passivhaus; renovables; rehabilitación; sostenibilidad.

### RESUMEN

Hay propuestas que surgen a pequeña escala y dan solución a problemas globales, Up pretende ser uno de estos proyectos. Consiste en la construcción de viviendas de obra nueva dentro de las ciudades, rehabilitando, a su vez, el parque residencial existente.

La mayoría de los núcleos urbanos han crecido muy rápido desde que entrara en vigor en Plan General de Ordenación Urbana, sin embargo, tras su redacción se han generado una serie de vacíos urbanos, principalmente en las zonas históricas, en donde no se ha completado la edificabilidad del solar.

La idea principal se hace realidad a través del aprovechamiento de esta edificabilidad sobrante que puedan tener los edificios, realizando una sobreelevación sobre la preexistencia y, con los recursos obtenidos de este aprovechamiento, invertir los beneficios en la rehabilitación del edificio que ha servido de base.

Se edifica siguiendo el estándar constructivo Passivhaus por lo que la nueva obra tiene una demanda energética tan próxima a cero que la energía necesaria puede aportarse mediante renovables. La rehabilitación del edificio también sigue el mismo estándar constructivo en su versión llamada Enerphit.

Las características de las nuevas viviendas pasivas construidas son:

- Sistema constructivo ligero (madera).
- Rapidez de ejecución - prefabricación.
- Calidad y confort.
- Ecológicas.
- Eficiencia.

Las actuaciones en rehabilitación sobre los edificios existentes más importantes son:

- Mejoras de Accesibilidad.
- Goteras/Humedades.
- Eficiencia energética.
- Aislamiento acústico.
- Mejoras en instalaciones.

Es una propuesta innovadora donde los propietarios de los edificios con edificabilidad sobrante obtienen los recursos necesarios para afrontar la rehabilitación de una manera integral, dotando a los edificios existentes de las prestaciones exigidas para afrontar un nuevo ciclo de vida.

El hecho de que se construya dentro del entramado urbano existente, que las nuevas obras sean energéticamente eficientes y la apuesta por la rehabilitación, hacen de Up un proyecto viable y sostenible, ecológica, económica y socialmente.

## 1. INTRODUCCIÓN

Todo proyecto innovador surge del ensamblaje de ideas, la propuesta que se va a analizar consiste en completar los edificios para mejorar nuestra ciudad mediante la suma de una serie de conceptos como pueden ser: Passivhaus, rehabilitación, sostenibilidad, eficiencia energética... gracias a los cuales, y al carácter novedoso de la propuesta se consigue introducir nueva vivienda en la ciudad y rehabilitar la existente de un modo sostenible. Para lograrlo, los pasos que se siguen son la localización de edificios en dónde sea posible la construcción de una nueva planta en su cubierta gracias a la edificabilidad sobrante que se genera tras la redacción del Plan General de Ordenación Urbana de Zaragoza.

El proyecto Up se trata de proceso innovador que pretende seleccionar lo mejor de la vivienda de obra nueva y de la rehabilitación, y condensarlo en una propuesta que da solución a los problemas, de un modo económico, que tienen las viejas construcciones de vivienda colectiva ubicadas en núcleos urbanos, a cambio de la colmatación del conjunto construyendo en su cubierta.

La propuesta no parte de una casuística concreta ya que existen multitud de espacios que podrían sumarse a esta iniciativa (fig. 01), sino que pretende un cambio normativo que apoye y contribuya a transformar nuestras ciudades desde una imagen, quebrada en sección, sin uniformidad y baja eficiencia, debido a los antiguos sistemas constructivos que tienen numerosas pérdidas energéticas. Hacia una ciudad más compacta, en donde la parte histórica, y generalmente más céntrica, funcione mediante una solución basada en la rehabilitación que permita conservar tanto el trazado como el carácter del núcleo urbano.



Figura 1: Ejemplo de edificios con edificabilidad sobrante en la ciudad de Zaragoza.

## 2. DESARROLLO/METODOLOGÍA

### 2.1 Proceso innovador

El problema al que todo proceso de estas características debe enfrentarse es a la desconfianza social ya que es algo que no está demostrado, o que todavía es desconocido. A pesar de los referentes a lo largo del mundo que existen de sobreelevación de viviendas, como pueden ser La Casa por el Tejado, Descombes-Thieulin, o las construcciones en madera de Bois en Francia, en Zaragoza, por el momento, no se han ejecutado un número significativo de estas intervenciones por lo que algunas comunidades muestran cierto rechazo.

La propuesta Up debe sobreponerse a estos inconvenientes, y uno de los puntos clave, que no aportan ninguno de los referentes nombrados, es que el proyecto que se propone es integrador para la comunidad, no consiste simplemente en una rentabilidad económica por explotar el inmueble, ni un aumento de los metros cuadrados construidos de la comunidad, sino que Up amplía su visión a toda la ciudad mediante un macroproyecto de rehabilitación prácticamente autofinanciado.

Para que dicha propuesta se pueda llevar a cabo se debe dar respuesta a tres grandes cuestiones que convertirán esta idea en un proceso innovador funcional para la realidad de la mayoría de las ciudades:

Encontrar un lugar:

Para poder desarrollar el proyecto, lo más importante es saber dónde poder realizar una propuesta que resulte interesante para la comunidad de propietarios como para la empresa que lo financia.

La decisión del sitio en el que intervenir viene condicionada por varios factores:

- Que el Plan lo permita, lo primero de todo es localizar un bloque de viviendas con potencial en altura y analizar la zona en la que se ubica para ver si está permitida su

construcción, ya sea mediante una elevación al uso, o a través de un estudio de detalle que contribuya a la supresión de medianeras.

- Viabilidad económica, se debe tener en cuenta también los costes que esta construcción puedan acarrear y generen una actividad competitiva en el mercado con la que se pueda financiar el resto de viviendas.
- Que toda la comunidad apoye el proyecto, se trata de un proceso de renovación urbana al cual los vecinos se sumen de buen grado, el objetivo para que el proyecto funcione de un modo distendido en el tiempo es consiguiendo que todos los propietarios queden contentos con la intervención. Solo con el apoyo de todos los individuos se puede conseguir el impacto social perseguido, que es el de la difusión de una nueva metodología constructiva que permita una mejora sostenible de nuestra ciudad.

#### Tecnología literaria:

Dicho proyecto necesita del uso de un vocabulario específico que ayude en la correcta comprensión del conjunto.

El motivo por el cual se haya necesitado la definición de unos conceptos, adaptando los significados de la terminología existente, es debido a que esta “idea innovadora” se trata del ensamblaje de diferentes propuestas y soluciones que han ido evolucionando en Europa a lo largo del tiempo, este vocabulario se compone por ejemplo de:

- Edificabilidad sobrante, es la superficie, medida en metros cuadrados, que todavía se puede construir en el ático de la vivienda seleccionada. También podríamos definirlo por el número de plantas que le quedan al conjunto para llegar a su edificabilidad máxima.
- Sobreelevación, consiste en la proyección de un ático sobre el bloque de viviendas existente. No siempre tiene que ser un ático, ya que, en ocasiones, se pueden construir más de una o dos plantas, en cuyo caso se podría definir como ampliación.
- Viviendas pasivas, este término se acuña a los conjuntos residenciales que prácticamente no consumen energía por lo que tienen un sistema constructivo que estabiliza térmicamente el interior generando un estado de confort. En España este concepto se ha definido como Edificios de Energía Casi Nula (EECN), mientras que en Europa se conoce como near Zero Energy Building (nZEB).
- Rehabilitación energética, se da cuando la mejora del edificio sobre el que se interviene obtiene una mejora constructiva que le permite afrontar tanto el invierno como el verano sin un aporte tan relevante de instalaciones activas. En vivienda colectiva, la solución más común es el SATE que nos permite envolver al edificio en su conjunto.

#### Comunidad de testigos:

Hoy en día, conseguir que la sociedad conozca una idea es relativamente fácil, aunque lograr que crea en esa idea tal y como lo hace el técnico redactor del proyecto es un objetivo más difícil de alcanzar.

Para ello, según las experiencias obtenidas haciendo propuestas a las comunidades, lo más conveniente es conseguir que, además de que les interese el proyecto, conozcan referentes que se hayan construido previamente, para creer que es estructuralmente posible.

El concepto de vivienda pasiva o de rehabilitación energética también siembra muchas

dudas al principio, ya que, el hecho de construir un inmueble sin una instalación activa de calefacción mediante radiadores, hace pensar a los vecinos que ese piso va a tener que enfrentarse a ciertos problemas térmicos durante el invierno, aunque la realidad de Zaragoza es que resulta más conflictivo el verano.

Para conseguir que los clientes se embarquen en una aventura como la que es el proyecto Up es vital que exista una confianza entre el técnico y los propietarios, y la única manera de conseguirla es enseñarles los antecedentes del proyecto, mostrarles cómo se ha llevado a cabo en otras ocasiones y, sobre todo, paciencia para que, lo que al principio veían como imposible, se convierta en algo cotidiano.

El mostrar a esa comunidad, en detalle, el concepto sobre el que se ha trabajado, ayudará a que las personas aprendan los nuevos conceptos que introduce Up, adquiriendo una parte de los conocimientos técnicos y convirtiéndose en testigos, contribuyendo así, a una inteligencia colectiva que mejore poco a poco toda la sociedad, consistiría en conseguir, de este modo, la experticia del ciudadano.

En Europa se han llevado a cabo muchas propuestas interesantes fundamentadas en la sobreelevación y de arquitectura pasiva, aunque, todavía no se ha desarrollado un proyecto que aúne ambas ideas del modo en el que Up propone, con la rehabilitación como nexo de unión.

## 2.2 Características técnicas del proyecto



Figura 2: Tras la redacción del Plan General de Ordenación Urbana se han generado unos vacíos urbanos sobre algunos edificios antiguos que necesitan ser rehabilitados.



Figura 3: Estos edificios tienen un nuevo potencial gracias a su edificabilidad sobrante y a nuevas técnicas de construcción.



Figura 4: Se trata de espacios sin uso como terrazas y tejados que se pueden aprovechar para construir nuevas viviendas pasivas, muy ligeras y de rápida ejecución.

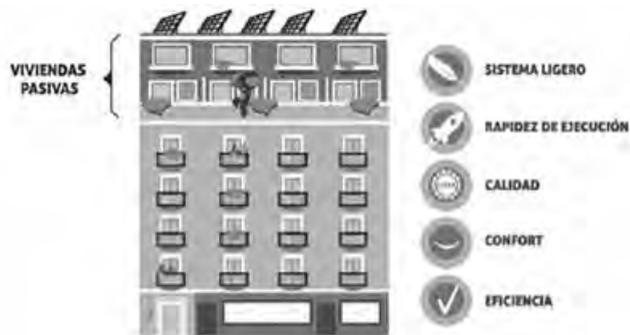


Figura 5: Un modelo de arquitectura sostenible que ofrece la máxima calidad, confort y eficiencia.

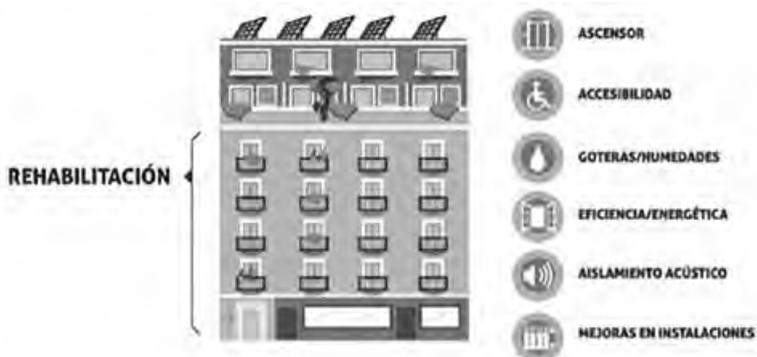


Figura 6: Con la rentabilidad de las nuevas viviendas, el edificio se rehabilita y las mejoras suponen una importante revalorización de las viviendas existentes y el edificio en su conjunto mediante una gestión completa sin la necesidad de renunciar al uso.



Figura 7: Up consigue integrar esos vacíos urbanos dentro del entramado de un modo singular y sostenible.



Figura 8: Todos salen ganando; propietarios, nuevos vecinos, conjuntos urbanos y la ciudad consigue una regeneración urbana integradora y necesaria.

La materialidad de la propuesta pasa por la posibilidad de ser ejecutada sin que haya problemas tanto estructurales como de salubridad o servidumbres.

Para que se pueda realizar debe de cumplir el código técnico de la edificación (CTE). Cada proyecto será diferente del anterior pero los criterios más generales a tener en cuenta son:

- Accesibilidad a la vivienda, sería posible mediante la ampliación del ascensor hasta el nuevo ático construido.
- Extracción a cubierta, se debe modificar el sistema de ventilación, redirigiendo o cerrando los shunt teniéndolos en cuenta cuando se lance una propuesta a la comunidad.
- Red de saneamiento, ajustar la recogida de pluviales y poder unirnos a la red de saneamiento existente.
- Resto de instalaciones, fontanería o electricidad, sería necesario modificar el cuadro de luces y contadores para incorporar los nuevos, teniendo en cuenta el número de viviendas resultante, y que quizá haya que ampliar el cuarto o armario dedicado a ello.

Estos aspectos son importantes de valorar, aunque darle solución sería relativamente fácil en un gran porcentaje de ocasiones. Un problema que puede ser más complejo de resolver es el sistema estructural.

La propuesta consiste en eliminar todos los elementos constructivos existentes en la cubierta y crear una nueva vivienda mediante el entramado ligero de madera, por lo que se hace muy ligera la nueva edificación, siendo el valor más restrictivo, la sobrecarga de uso que según el CTE son  $2\text{kN/m}^2$ , es decir,  $200\text{ kg/m}^2$ .

El concepto (near Zero Energy Building) fue introducido en 2010 por la EPBD (Energy Performance of Buildings Directive), esta directiva es la encargada de la contención de emisiones de gases que producen el efecto invernadero, del consumo y eficiencia energética, así como de la generación de energía a partir de fuentes renovables, y que debe ser el objetivo a cumplir en 2020 para todos los edificios construidos de nueva planta en los países miembros. El Passivhaus Institut creó en el año 1991 el estándar Passivhaus que incluye unas pautas a seguir:

- Requisitos energéticos mínimos, consiste en establecer un mínimo de demanda de energía primaria, así como para aporte de calor y frío.
- Conjunto de soluciones, establecer un base de detalles constructivos, previamente estudiados en la práctica, que siempre funcionen y con los que poder conseguir alcanzar los valores mínimos exigidos.
- Herramienta de cálculo, proporcionar al técnico que decida seguir el sistema constructivo las herramientas para poder adaptar las soluciones a su caso particular y tener la certeza de que funciona.

Las exigencias a cumplir por este sistema son más restrictivas que en el caso de obra nueva cumpliendo el Código Técnico de la Edificación (CTE) siendo, por ejemplo, la demanda máxima permitida  $15\text{ kWh/m}^2\text{a}$  o una permeabilidad máxima de  $0,60$  a una presión de  $50\text{Pa}$ .

Los 5 pilares del passivhaus para cumplir el estándar son:

- Aislamiento. Se concibe una envolvente de aislamiento continuo, es decir, que se pueda dibujar sin levantar el lápiz del papel.
- Hermeticidad y estanqueidad. El objetivo es reducir al máximo el número de infiltraciones indeseadas, para ello aplicaríamos nuevamente el recurso de no levantar el lápiz del papel para dibujar la capa estanca por el interior de la vivienda.
- Puentes térmicos. Se dan en el encuentro entre planos, estos lugares en concreto requieren un tratamiento especial prestando atención a no romper la línea de aislamiento y colocando cintas estancas en uniones donde podríamos tener infiltraciones indeseadas como pueden ser muro con forjado o al abrir los huecos en el muro.
- Ventanas y cerramientos. Estos elementos son los más proclives a tener problemas de estanqueidad o a introducir un exceso de ganancia solar en el interior de la vivienda. Hay que estudiar en detalle que transmitancia tiene la carpintería en su conjunto y analizar el comportamiento de los vidrios en particular para conseguir los fines perseguidos.
- Ventilación. El estándar obliga a incorporar una ventilación mecánica ya que, al hermetizar el conjunto, se pueden generar problemas de salubridad.

El propio estándar también prevé la rehabilitación de edificios de un modo energéticamente sostenible, acuñándole el término Enerphit para definirlo, siendo, los criterios algo menos restrictivos que para obra nueva.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La cantidad de energía a nivel mundial dedicada a la edificación es de 1/3, de este tercio, otro tanto se dirige al comercio y 2/3 a la vivienda, siendo, la mitad de ello exclusivo de elementos de calefacción activa.

Para poder contribuir a mejorar estas cifras como una comunidad, Up promueve la rehabilitación de un modo autosuficiente sin la dependencia necesaria de las subvenciones gubernamentales, de este modo se da respuesta al principal problema de la rehabilitación, el impacto económico.

La rehabilitación del conjunto nos ayuda a integrar la accesibilidad mediante la colocación de un nuevo ascensor, de resolver posibles problemas de salubridad como goteras o humedades y una mejora tanto energética como acústica y de las instalaciones.

Se genera un nuevo orden urbanístico regularizando el trazado de la ciudad mediante el trabajo en sección completando el Plan. Aporta una eficiencia energética de viviendas existentes (mejora de la demanda) y creación de nuevas (autosuficiencia), mejoran del ciclo de vida y mantenimiento de los edificios existentes.

### 4. CONCLUSIONES

La ciudad necesita renovarse, ha quedado claramente definido que el ritmo de vida que hemos llevado estos años pasados es insostenible.

Los años de crisis nos han dado un toque de atención, un duro golpe, pero necesario al fin y al cabo. Nos ha hecho reflexionar sobre la manera en la que hemos construido hasta el día de hoy haciéndose evidente que las ciudades no solo necesitan crecer en extensión, sino que es incluso más valiosa la compactación de la misma.

Creando nuevas viviendas en los vacíos urbanos y rehabilitando los conjuntos residenciales actuales podemos alcanzar una sociedad mucho más involucrada en el mantenimiento de la misma.

La propuesta Up ha relacionado esta doble necesidad de Zaragoza de nueva vivienda y la mejora de la existente mediante un proyecto que puede considerarse sostenible ya que:

- Ecológicamente, aporta una mejora energética en la vida útil del parque residencial reaprovechando la construcción existente además de que la vivienda de obra nueva planteada sigue unos estándares constructivos muy restrictivos para poder realizar la obra lo más viable posible.
- Económicamente, mejora el bloque de viviendas sin apenas coste para los propietarios, plantea mejoras en instalaciones y accesibilidad, por lo que la inversión realizada permite una revalorización del piso en el caso de una posible venta futura.
- Socialmente, el proyecto tiene todo lo necesario para poder ser difundido abriéndose un hueco dentro del conocimiento colectivo. La filosofía innovadora de la propuesta, junto a la existencia de una, cada vez más amplia, comunidad de testigos contribuirá a la compactación localmente, de las parcelas y, globalmente, de los barrios y ciudades.

Up podría llegar a englobarse dentro del grupo de intervenciones llamadas “urbanismo táctico”. Son una serie de propuestas puntuales, no necesariamente permanentes, que han ido surgiendo en los periodos de crisis económica. Su objetivo es una mejora de la situación en los barrios haciendo que las personas se sientan identificadas con la obra, porque hayan participado en la ejecución o porque aporten algo a la comunidad. Estas propuestas aportan a la comunidad una mejora al entorno y contribuye a su uso por parte de las personas. Son pequeñas aportaciones que han ido haciéndose hueco y adquiriendo un carácter de conjunto de la ciudad.

Up da respuesta a los espacios vacíos del planeamiento urbano, en colaboración con las comunidades de propietarios, apostando por la rehabilitación del entramado existente.

## 5. BIBLIOGRAFIA

### 5.1 Bibliografía literaria

Cuchí, A. “La situación de la rehabilitación energética de viviendas y edificios y su posible evolución”. En las: Jornadas sobre rehabilitación energética en Zaragoza y entrega premio Rehabilita Aragón 2017. En el salón de actos del COAA. Zaragoza. 2017.

Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid. “Guía del estándar Passivhaus. Edificios de consumo energético casi nulo”. Colabora la Consejería de Economía y Hacienda de la Comunidad de Madrid, Zehnder y la Plataforma de la Edificación Passivhaus. Depósito legal: M. 37.033-2011. Gráficas Arias Montano, S.A. 28935 Móstoles, Madrid. 2011.

La Casa por el Tejado. “Arquitectura residencial innovadora. Ático sobreelevado, una casa industrializada eficiente”. Casa Viva, nº238, artículo técnico. Pg. 68 a 77.

Martínez, L. Passivhaus consultores. “El Estándar Passivhaus: una hoja de ruta fiable hacia el edificio de consumo casi nulo, también para los componentes cerámicos”. Con arquitectura. 2016, nº61, artículo técnico.

Wassouf, M. “De la casa pasiva al estándar: la arquitectura pasiva en climas cálidos”. Editorial: Gustavo Gilí en Enero 2014, 144p. ISBN: 9788425224522.

### 5.2 Bibliografía digital

Bois, construisons durable. Consultado el [10/05/2017]. <http://www.bois.com/renover/surelevations/conquete-espace>.

Construcción 21. Consultado el [10/05/2017]. <https://www.construction21.org/espana/articles/es/el-objetivo-de-2020-los-edificios-de-consumo-casi-nulo.html>.

Descombes-Thieulin. Consultado el [10/05/2017]. <http://www.descombes-thieulin.com>.

Passipedia. Consultado el [15/05/2017]. [https://passipedia.org/basics/affordability/investing\\_in\\_energy\\_efficiency/are\\_passive\\_houses\\_cost-effective](https://passipedia.org/basics/affordability/investing_in_energy_efficiency/are_passive_houses_cost-effective).

## **ASPECTOS PRÁCTICOS EN EL DESARROLLO DE PROYECTOS Y OBRAS CON ESTRUCTURAS DE MADERA**

LOBO PARRA, MANUEL

*FINSA (Financiera Maderera, S.A.) / Dpto. Consultoría Técnica, Madrid, España*

*E-mail: m.lopez@finsa.es, Web: www.finsa.es*

**PALABRAS CLAVE:** A3 Edificación sostenible y edificios de consumo de energía casi nulo, Ejecución, Estructuras, Madera, Contralaminado, Entramado.

### **RESUMEN**

La evolución de los sistemas constructivos con madera en los últimos años, junto con las nuevas normativas de sostenibilidad y eficiencia energética, ha hecho que la madera como material, vuelva a estar presente a la hora de redactar proyectos de construcción.

La caída en desuso de este material, con respecto a al acero o el hormigón, provocó que, incluso la formación técnica en el uso de la madera como material para las estructuras, haya sido reducida en los planes de estudio y en la formación continua de los arquitectos técnicos e ingenieros de edificación.

Los sistemas y procedimientos constructivos como los entramados ligeros o los paneles de madera contralaminada, diferentes en concepto respecto a los sistemas en acero u hormigón, tanto en el diseño de la estructura, como en los materiales para llevarla a cabo, necesitan de nuevos procedimientos para el desarrollo del proyecto y por su puesto para su control de ejecución en la obra.

Durante la exposición, se planteará la descripción de estos sistemas constructivos, su aplicación según la tipología del proyecto, así como los tipos de materiales que son necesarios para su puesta en obra y procedimientos para llevar a cabo el control de ejecución de los mismos, desde el control de recepción de materiales, hasta la verificación de la correcta ejecución de los mismos.

## 1. INTRODUCCIÓN

Tras unos años en los que la madera ha sido un material para la construcción de estructuras, en los que se ha dejado de lado, el desarrollo de sistemas constructivos para las estructuras donde la madera es su material base, que aporta soluciones industrializadas y energéticamente eficientes, han hecho crecer un interés por su uso.

Lamentablemente, esta caída en desuso de forma generalizada en la arquitectura y construcción han motivado que haya una carencia de formación en estos sistemas constructivos, que provoca que, ante la puesta en obra de los mismos, los directores de ejecución de obra se enfrenten a sistemas en parte desconocidos y en muchas ocasiones les cueste realizar el control de la ejecución de este tipo de proyectos.

La intención de esta comunicación es repasar los sistemas constructivos con madera más actuales, como son la construcción con entramado ligero y la construcción con madera contralaminada.

En la primera parte realizaré una descripción de ambos sistemas, indicando características fundamentales, así como ventajas e inconvenientes de su uso.

Posteriormente, se describirá, para cada uno de los sistemas, cuáles son las principales verificaciones a realizar, tanto en la recepción de materiales, cómo en la puesta en obra de los mismos para una correcta ejecución de la obra.

## 2. DESCRIPCIÓN DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

### 2.1 Entramado ligero de madera

La estructura de entramado ligero de madera está formada por elementos superficiales que forman muros, forjados y cubiertas.

Estos elementos superficiales están formados por un entramado o marco formados por elementos lineales de madera estructural de diferentes tipos (aserrada, laminada, elementos compuestos) y tableros de carácter estructural que forman la superficie del elemento.

Estos elementos, una vez unidos dan la rigidez y estabilidad necesaria para la estructura.

A la vez, este entramado, va relleno de un aislante térmico y acústico en los huecos que los elementos lineales han dejado en su interior.

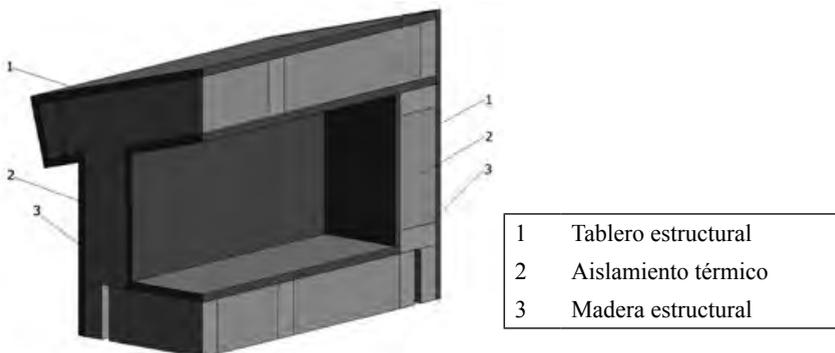


Figura 1. Esquema del entramado de madera.

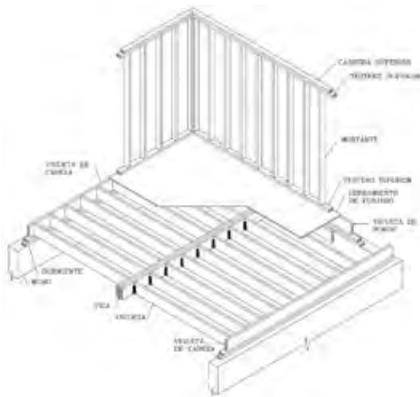


Figura 2. Formación del entramado en forjados.

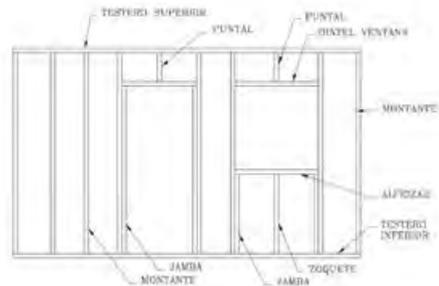


Figura 3. Formación del entramado en muros.

### Principios de funcionamiento estructural.

Sin entrar en profundidades de cálculo y verificaciones necesarias, si expondré los principios generales de funcionamiento de los elementos.

- Forjados y cubiertas. Los elementos lineales y superficiales trabajan a flexotracción. Las cargas las recibe el tablero estructural, que las transmite a los elementos lineales del entramado, que actúan como viguetas apoyadas sobre los muros inferiores.
- Muros. Trabajan principalmente a compresión, debiendo tener en cuenta, en función del tipo de apoyo, posibles compresiones compuestas. Además, en muros de cerramiento de fachada, debe soportar los esfuerzos de viento que deben soportar los tableros superficiales y transmitirlas a los montantes. El otro factor importante de estos elementos es la función de arriostamiento del entramado que realiza el tablero estructural, debiendo verificar el descuadre que provoca.

En el conjunto de la estructura, además se deberá analizar el comportamiento ante acciones horizontales en su conjunto (por viento o sismo) y verificar la estabilidad de la misma.

Finalmente, destacar que, toda esta sencillez de uso pierde su sentido si no cuidamos dos aspectos clave de la construcción de estructuras de madera en general:

- Diseño y ejecución correcta de las uniones de los diferentes elementos.
- Definición de la clase de uso de cada uno de los elementos con el diseño de la protección adecuada en cada caso para garantizar la durabilidad de la estructura.

### Principales características

- Empleo de una gran cantidad de elementos repetitivos, con poco mecanizado y fácil unión.
- Uso para construcción de baja y media altura.
- Posibilidades de industrialización en 2D y 3D.
- Construcción en seco.
- Reducción de plazos de ejecución respecto a construcción tradicional.

- Permite la ejecución de elementos de la envolvente altamente eficientes con espesores finales muy ajustados.

En este reseñar también, y ampliando también a los sistemas de madera contralaminada, que son sistemas estructurales, pero conforman la parte portante del cerramiento. Son sistemas que se pueden trasdosar y compartimentar con sistemas de tabiquería seca y por supuesto, admiten soluciones de acabado de fachada como fachadas ventiladas con cualquier tipo de acabado o revestimientos continuos con sistemas SATE, o en el caso de cubiertas, sistemas de cubiertas que podemos encontrar en el mercado.

Como ejemplos de cerramientos de fachada y cubierta con sistema de entramado ligero podemos indicar los siguientes.



Ejemplo de cerramiento con muro de entramado ligero, con acabado en fachada ventilada, espesor total de 320 mm y una U inferior a 0,20 W/(m<sup>2</sup>K)]

Figura 4. Ejemplo de cerramiento con entramado.



Ejemplo de cubierta inclinada con estructura de entramado ligero, con acabado en teja cerámica, espesor total de 450 mm y una U inferior a 0,17 W/(m<sup>2</sup>K)]

Figura 5. Ejemplo de cubierta inclinada con entramado.

## 2.2 Paneles de madera contralaminada

Los sistemas de paneles de madera contralaminada se enmarcan en los denominados sistemas constructivos de madera masiva.

Los paneles de madera contralaminada se forman a partir de un número impar de capas de tablas de madera estructural unidos entre sí y de forma perpendicular entre las capas pares e impares, pudiendo encontrar paneles desde 3 capas hasta 7 capas.

El funcionamiento estructural básico es similar a los sistemas de entramado de muros portantes y forjados que principalmente son diseñados para trabajar a flexión en su dirección principal, pero con la ventaja que aporta las capas transversales y la posibilidad de cambio de dirección en la ejecución para conseguir que los muros puedan trabajar a flexión y ser capaces de trabajar como vigas de gran canto, permitiendo configuraciones arquitectónicas que con otros sistemas, son costosas de conseguir.



Figura 6. Paneles de madera contralaminada.

#### Principios de funcionamiento estructural.

Como hemos mencionado el esquema de funcionamiento de la estructura es similar a los sistemas de entramado:

- Forjados y cubiertas. Los paneles trabajan a flexión con dirección principal en la dirección de las fibras de madera de las capas impares. Se pueden configurar, en función del ancho de los paneles y de los apoyos inferiores, para que trabaje bidireccionalmente.
- Muros. Trabajan principalmente a compresión. La configuración de los paneles permite que, se puedan mecanizar los huecos y se pueda formar el dintel con el propio panel, o en función del despiece de paneles, se use como cargadero.

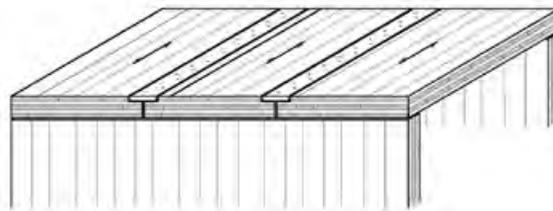


Figura 7. Ejemplo de funcionamiento de forjado.

Además, podemos hacer que los muros trabajen como vigas de gran canto, jugando con la dirección principal de las capas impares, permitiendo cambiar la dirección de los forjados de una planta a otra, conseguir que funcionen en voladizos o que se apoyen en elementos lineales en su planta inferior, dejando gran libertad al proyectista.

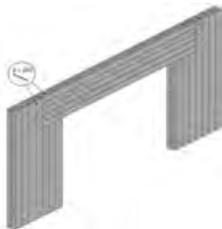


Figura 8. Ejemplo de cargadero integrado

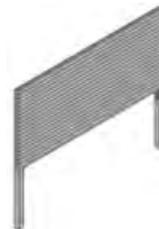


Figura 9. Ejemplo de muro trabajando como viga

### Principales características

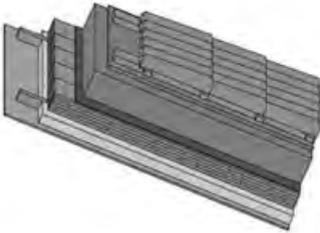
- Sistema eminentemente industrializado. Todos los paneles se despiezan en oficina técnica para su corte en control numérico y entrega en obra según orden de ejecución.
- Uso para construcción de en todo tipo de altura.
- Posibilidades de combinación con otros sistemas estructurales para optimizar el rendimiento de la estructura.
- Construcción en seco.
- Reducción de plazos de ejecución respecto a construcción tradicional.
- Permite la ejecución de elementos de la envolvente altamente eficientes con espesores finales muy ajustados.

Al igual que con los sistemas de entramado, pongo de manifiesto ejemplos de configuración de cerramientos de fachada y cubiertas, donde destaca la alta eficiencia energética con espesores ajustados:



Ejemplo de cerramiento con muro de madera contralaminada, con acabado en fachada ventilada, espesor total de 350 mm y una U inferior a 0,17 W/(m<sup>2</sup>K)]

Figura 10. Ejemplo de cerramiento de fachada.



Ejemplo de cubierta inclinada con estructura de madera contralaminada, con acabado en teja cerámica, espesor total de 450 mm y una U inferior a 0,13 W/(m<sup>2</sup>K)]

Figura 10. Ejemplo de cubierta inclinada.

### **3. COMPARATIVA DE SISTEMAS ESTRUCTURALES DE MADERA**

En la tabla 1, aparece una comparativa, centrada en la búsqueda del sistema adecuado, en función de variables de elección.

Tabla 1. Comparativa entre sistemas presentados.

	Entramado ligero	Contralaminado
Nº de plantas máximas recomendadas	Lo habitual es hasta una segunda altura, pero se pueden lograr de forma óptima hasta cuatro	Sin determinar. Hay proyectos de edificios que superan los 100 de altura.
Facilidad de ejecución	Ensamblado sencillo y trabajo con materiales básicos	Procedimientos sencillos de unión. Se deben prever los medios de elevación y trasiego adecuados.
Posibilidad de industrialización	Inicialmente no era su objetivo, ya hay industria especializada en fabricar paneles con este sistema constructivo	Sistema eminentemente industrializado
Capacidad estructural	Para las alturas máximas recomendadas, buena resistencia. Limitado en volúmenes estructurales complejos	Alta capacidad portante y de adaptación a proyectos complejos.
Flexibilidad en el diseño	Limitada por la sencillez de su uso	Adaptable a cualquier configuración arquitectónica
Aislamiento térmico	Integrado en los elementos. Gran capacidad de aislamiento.	Muy buena capacidad de aislamiento térmico que además aporta inercia térmica
Modificabilidad	Bajo supervisión y control de un técnico, por su sencillez es fácilmente modificable.	La estructura se comporta en su conjunto, permitiendo bajo control técnico su modificación posterior.
Compatibilidad con otros tipos de estructuras	Limitado en la ejecución de estructuras híbridas	Gran versatilidad para combinación con otros tipos de estructuras o con otros materiales

#### 4. CONTROL DE LA RECEPCIÓN Y EJECUCIÓN DE LA OBRA

El análisis completo de cómo realizar la dirección de ejecución de las obras con sistemas constructivos con madera es mucho más amplio que la extensión de esta comunicación. A pesar de ello, en los apartados siguientes se indicarán los aspectos clave de la misma.

##### 4.1 Entramado ligero de madera

- Recepción de materiales:
  - Elementos lineales de madera:
    - Comprobación en albaranes de suministro de especie, tipo y calidad de los elementos suministrados.
    - Comprobación de las secciones en obra.

- Certificados de origen legal de la madera (EUTR, FSC, PEFC).
- En caso de maderas tratadas, comprobación de la aplicación del tratamiento
- Tablero estructural.
  - Comprobación en albaranes de suministro de tipo de tablero.
  - Comprobación de las medidas, en especial el espesor.
  - Certificados de origen legal de la madera (EUTR, FSC, PEFC).
- Aislamientos.
  - Comprobación en albaranes de suministro de tipo de aislamiento, densidad y espesor.
  - Verificación en obra de espesor.
- Anclajes.
  - Verificación de calidad de acero, métrica, secciones y longitudes de elementos de anclaje.
- Otros: Control de albaranes de cintas de sellado y láminas de barreras de vapor, paravapores, impermeables o de estanqueidad.

En el caso de entramados industrializados, se deberá verificar el control de calidad en fábrica de estos elementos.

- Control de ejecución.
  - Marco estructural.
    - Nivelación de la base de apoyo.
    - Replanteo.
    - Colocación de barreras separadoras de humedad.
    - Fijaciones entre los elementos del marco.
    - Secciones correctas de los elementos del entramado.
    - Separación entre elementos.
    - Comprobación de elementos singulares como esquinas, rincones, encuentros y apertura de huecos.
    - Comprobación de la nivelación y planeidad del marco.
  - Relleno interior.
    - Espesor de aislamiento instalado.
    - Solapes entre las capas de aislamiento.
    - Relleno completo de la cámara.
  - Instalación de tableros
    - Tipología de tablero y su espesor.
    - Tipo de fijaciones usadas, separaciones entre ellas y separaciones a borde.
    - Verificación de instalaciones a matajunta.
    - Separaciones entre tableros para dilataciones.
    - Instalación de cinta de sellado: tipo y correcta fijación.
  - Otros.
    - Verificar los tipos de láminas instalados.
    - Correcta fijación al soporte
    - Solapes de juntas

## 4.2 Contralaminado

- Control previo.
  - Verificación de los planos de despiece y montaje.
  - Confirmación del programa de suministro: orden de transporte y fechas de entrega en obra.
- Recepción de materiales.
  - Paneles de madera contralaminada.
    - Verificación en albarán de correspondencia con programa de suministro.
    - Comprobación de medidas, espesores y calidad de caras acorde a lo previsto en proyecto.
    - Certificados de origen de la madera (EUTR, FSC, PEFC)
    - Verificación de tratamientos previstos.
  - Anclajes y materiales de sellado.
    - Verificación en albarán y en embalaje de tipo de anclaje, calidad del acero y dimensiones.
    - Comprobación de tipología de láminas y sellantes a utilizar.
- Control de ejecución.
  - Previo a la elevación.
    - Disposición de medios de elevación, cargas máximas de elevación de grúas.
    - Verificación de instalación de elementos de elevación en los paneles de contralaminado.
    - Replanteo de la ubicación de los muros, huecos, etc.
    - Verificar nivelación del elemento donde apoya.
  - Montaje.
    - Verificación de la instalación de láminas y sellantes. Tipo, longitudes y anchos acorde a proyecto
    - Comprobación del panel a instalar, así como los anclajes, durmientes, etc.
    - Fijación de anclajes: tipo de anclaje según proyecto, separaciones entre ellos y a borde de paneles.
    - Nivelación de paneles instalados.

## 5. CONCLUSIONES

La tecnología de la construcción de estructuras de madera ya es una realidad. La investigación en la caracterización de especies de madera, el desarrollo de madera tecnológica y el desarrollo de madera técnica estructural han hecho posible que sistemas como el entramado ligero de madera y los sistemas de madera contralaminada sean a día una realidad competitiva para construir las estructuras de nuestros edificios.

Los profesionales de la dirección de ejecución de obras tienen que ser conscientes de la realidad de estos sistemas constructivos con madera, conocerlas para realizar su trabajo de control de ejecución de las obras de forma adecuada.

Existe normativa en la que basarse para ello y bibliografía abundante al respecto para que conseguir cumplir con las obligaciones de su función.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Erol Karacabeyli & Brad Doubles (Eds). (2013). CLT Handbooks .Pointe-Claire, CQ: FPInnovations.
- DI Dr. Markus Wallner-Novak & DI Josef Koppelhuber & DI Kurt Pock (2014). Cross-Laminated Timber Structural. Vienna: proHOLZ Austria.
- José Enrique Peraza Sánchez & Francisco Arriaga Martitegui & Carmen Arriaga Martitegui & Marco Antonio González Álvarez & Fernando Peraza Sánchez & Miguel Angel Rodríguez Nevado (1995). Casas de Madera. Madrid: AITIM
- Solid Timber Construction Manual (2016) Austria: binderholz & British Gypsum Saint Gobain.
- Pliego de Condiciones AITIM. Accedido el 9 de abril de 2018 desde <http://infomadera.net/uplo>

ÁREA IV.

SEGURIDAD Y SALUD



## METODOLOGÍA PARA LA REDUCCIÓN DE RIESGOS QUÍMICOS EN LA INTERVENCIÓN DE ELEMENTOS ARQUITECTÓNICOS DE BRONCE

CANDÓN CARRASQUILLA, ANA<sup>1</sup>; MARTÍN-DEL-RIO, JUAN JESÚS<sup>2</sup>;  
ALEJANDRE-SÁNCHEZ, FCO. JAVIER<sup>3</sup>; FLORES-ALÉS, VICENTE<sup>4</sup>;  
PÉREZ FARGALLO, ALEXIS<sup>5</sup>

<sup>1</sup> ETSIE, Universidad de Sevilla, Sevilla, España

E-mail: [anacandoncarrasquilla@gmail.com](mailto:anacandoncarrasquilla@gmail.com), Web: <https://etsie.us.es/>

<sup>2</sup> ETSIE, Universidad de Sevilla, Sevilla, España

E-mail: [jjdelrio@us.es](mailto:jjdelrio@us.es), Web: [https://investigacion.us.es/sisius/sis\\_showpub.php?idpers=7674](https://investigacion.us.es/sisius/sis_showpub.php?idpers=7674)

<sup>3</sup> ETSIE, Universidad de Sevilla, Sevilla, España

E-mail: [falejan@us.es](mailto:falejan@us.es), Web: [https://investigacion.us.es/sisius/sis\\_showpub.php?idpers=4393](https://investigacion.us.es/sisius/sis_showpub.php?idpers=4393)

<sup>4</sup> ETSIE, Universidad de Sevilla, Sevilla, España

E-mail: [vflores@us.es](mailto:vflores@us.es), Web: [https://investigacion.us.es/sisius/sis\\_showpub.php?idpers=5258](https://investigacion.us.es/sisius/sis_showpub.php?idpers=5258)

<sup>5</sup> Universidad de Bio-Bio, Concepción, Chile

E-mail: [aperezf@ubiobio.cl](mailto:aperezf@ubiobio.cl), Web: [https://investigacion.us.es/sisius/sis\\_showpub.php?idpers=15962](https://investigacion.us.es/sisius/sis_showpub.php?idpers=15962)

**PALABRAS CLAVE:** riesgo químico higiénico, metodología, restauración, bronce.

### RESUMEN

El presente trabajo de investigación trata de evaluar los riesgos químicos a los que se ven expuestos los restauradores de bronce al tratar con agentes químicos peligrosos para su salud. Para conocer estos riesgos higiénicos derivados del empleo de productos químicos, se ha realizado el estudio de una muestra representativa de empresas españolas con una trayectoria de más de 10 años dedicados a la restauración, que pone a la vista las condiciones en las que se encuentran los trabajadores expuestos, con ello se identifican las sustancias y productos químicos más habituales en esta clase de intervenciones, se analizan los riesgos higiénicos por inhalación presentes en cualquier intervención de elementos de bronce y se

establece una jerarquización de las sustancias y productos químicos en base a los riesgos analizados, pudiendo así desarrollar una metodología para la reducción de los citados riesgos, proporcionando el aumento de la seguridad y salud en los procedimientos de trabajo.

## 1. INTRODUCCIÓN

La formación del bronce fue la innovación tecnológica en la metalurgia más relevante de la historia de la humanidad, siendo la primera aleación de importancia fabricada conscientemente por el hombre. La importancia de la creación de éste metal dio lugar a la Edad de Bronce, provocando nuevas bases de sustento de la sociedad, con cambios en la cultura material.

Es fácil encontrar elementos de bronce en los trabajos de restauración en la arquitectura, sobre todo, en elementos decorativos de la edificación. Por ello, es importante conocer la composición que tiene el material, en cada caso, para aplicar el tratamiento más correcto.

Desde la antigüedad, se ha utilizado el bronce como material escultórico ya que era conocida la durabilidad y resistencia de este elemento. Este material al igual que otros, puede estar expuesto a la intemperie, y a pesar de ser muy resistente, producirse corrosión en la superficie de las piezas, creando una pátina de distintas tonalidades dependiendo de los metales que conformen la aleación. Esta pátina es fácilmente detectable de forma visual debido a su coloración.

Se entiende por pátina, la película o capa delgada de cierta tonalidad, que se forma sobre las piezas o aleaciones de cobre por la acción de la luz y los agentes atmosféricos. Para que el elemento de bronce disponga de aspecto antiguo se desarrollan pátinas artificiales mediante la aplicación de soluciones químicas. La patinación se utiliza como método de decoración, pueden ser beneficiosas (pátinas estables) o perjudiciales (pátinas inestables). [1].

Las pátinas estables son aquellas que tras el proceso de corrosión protegen la superficie del elemento, estas se presenta en forma de cuprita o tenorita y es detectable visualmente al conceder un color rojizo, marrón oscuro o negro. Una pátina beneficiosa no debe ser retirada, ya que la repetida oxidación de superficies, causa una leve pérdida del metal. Las pátinas inestables se presentan en forma de sales de cloro (atacamita y paratacamita), que combinadas con el oxígeno y el agua, producen ácido clorhídrico. Son detectables como manchas de color verde pálido a azul verdoso, suaves y polvorientas sobre la superficie del bronce. Actúan sin cesar, hasta hacer desaparecer el objeto por corrosión.

La corrosión de los elementos metálicos se presenta desde el exterior hacia el interior del elemento. El objetivo de la restauración es detener la corrosión y aislar el elemento mediante películas protectoras que sellan la superficie protegiéndola del exterior. En las intervenciones de elementos de bronce se observan tres fases de actuación bien diferenciadas: limpieza mecánica, limpieza química donde se suelen utilizar agentes complejantes o quelantes, que eliminan la corrosión sin perjudicar la pátina estable que protege al material, y por último la aplicación de estabilizantes o inhibidores de la corrosión los cuales son sustancias químicas utilizadas para proteger la superficie limpia del bronce. [2].

Son estas dos últimas etapas en las que el presente trabajo de investigación se centrará para desarrollar una metodología que permita reducir los riesgos químicos que se derivan de las mismas, permitiendo intervenir de forma segura los elementos arquitectónicos de bronce, en función de los productos químicos empleados en cada uno de los trabajos.

La Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, determina el mínimo de garantías y responsabilidades necesarias para establecer un correcto nivel de protección de la salud de los trabajadores frente a los riesgos derivados de las condiciones de trabajo, siendo de inmediata necesidad, conocer los riesgos a los que se exponen los trabajadores, para así, poder protegerlos eficazmente y asegurar las mejores condiciones de salud en el trabajo.

Se ha decidido desarrollar la presente investigación considerando la gran importancia que tienen las condiciones de trabajo para la generación/desarrollo de accidentes de trabajo o enfermedades profesionales.

Es importante conocer que éstos accidentes derivados del trabajo, y en concreto, del trabajo con agentes químicos, existen en la actualidad y provocan más muertes de las que a simple vista podemos reconocer. *“La presencia, manipulación y transporte de productos químicos peligrosos en los lugares de trabajo es habitual en todos los sectores productivos. Desde el descubrimiento del fuego hasta nuestros días el hombre ha modificado las condiciones ambientales del medio que le rodea como consecuencia del trabajo, con la consiguiente generación de contaminantes. El desarrollo industrial ha propiciado un avance en el progreso técnico, la aparición de nuevas sustancias de síntesis y con ello nuevos riesgos. Muchos de los productos que se utilizan en los lugares de trabajo están clasificados como peligrosos para la salud, y son causa directa de la aparición de diversas enfermedades de origen ocupacional. Como dato revelador señalar que la Organización Internacional del Trabajo (OIT) estima que de los 2 millones de muertes laborales que se producen cada año en el mundo 440.000 se dan como resultado de la exposición de trabajadores a agentes químicos.”* [3].

## 2. OBJETIVOS

Se plantea como objetivo general de esta investigación, el de establecer una metodología de trabajo que permita la reducción de los riesgos higiénicos producidos por la exposición a agentes químicos derivados del trabajo de restauración y conservación de elementos de bronce.

Para intentar desarrollar esta metodología, es necesario el planteamiento de una serie de objetivos específicos:

- Identificar las sustancias y productos químicos a los que se enfrentan los restauradores, así como las condiciones de trabajo más habituales en esta clase de intervenciones, mediante la metodología de expertos Delphi.
- Analizar los riesgos higiénicos por inhalación a agentes químicos presentes en cualquier intervención de elementos de bronce producidos por las sustancias y productos químicos anteriormente identificados.
- Establecer una jerarquización de las sustancias y productos químicos presentes en las intervenciones en elementos arquitectónicos de bronce en base a los riesgos analizados.

### 3. METODOLOGÍA

La metodología seguida en la elaboración del presente trabajo para la consecución de los objetivos planteados, se ha desarrollado en una serie de etapas que se detallan a continuación.

#### 3.1 Definición del procedimiento de restauración de elementos de bronce

El tratamiento y limpieza de elementos arquitectónicos de bronce se realiza normalmente en tres fases: el tratamiento previo, la limpieza del objeto con la que se eliminarán los elementos químicos perjudiciales que produce la llamada ‘enfermedad del bronce’, sin alterar las pátinas estables. Por último, la estabilización de la superficie del metal que permita mantenerlo durante más tiempo, sin que se vea alterada por los productos originados en los procesos de corrosión. Los más utilizados para la conservación de los bronce monumentales son los que previenen las reacciones superficiales indeseables, generando una capa pasiva (superficie no-reactiva) basada en un complejo entre el inhibidor y el cobre.

#### 3.2 Realización de base de datos de empresas de restauración

Se desarrollará una base de datos en la que se contemplan 80 empresas de restauración españolas que tengan capacidad para la intervención en elementos de bronce.

#### 3.3 Descripción del procedimiento de expertos según la metodología Delphi

La método Delphi resulta de gran interés debido a que esta técnica ofrece un alto nivel de certeza en los resultados obtenidos. Se trata de un procedimiento prospectivo con estricta metodología, su fundamento es el análisis de las ideas respecto de un entorno limitado o un pequeño segmento de la sociedad, que son los expertos en un área de conocimiento (empresas de restauración en el caso de estudio), encaminado a la búsqueda de un consenso de opiniones.

La filosofía del Delphi intenta que el método de expertos extraiga los beneficios de la interacción directa y elimine sus inconvenientes.

El juicio de expertos es la opinión informada de personas con trayectorias en el tema, que son reconocidas por otros como expertos cualificados en éste, y que pueden dar información, evidencia, juicio y valoraciones. El objetivo de este juicio es realizar una aproximación al estado de la intervención de elementos de bronce y proponer un procedimiento para la realización de dichas intervenciones.

La encuesta se realiza de forma anónima, para evitar efectos de ‘líderes’. El objetivo de los cuestionarios es disminuir el espacio interactuar, precisando la mediana. La calidad de los resultados de la encuesta depende, sobre todo, del cuidado que se ponga en la elaboración del cuestionario y en la elección de los expertos consultados. Para la selección de los expertos mencionados, se ha tenido en cuenta: experiencia en realización y toma de decisiones en el entorno de la restauración, reputación en la comunidad en la empresa, disponibilidad y motivación por el tema tratado, imparcialidad y cualidades inherentes como confianza en sí mismo y adaptabilidad.

La cantidad de expertos se refiere al número de jueces que van a realizar la encuesta aunque siempre dependerá del nivel de experiencia y diversidad de conocimiento. Para la determinación de la cantidad, se toma en consideración los estudios realizados por diferentes autores [4],[5], que consideran apropiada la cantidad de 2 a 20 expertos. Para este trabajo de investigación se ha decidido que la cantidad de expertos sea 20 para proporcionar la mayor fiabilidad a los resultados que se obtengan, una vez alcanzado ese nivel de participación, se paralizará la encuesta, se procederá a la observación y evaluación de los resultados y se solicitará explicación a aquellos expertos que se hayan salido de la media.

### **3.4 Modelo de encuesta para la aplicación de la metodología Delphi**

El cuestionario realizado para posteriormente aplicarle la metodología Delphi constaba de 23 preguntas, divididas en tres bloques: cuestiones estadísticas, cuestiones laborales, cuestiones técnicas.

De las cuestiones planteadas se podrían destacar algunas: ¿cuáles son los tratamientos (productos químicos) que utiliza para la eliminación de sustancias agresivas (cloruros, sulfatos, etc.) de la superficie del elemento arquitectónico de bronce?, ¿cuáles son los tratamientos (productos químicos) que utiliza para la estabilización del elemento arquitectónico de bronce?, ¿qué EPIS de protección de las vías respiratorias utiliza durante la intervención de elementos de bronce?.

### **3.5 Evaluación de los datos obtenidos de la encuesta**

Como última parte de la metodología de este trabajo, se realizará el estudio de los resultados obtenidos de la encuesta.

En una primera parte, se mostrarán los datos estadísticos sobre el perfil de experto que ha participado, demostrando la elección determinada por la aplicación de la metodología Delphi, y las cuestiones laborales, a fin de conocer el estado en el que se encuentran los trabajadores con respecto a la función que desempeñan.

En la segunda parte, se tratará el bloque más interesante para este trabajo de investigación, correspondiente con las cuestiones técnicas. En ellas se pondrá a la vista, el estado de protección y seguridad en el que se encuentran los trabajadores de empresas españolas de restauración de elementos arquitectónicos de bronce, a través del empleo de sustancias y preparados químicos.

Como último paso, los resultados obtenidos se someterán al análisis mediante la aplicación del modelo británico COSHH Essentials que se recoge en las Notas Técnicas de Prevención 750, 935 y 936 [6],[7],[8], publicado por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

## **4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN**

De los datos obtenidos de la encuesta se extrae que el grupo de expertos es homogéneo, teniendo participación masculina y femenina, todos, con más de 10 años de experiencia en restauración. Existe variedad de edad, con un mínimo de 31 años. El 80% de los expertos disponen de titulación universitaria, siendo mayoritaria la licenciatura en Bellas Artes. Todos expresan un grado alto de satisfacción con el trabajo.

Los cargos que se desarrollan dentro de la empresa de los expertos varían pero sin afectar a los resultados, al mantenerse uniformes en los otros campos. Más del 50% de los encuestados se encuentra al máximo grado de satisfacción con el trabajo que desempeña, de igual forma, se encuentran con altos niveles de satisfacción, el horario laboral, el lugar de trabajo y el ambiente. Todos los encuestados consideran que su puesto de trabajo se encuentra adaptado a la formación que disponen.

En el 95% de las empresas se emplean compuestos químicos en la intervención de los elementos arquitectónicos de bronce y un 85% emplea productos químicos comerciales, de los que un 12% no dispone de ficha de datos de seguridad. El 85% de los expertos reconoce que se emplean productos químicos ‘‘ex profeso’’ y que en un 12% de los casos en los que se utilizan mezclas, no se sabe determinar su toxicidad/ peligrosidad.

El producto químico más empleado es el citrato de amonio ( $C_6H_{5+4y}Fe_xN_yO_7$ ) y el benzotriazol ( $C_6H_5N_3$ ). los menos empleados son el óxido de plata ( $Ag_2O$ ), ácido acético ( $C_2H_4O_2$ ), hidróxido de sodio (NaOH) y alcohol isopropílico ( $C_3H_8O$ ).

El 55% de los expertos son coincidentes en los tratamientos empleados, con la utilización de citrato de amonio ( $C_6H_{5+4y}Fe_xN_yO_7$ ) para la eliminación de sustancias agresivas y benzotriazol ( $C_6H_5N_3$ ) como inhibidor de la corrosión.

Prevalecen las intervenciones en espacios abiertos frente a los cerrados, en los que mayoritariamente se carece de ventilación. El 10% de las empresas no emplean equipos de protección individual para el aparato respiratorio, el 15% asegura no proteger los ojos y el 5% no utiliza equipos de protección individual para el contacto de la piel.

#### 4.1 Análisis de los compuestos químicos empleados en las intervenciones de elementos de bronce

Las llamadas frases ‘‘R’’ como abreviatura de ‘‘riesgo’’, anteriormente y las nuevas frases ‘‘H’’, como abreviatura de ‘‘Hazard’’, son imprescindibles para la identificación de los riesgos que pueden surgir durante la manipulación de agentes químicos peligrosos [9]. Se identificaron todas las frase ‘‘H’’ para cada uno de los productos y sustancias químicas empleadas en la fase de eliminación y en la fase de estabilización del bronce tal como se puede observar en la Tabla 1.

Tabla 1: Peligrosidad según frases R y H de los agentes químicos empleados en la estabilización.

Agentes químicos y mezclas empleadas en la estabilización del elemento arquitectónico de bronce	Nº CAS	FRASES H
Benzotriazol	95-14-7	H302, H319
Alcohol Isopropílico	67-63-0	H319, H336
Incralac/Sincralac es una mezcla de Benzotriazol y Metacrilato de metilo	95-14-7 80-62-6	H302, H319 H319, H333, H334, H335, H361, H372

## 4.2 Síntomas relacionados con la exposición a los agentes químicos presentes en la intervención de elementos de bronce

Comprender la información toxicológica y los síntomas que caracterizan la exposición a los distintos agentes químicos presentes en la intervención de elementos arquitectónicos de bronce es de considerable importancia, porque permitirá identificar en los trabajadores afectados y comenzar el tratamiento de forma temprana. Los pictogramas especificados son aquellos que aparecen en el etiquetado de los agentes químicos y tienen relación con los efectos adversos sobre la salud.

En la tabla 2, se muestra un modelo de ficha tal como se ha realizado con todos los productos químicos que se han utilizado en todas las fases de intervención.

## 4.3 Evaluación del riesgo por exposición inhalatoria de agentes químicos. Método Coshh Essentials

La evaluación de riesgos laborales es una obligación empresarial y una herramienta fundamental para la prevención de daños a la salud y la seguridad de los trabajadores. Su objetivo es identificar los peligros derivados de las condiciones de trabajo para eliminar los factores de riesgo que puedan suprimirse, evaluar los riesgos que no van a eliminarse inmediatamente, y planificar la adopción de medidas correctoras.

Tabla 2: Síntomas relacionados con la exposición a Inctalac.

Agente químico		INCRALAC
Pictograma		
	<b>Inhalación</b>	Sangrado de nariz, ulceración de las mucosas de nariz y boca, edema pulmonar, bronquitis crónica y neumonía.
<b>Exposición</b>	<b>Piel</b> <b>Ojos</b> <b>Ingestión</b>	Dolor, enrojecimiento, quemaduras cutáneas y ampollas. Irritación y ardor en los ojos. Salivación, sed intensa, dificultad para tragar, dolor y shock.

Para la evaluación del riesgo por exposición inhalatoria de agentes químicos se ha utilizado el método COSHH Essentials de evaluación cualitativa que se recoge en [6], [7] y [8].

En este apartado de la investigación por cada agente químico empleado, se ha tomado como duración del trabajo 450 minutos que se corresponden con 7,5 horas como valor efectivo de una jornada laboral de 8 horas. Además, la evaluación se ha realizado con la consideración de que las respuestas aportadas por los expertos en cuanto a la composición/dosificación final del producto aplicado es la empleada realmente, por lo que la aplicación

del método se ha desarrollado sobre algunos productos en estado puro, al ser la opción más desfavorable y situarse en este estudio del lado de la seguridad.

Tabla 3: Evaluación del riesgo por exposición inhalatoria de Inctalac.

Agente químico	Inctalac				
Descripción	Se trata de un producto químico comercializado compuesto por benzotriazol y metacrilato de metilo. Su aplicación es a pistola de una capa de laca de protección inctal 44 (5 kg).				
Duración	450 minutos				
Frases R	R32, R36, R20, R42, R37, R63, R48/23, R48/24, R48/25		Frases H	H302, H319, H333, H334, H335, H361, H372	
Tª ebullición	25°C		Tª trabajo	20°C	
Nº CAS	Estado	Peligrosidad	Capacidad de pasar al ambiente	Cantidad	Nivel de riesgo potencial
95-14-7	Líquido	E	Alta	Mediana	4
80-62-6					
Nivel de riesgo potencial fase 2			Inctalac		
Adoptar medidas específicamente diseñadas para el proceso en cuestión recurriendo al asesoramiento de un experto. Se requiere la evaluación cuantitativa de la exposición, así como extremar la frecuencia de la verificación periódica de la eficacia de las instalaciones de control.					

Como resultado, se ha obtenido una serie de tablas en las que se detalla el valor del nivel de riesgo potencial sobre una escala de 4 según [6], para cada uno de los agentes químicos así como la determinación de actuaciones relacionadas con el nivel obtenido. En la tabla 3, se puede observar el nivel de riesgo por exposición via inhalatoria del Inctalac.

#### 4.4 Recomendaciones en la elección de agentes químicos en base a los riesgos analizados para la restauración de elementos arquitectónicos de bronce

Para la jerarquización del nivel de prioridad en la elección de los agentes químicos a emplear, se han utilizado los siguientes criterios mediante un sistema de valoración de diseñada para esta nueva metodología, por el siguiente orden:

- Nivel de riesgo potencial de los agentes químicos.
- Síntomas relacionados con la exposición a los agentes químicos (valoración 1).
- Pictogramas de riesgo químico para la salud de los trabajadores presentes en el etiquetado de los agentes químicos (valoración 2).

El sistema de valoración desarrollado parte de la puntuación por nivel de riesgo potencial y los jerarquiza dentro de cada nivel con un sistema alfabético para la valoración 1 y 2, siendo A el valor más favorable y F el más perjudicial. El resultado de la aplicación de estos

criterios, conduce a jerarquizar un nivel de prioridad en la elección del producto químico en función de la aplicación conjunta de los criterios anteriormente descritos, cuyo resultado permite obtener un nivel de riesgo potencial, tal como se puede ver en la tabla 4 con los agentes empleados en la fase de estabilización.

Tabla 4: Orden de prioridad en la elección de agentes químicos empleados en la estabilización del elemento arquitectónico de bronce.

NIVEL DE PRIORIDAD EN LA ELECCIÓN	AGENTE QUÍMICO	VALORACIÓN FINAL	NIVEL DE RIESGO POTENCIAL
1	Benzotriazol al 3% en alcohol isopropílico (C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> N <sub>3</sub> ) (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O)	2AE	2
2	Incralac	4DF	4

## 5. CONCLUSIONES

Las empresas estudiadas disponen de una trayectoria de más de 10 años dedicados a la restauración. Algunas de las empresas de restauración no disponen de ficha de datos de seguridad de los productos químicos empleados, con lo que no son capaces de determinar su toxicidad y peligrosidad. La mayoría de las empresas aseguran que, en el desarrollo de trabajos en interior, se carece de ventilación mecánica. El 20%, no facilita información previa a los trabajadores al inicio de los trabajos sobre los riesgos a los que se encuentran expuestos. Los equipos de protección individual que se emplean, son mayoritariamente insuficientes para los productos químicos que se manipulan en este proceso y en algunos casos inexistentes.

El agente químico más empleado, para la eliminación de cloruros de la superficie de elementos de bronce, es el citrato de amonio, además de ser el más recomendado posee un nivel de riesgo potencial bajo. En cuanto a la fase de estabilización, el más empleado el benzotriazol, con una peligrosidad levemente superior al anterior.

El desarrollo y consecución de todos los objetivos propuestos, ha dado como consecuencia una metodología de trabajo que a continuación se detalla y que permitirá reducir los riesgos químicos en las intervenciones de elementos arquitectónicos de bronce.

1. Se elegirá el agente químico a emplear en cada fase en función de los criterios de nivel de riesgo, sintomatología y pictogramas de peligrosidad.
2. En cuanto a los espacios de trabajo: la zona de trabajo estará limpia e iluminada, aquellos que sean cerrados se dispondrá de un sistema de ventilación con extracción localizada y en los abiertos se acotará y protegerá la zona de trabajo.
3. El empresario deberá informar a los trabajadores sobre los riesgos químicos a los que se ven expuestos, especificados para cada agente químicos mediante sus FDS (Fichas de datos de seguridad).
4. Se deberán emplear las medidas de prevención y protección de las vías respiratorias,

la piel, los ojos y el aparato digestivo, para cada agente químico, de igual forma los trabajadores deberán realizar pausas en lugares de ventilación adecuada cada 45 minutos de trabajo.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Díaz Martínez, S., García Alonso E. (2010). *Técnicas Metodológicas aplicadas a la conservación-restauración del patrimonio metálico*. Madrid: Secretaria General Técnica Ministerio de Cultura.
- [2] Soler P. (2012, marzo 1). Protección del bronce. Retrieved from. <http://www.metisrestaura.com/elciddesevilla/tag/tratamiento-del-bronce/>.
- [3] Torregrosa López D.C. (2015). Los productos químicos peligrosos en los lugares de trabajo. Accedido el 3 de marzo, 2017. *Ibermutuamur* nº 274 [https://www.ibermutuamur.es/wp-content/uploads/2015/03/Productos\\_quimicos\\_peligrosos\\_en\\_lugares\\_trabajo.pdf](https://www.ibermutuamur.es/wp-content/uploads/2015/03/Productos_quimicos_peligrosos_en_lugares_trabajo.pdf).
- [4] Grant, J.S., Davis, L.L. (1997). Selection and use of content experts for instrument development. *Research in Nursing & Health* 20 (3). pp 269–274. doi: 10.1002/(SICI)1098-240X(199706)20:3<269::AID-NUR9>3.0.CO;2.
- [5] Lynn, M.R. (1986). Determination and Quantification Of Content Validity. *Nursing Research* 35 (6). pp 382-386.
- [6] NTP 750, (2006), Evaluación del riesgo por exposición inhalatoria de agentes químicos. Metodología simplificada. [http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/.NTP/Ficheros/701a750/ntp\\_750.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/.NTP/Ficheros/701a750/ntp_750.pdf). Accedido el 5 de enero, 2017.
- [7] NTP 925, (2011), Exposición simultánea a varios agentes químicos: criterios generales de evaluación del riesgo. <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/NTP/NTP/Ficheros/891a925/925w.pdf>. Accedido el 8 de febrero, 2017
- [8] NTP 936, (2012), Agentes químicos: evaluación cualitativa y simplificada del riesgo por inhalación (II). Modelo COSHH Essentials. <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/NTP/NTP/926a937/936w.pdf>. Accedido el 8 de febrero, 2017.
- [9] Reglamento (CE) nº 1272 (2008). Clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas, y por el que se modifican y derogan las Directivas 67/548/CEE y 1999/45/CE y se modifica el Reglamento (CE) nº 1907/2006. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2008-82637>. Accedido el 3 de marzo, 2017.

## MODELO PREVENTIVO EN LAS OBRAS DE CONSTRUCCIÓN

MANFREDI SALADO, JUAN JOSÉ

*Liberal, 1, España*

*E-mail: aparejadorpilas@gmail.com, Web: www.juanjosemanfredisalado.es*

**PALABRAS CLAVE:** “GESTIÓN”, “PREVENCIÓN”, “OBRA”, “CONSTRUCCIÓN”.

### RESUMEN

La Ley de Prevención de Riesgos Laborales establece el ámbito formal y subjetivo de la actividad preventiva de las empresas. En el ámbito formal, la documentación preventiva se centra en el plan de prevención de riesgos laborales, que integra la evaluación de riesgos y la planificación de la actividad preventiva. El Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción, añade otros dos documentos preventivos, el estudio de seguridad y salud y el plan de seguridad y salud. En el ámbito subjetivo, de forma similar, ambas disposiciones legales establecen los operadores jurídicos, entendidos como aquellas personas físicas, o jurídicas, que ostentan facultades preventivas. Así las cosas, en las obras de construcción concurren tanto documentos como agentes que, como norma general, no sucede en otras actividades más homogéneas. Esta concurrencia no siempre se produce de la forma que cada norma ha pretendido, planteándose desde el principio conflictos en el ejercicio de funciones, bien por la reserva de los agentes bien por falta de cultura preventiva. En el fondo del conflicto subyace el desconocimiento de la interrelación objetiva entre documentos y agentes, por lo que se hace necesario establecer un modelo que, aglutinando documentos y agentes, muestre de forma clara y objetiva el conjunto de acciones preventivas que deben observarse en las obras de construcción. El modelo presentado surge del análisis de cada uno de los

documentos y agentes, estableciendo criterios clarificadores en su ámbito y objetivos, y a su vez, señalando tanto los que resultan innecesarios como aquellos otros que deben ser incorporados al modelo, refiriéndose de forma expresa los argumentos que lo sustentan.

## METODOLOGÍA

La metodología utilizada se fundamenta en la comparación de los contenidos que se recogen en las normas jurídicas y otros documentos no legislativos sobre documentación preventiva de las obras de construcción. En la selección y ordenación de los temas tratados priman el conocimiento, la formación y la experiencia en seguridad y salud adquirido por el autor, de donde se extrapolan los planteamientos, los comentarios y las propuestas que se exponen. Al tratarse de un trabajo bibliográfico, se han utilizado bases de datos para recabar información, en particular Scopus, Dialnet y Google Académico, si bien de manera preferente Fama, de la Universidad de Sevilla, que incorpora las referidas y algunas más.

## 1. INTRODUCCIÓN

Hace dos años se conmemoró los veinte aniversarios de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales [1] que se acompañó de multitud de publicaciones que proclamaban propuestas de mejoras. En dos mil diecisiete también se conmemoraron los veinte aniversarios de la publicación del Real Decreto 1627/1997 sobre obras de construcción [2], pero en este caso sin trascendencia mediática. Se califica de mediática dado que, todas aquellas propuestas referidas a la Ley, no han tenido eco alguno, y hoy forman parte de la historia de la intangible regulación sobre Prevención de Riesgos Laborales.

El sistema implantado por la Ley de Prevención de Riesgos Laborales es de carácter formalista, que nos conduce a concebir el documento elaborado, aprobado y sancionado como el mejor garante del cumplimiento de las imposiciones legales. La Ley 54/2003 de reforma del marco normativo de la prevención de riesgos laborales [3] supuso el reconocimiento de la falta de eficacia y efectividad del sistema formalista, incentivando la participación, incluso aumentando su número, de los agentes con funciones preventivistas. Si el sistema establecido no ha conseguido alcanzar los resultados deseados en los índices de siniestralidad, alguna causa habrá de tener en su carácter formalista.

El modelo formalista vigente, derivado de la Ley 54/2003 referida, se centra en el Plan de Prevención de Riesgos Laborales. Es obligatorio para cualquier empresa. Puede resultar suficiente para las pequeñas empresas, sobre todo aquellas cuyo producto final es seriado y se produce en instalaciones fijas. El preámbulo de la referida Ley denominó esa nueva configuración como *nuevo modelo preventivo*, y la Guía Técnica para la integración [4], se encargó de justificar su oportunidad. En las obras de construcción, aun cuando quedan sometidas a los mismos requisitos formalistas, la cuestión es más compleja, pues han de considerarse otros dos documentos, el estudio (básico) y el plan de seguridad y salud. Si al aumento de documentos formales añadimos el aumento de agentes con funciones preventivistas que concurren en la actividad constructora, no resulta vano establecer que en las obras de construcción el modelo preventivo es más complejo que en otras actividades.

Una reducción de los documentos formales y del número de agentes intervinientes con funciones preventivas, junto a una correcta delimitación del alcance y contenido de los primeros, y de las funciones de los segundos, junto a sistematización de la integración de la

actividad preventiva, redundará en la eficacia y efectividad de la protección de los trabajadores y en la mejora de los índices de siniestralidad.

## 2. LOS RIESGOS EN LAS OBRAS DE CONSTRUCCIÓN

El artículo 2.a) de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales obliga a todas las empresas a realizar la evaluación inicial de los riesgos para la seguridad y salud de los trabajadores. A tal efecto, deberán tenerse presente, con carácter general, la naturaleza de la actividad, las características de los puestos de trabajo y de los trabajadores que puedan desempeñarlos, extendiéndose a la elección de los equipos de trabajo y de las sustancias y preparados químicos, así como el acondicionamiento de los lugares de trabajo. La evaluación inicial forma parte del Plan de Prevención de Riesgos Laborales.

En las obras de construcción, la remisión a la evaluación inicial de los riesgos lo será a la actividad de la empresa constructora, y abarcará todas aquellas unidades de las obras que se deban ejecutar. Los riesgos de cada una de ellas, entendidas como el conjunto de un determinado proceso constructivo, deberán ser objeto del Plan de Prevención de Riesgos Laborales. Así, por ejemplo, en el procedimiento de transporte interior de materiales por medio de una grúa torre, dicho Plan de Prevención deberá establecer los riesgos que se derivan de las operaciones de montaje, desmontaje y mantenimiento, y los que corresponderían al gruísta en el ejercicio de su labor, sin perjuicio de otros riesgos relacionados con posibles incidencias o concurrencia de trabajos dentro de su área de acción, entre otros. Las medidas preventivas que corresponderían tomar serían exclusivamente obligación del empresario constructor. Estos riesgos son, por tanto, propios de la actividad constructora.

El apartado 3 del artículo 7 sobre el Plan de Seguridad y Salud en el Trabajo del Reglamento de obras, establece que *“En relación con los puestos de trabajo en la obra, el plan de seguridad y salud en el trabajo ...()... constituye el instrumento básico de ordenación de las actividades de identificación y, en su caso, evaluación de los riesgos ...()... a que se refiere el capítulo II del Real Decreto por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención”*. El capítulo II del Reglamento de los Servicios de Prevención refiere la evaluación de los riesgos. Del tenor literal puede desprenderse que existe una duplicidad, pues, si la evaluación de los riesgos ya existe en el Plan de Prevención de Riesgos Laborales, no sería necesario volver a su evaluación en el Plan de Seguridad y salud.

La explicación se puede encontrar en el apartado 1 del mismo artículo, al establecer que *“...cada contratista elaborará un plan de seguridad y salud en el trabajo en el que se analicen, estudien, desarrollen y complementen las previsiones contenidas en el estudio o estudio básico, en función de su propio sistema de ejecución de obras.”*. Las previsiones contenidas en el estudio (básico) de seguridad y salud deben incluir, en referencia al párrafo tercero del apartado 2.a) del artículo 5 sobre el Estudio de Seguridad y Salud, *“En la elaboración de la memoria habrán de tenerse en cuenta las condiciones del entorno en que se realice la obra, así como la tipología y características de los materiales y elementos que hayan de utilizarse, determinación del proceso constructivo y orden de ejecución de los trabajos.”*

RIESGOS EN LA ACTIVIDAD CONSTRUCTORA		
ASIGNACION DE ACTIVIDADES	TIPOS DE RIESGOS	
	ACTIVIDAD EMPRESARIAL	PROPIOS DE LA OBRA
EVALUACION	SERVICIO DE PREVENION	COORDINADOR Sys
IMPLANTACION	EMPRESARIO CONSTRUCTOR	EMPRESARIO CONSTRUCTOR
SUPERVISION	EMPRESARIO CONSTRUCTOR	COORDINADOR Sys
CONTROL	EMPRESARIO CONSTRUCTOR	COORDINADOR Sys

Figura 1. Riesgos en la actividad constructora.

Por riesgos propios de la obra debe entenderse aquellos que conoce el proyectista o coordinador en fase de proyecto, y transmite a través del estudio (básico) de seguridad y salud al empresario constructor para que este los considere y de respuesta preventiva a los mismos. Entre ellos se pueden citar los riesgos que pudieran derivarse de las características del terreno, de la organización interna de la obra, de su entorno, de las condiciones meteorológicas adversas, localización de residuos, y principalmente los de concurrencia de actividades o coordinación de actividades. Siguiendo con el ejemplo anterior, serían riesgos de la propia obra los que pudieran derivarse de las características mecánicas del suelo, de su ubicación, interferencias con otros equipos y de coordinación con otras actividades dentro de su radio de acción. Su evaluación corresponde al contratista dentro del Plan de Seguridad y Salud, conforme al estudio (básico) de seguridad y salud, y a diferencia de los riesgos de la actividad empresarial que son supervisados por su Servicio de Prevención, los riesgos propios de la obra serían supervisados por el coordinador en fase de ejecución de obras, técnico que debe conocer estos pero aquellos.

La consideración de ambos tipos de riesgos, los de la actividad empresarial y los propios de la obra, supone varias ventajas y repercutiría en la mejora de la prevención en las obras de construcción:

a) Acercamiento con los contenidos que la Directiva de Obras [5] establecen para el Plan de Seguridad y Salud, que limita su contenido “... *las normas aplicables a dicha obra*”, sin entrar en evaluaciones de riesgo. La Guía de Buenas Prácticas elaborada por la Comisión Europea [6] alude en todo momento a los riesgos propios de la obra en los términos definidos.

b) Delimitación de las funciones del Coordinador de Seguridad y Salud en fase de Ejecución de Obras, con el alcance de su responsabilidad, quedando ajeno a los accidentes derivados de los riesgos de la actividad empresarial, cuyo control corresponde en todo caso al empresario.

c) Determinación del nexo de unión entre el Plan de Prevención de Riesgos Laborales y el Plan de Seguridad y Salud, concretando el alcance y contenido de cada uno de ellos.

d) Fortalecer la integración de la actividad preventiva en los procesos constructivos que el empresario constructor tenga implantado, sin que se vean alterados por otros documentos o sujetos externos a la propia empresa, vulnerándose los criterios de unidad de sistema y unidad de participantes [7]

### 3. LOS CONFLICTOS FORMALES EN LAS OBRAS DE CONSTRUCCIÓN

La garantía de la seguridad y salud de los trabajadores radica en la correcta integración de la actividad preventiva en el sistema general de gestión de la empresa, tanto en el conjunto de sus actividades como en todos los niveles. Así lo estableció el legislador en el artículo 16.1 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales después de verificar que con la mera formalidad documental, es decir elaborar el conjunto de documentos preventivos sin proceder a una correcta implantación que asegurase su eficacia y eficiencia, no se alcanzaban los objetivos previstos. La solución aportada por el legislador fue más formalidad, más documentos, y más agentes intervinientes. El aumento de documentos y del número de agentes no beneficia la integración de la prevención en el proceso constructivo.

El estudio básico de seguridad y salud debe considerarse su validez como documento preventivo. Se vienen elaborando como una relación de riesgos, no de la propia obra, sino a los de la actividad empresarial, incluso se siguen redactando en formato check-list. No aportan nada ni a la prevención ni a la evaluación de los riesgos propios de la obra, resultando nulos y por tanto debe prescindirse de ellos. Para prescindir del estudio básico de seguridad y salud, no se requiere modificación alguna del marco normativo actual, pues nada impide que los agentes intervinientes, en virtud de una más efectiva prevención e integración de los riesgos presentes, decidan elaborar un estudio en lugar del formato básico. La disciplina de los profesionales cualificados que deben gestionar la prevención e integración de la actividad preventiva de una actividad de carácter peligroso (Anexo I del RD 39/1997 en relación con el art. 16.2 de la LPRL) exige tener presente circunstancias que van más allá de lo que puede aportar un estudio básico con contenido ajustado a lo establecido en la norma.

La forma de elección entre el formato normal y el básico del estudio de seguridad y salud, en función de parámetros de base económica, sin referencia alguna a la gravedad de los riesgos, hace presagiar que tales criterios son erróneos. Se aboga por anular esos criterios, y dado que la actividad constructora está considerada como peligrosa conforme al Anexo I del Reglamento de los Servicios de Prevención, sólo será admisible el estudio de seguridad y salud en su formato normal. Se aboga, por tanto, en el estudio como único documento, fundamentándose en la consideración de la construcción como actividad peligrosa, eliminando la tradicional distinción obra pequeña/estudio básico y obra grande/estudio, pues esta distinción no tiene razón de ser desde el punto de vista preventivo, dado que la presencia de riesgos peligrosos no se relaciona de forma directa con el presupuesto ni con el número de trabajadores.

En relación con lo anterior toda obra de construcción está considerada como actividad peligrosa, y ante la inexistencia de plan de seguridad y salud en obras que no es necesario la elaboración del proyecto, sería conveniente que existiera un documento preventivo con el alcance del plan de seguridad y salud. La solución que propone a este supuesto las Directivas Básicas para la Integración en las obras de construcción [8], consistente en la elaboración de un "*documento de gestión preventiva de la obra*", elaborado por el propio contratista, en base a su plan de prevención de riesgos laborales, parece extender el aspecto formal, y no considera la peligrosidad de los riesgos que pueden concurrir en la obra.

La integración de la actividad preventiva en las obras de construcción presenta, desde el aspecto formal, una serie de inconvenientes que deben ser considerados. En primer lugar, ni la Directiva de obras y el Reglamento de obras delimitan el punto de conexión entre el plan de prevención de riesgos laborales y el plan de seguridad y salud, dejando sin resolver cómo

se debe actuar en caso de conflicto entre ambos (piénsese que ambos documentos puede ser modificados durante la fase de ejecución por cuestiones de necesidad). En segundo lugar, en las obras de construcción el documento preventivo por excelencia es el plan de seguridad y salud, si bien las estadísticas muestran que la mayoría de los accidentes de trabajo (excluidos los mortales), tienen su origen en la actividad empresarial, y no en los riesgos propios de la obra. En tercer lugar, el contenido de los documentos preventivos en las obras de construcción no han quedado bien delimitado, tanto el artículo 16.1 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, como el 5.1.a) del Reglamento de obras, refieren la identificación de los riesgos en los procedimientos, equipos y medios auxiliares, lo que parece una duplicidad, pues todos deben de estar evaluados en el plan de prevención de riesgos laborales y, además, no resulta apropiado que el autor de estudio (básico) de seguridad y salud identifique riesgos propios de la actividad empresarial sin ni siquiera tener conocimiento directo de los mismos. En tal sentido, se propone una redelimitación del alcance y contenido del plan de seguridad y salud.

#### 4. LOS CONFLICTOS EN LOS SUJETOS DE LAS OBRAS DE CONSTRUCCIÓN

Si se analiza desde la perspectiva de la integración de la actividad preventiva el número de sujetos con posibilidad legal de intervenir en una obra de construcción, su resultado resulta excesivo con respecto a otras actividades y sectores, como las de producto final seriado producido en instalaciones fijas. Los criterios para la aplicación de la integración aconsejan el menor número posible de sujetos a efectos de la no dispersión y homogeneidad de las acciones, así como la concentración en las funciones y responsabilidades conforme a la estructura organizativa de la empresa.

La primera cuestión que se debe abordar es el papel del empresario, sujeto sobre el que se hace recaer el deber de protección de los trabajadores. Así lo establece tanto la Directiva Marco [9] como la Ley de Prevención de Riesgos Laborales. La Directiva de obras, refiere a la *propiedad*, identificándola con el promotor del Reglamento de obras, pero con una diferencia sustancial, pues aquella hace recaer toda la acción de la actividad preventiva sobre la *propiedad*, y está la traslada al contratista, empresario de la construcción, los deberes preventivos de protección de los trabajadores con la consideración de empresario a efectos de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales. Lo que subyace es una liberación de la responsabilidad preventiva al promotor, aun cuando es el sujeto que tiene la capacidad contractual, es decir de dirección última en la determinación del alcance y contenido de la prevención, y no se le puede eximir de su deber “*in eligendo*” e “*in vigilando*”. Como ejemplo representativo se puede referir las mejoras que se establecen en los contratos públicos por baja siniestralidad o no admitir la baja en el capítulo de seguridad y salud. Por tanto, se debe potenciar la participación del promotor.

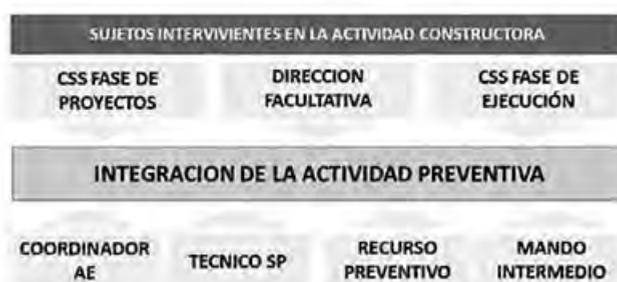


Figura 2. Sujetos intervinientes en la actividad constructora.

La necesidad de recurrir a un servicio de prevención ajeno es inevitable en la mayoría de las empresas constructoras, ineludible si la referencia se realiza sobre la pequeña y mediana empresa. Es lo que se ha llamado *externalización de la prevención* y poco aporta a la integración de la actividad preventiva, para que esta resulte eficaz y eficiente resulta necesario que se realice desde dentro de la empresa y no desde fuera. Aparte de las críticas vertidas sobre los servicios de prevención ajeno por limitarse al aspecto meramente formal y evitar, con el beneplácito económico del empresario, las actividades de implantación y control, lo cierto es que se debería potenciar su papel, y si fuera así, podrían asumir las funciones de los recursos preventivos, con la seguridad de realizarse con personal formado y capaz, pues la formación y capacidad de aquellos no se ha determinado por ahora.

La formación en prevención de riesgos laborales de los técnicos se debe de poner en duda [10] pero no su capacidad para la elaboración de los estudios (básicos) de seguridad y salud conforme a nuestro actual sistema de atribuciones profesionales. Si un técnico redactor está capacitado, o debe estarlo, para establecer la estructura de un determinado edificio, por muy compleja que resulte, por analogía se le debería reconocer capacidad para elaborar el estudio, y no limitar la misma por el mero hecho que exista más de un proyectista. Partimos de la hipótesis que el proyectista con formación preventiva suficiente es el sujeto ideal para elaborar el estudio, por encima de cualquier coordinador de seguridad y salud en fase de proyecto. No es más que una reticencia de las atribuciones profesionales. Lo que resulta para el modelo que se presenta, que dicho coordinador es sustituible.

Por el contrario, se considera imprescindible la figura del coordinador en fase de ejecución de obras. Es fundamental su intervención en los riesgos propios de la obra, si bien las funciones que se le asignan en el artículo 9 del Reglamento de obras, a las que se les debe añadir la obligación derivada de la Disposición Adicional Primera del Real Decreto 171/2004, de 30 de enero [11], sobre el deber de impartir instrucciones -que corresponden al empresario- para el supuesto de coordinación de actividades empresariales. El título del artículo las califica como obligaciones y se pueden agrupar en tres bloques:

a) Obligaciones superfluas. Como la adopción de medidas necesarias para que sólo las personas autorizadas puedan acceder a la obra (apartado f), misión que corresponde al contratista principal.

b) Obligaciones mal delegadas. En cuanto que son propias del contratista, como las acciones y funciones de control de los métodos de trabajo (apartado e) o velar para que se apliquen de manera coherente y responsable los principios de la actividad preventiva (apartado b).

c) Obligaciones propias. Todas las restantes, sí tienen un componente sustancial que requieren la intervención de un técnico especializado que realice funciones de coordinación. Su función principal es la aprobación del plan de seguridad y salud.

## **5. PROPUESTA DE MODELO PREVENTIVO EN LAS OBRAS DE CONSTRUCCIÓN**

El modelo que se propone unifica las ventajas de los modelos nacionales y comunitarios, si bien es necesario introducir otro elemento que se considera esencial en el proceso de la integración de la actividad preventiva en las obras de construcción, y que se relaciona con el promotor.

### **5.1. Fase de elaboración del proyecto**

a) Corresponde al promotor designar al técnico proyectista que debe elaborar el estudio de seguridad y salud, y recibir el mismo. Asume la responsabilidad “*in eligendo*” y el deber de facilitar cuando documentos o datos sean necesarios (por ejemplo, el estudio geotécnico del terreno). El promotor tendría la opción de solicitar un informe de tercero sobre la idoneidad de dicho documento.

b) Corresponde al técnico proyectista redactor del proyecto la elaboración del estudio de seguridad y salud, que tendría las siguientes notas características:

b.1.) No se admitiría en formato básico.

b.2) Se incluiría como un documento más del proyecto de proyecto de obras.

b.3) Su contenido alcanzaría a identificar los factores de riesgos propios de la obra: condiciones del suelo, del entorno, organización de la obra y del proceso constructivo, con referencia a los riesgos que de ellos se derive, así como la forma particular que ha aplicarse los principios aplicables al proyecto de obras que se refieren en el artículo 8 del Reglamento de obras.

b.4) Para facilitar que el contratista pueda analizar, estudiar, desarrollar y completar sus previsiones (artículo 7.1 Reglamento de obras), tendría formato de pliego de condiciones, dejando para el plan de seguridad y salud la justificación de cuantos requisitos se exijan.

b.5) No es necesario el coordinador de seguridad y salud en fase de proyecto, pues al proyectista se le supone, como técnico competente, formación adecuada en seguridad y salud, y en caso de diversos proyectistas, bastaría que todos asumieran ese pliego de seguridad de forma consensuada. Nada impide que si así lo consideran conveniente los proyectistas, se pueda nombrar tal figura.

### **5.2. Fase de oferta y adjudicación de obras**

a) El pliego de seguridad formaría parte de la documentación de la oferta.

b) El contratista deberá proponer y valorar las soluciones concretas adaptadas a su propio sistema de ejecución de obras, lo que permitirá verificar la idoneidad de las mismas y la capacidad de poder ejecutarlas. Se admitirían soluciones alternativas que deberían valorarse. A su vez, deberá declarar si va a concurrir a la obra con subcontratistas y debería asesorarse de su servicio de prevención propio o ajeno.

c) El proyectista asesoraría en esta fase tanto al promotor como al contratista y elabora-

ría un informe sobre la idoneidad y capacidad de las soluciones propuestas al promotor, a efectos de que tuviera conocimiento exacto de la situación final sobre la seguridad y salud que se va a implantar en su obra. Sería similar al antiguo análisis del estudio de seguridad y salud que se exigía por los Colegios de Aparejadores y Arquitectos Técnicos antes de la entrada en vigor del Real Decreto 1627/1997.

### **5.3. Fase de elaboración del plan de seguridad y salud**

a) Antes del inicio de la obra, el contratista elaborará el plan de seguridad y salud atendiendo al pliego de seguridad y de las propuestas efectuadas en la oferta.

b) El plan de seguridad y salud comprende el desarrollo de los requisitos establecidos en el pliego de seguridad en relación a los riesgos propios de la obra. Contendrá todos los aspectos relevantes en relación con la organización de la obra, la previsión de subcontratas, duración, la planificación de los trabajos y la coordinación de actividades empresariales.

c) Formará parte inseparable de la documentación preventiva la obra el plan de prevención de riesgos laborales de la empresa contratista en relación a los riesgos de la actividad empresarial. El contratista deberá declarar ante el promotor que se han analizado, evaluado y cuenta con los medios de protección adecuados para todos aquellos riesgos que se han previsto para la obra en cuestión.

d) En las obras de escasa entidad, entendidas como aquellas donde no concurren riesgos de especial peligrosidad, y los procesos de trabajo sean de alcance muy limitado, no sería necesario.

### **5.4. Fase de ejecución**

a) El promotor nombrará un coordinador de seguridad y salud durante la ejecución de la obra. El coordinador atenderá a las siguientes circunstancias:

a.1) Su presencia lo será como técnico integrado en la Dirección Facultativa. Debería poseer competencias exclusivas –sería incompatible con la función de Director de obra o de Ejecución de la obra- [12], y debería poseer formación adecuada en prevención de riesgos laborales, no bastando sólo el título habilitante. Podrá asumir este el nombramiento con carácter pleno, no sólo las funciones, sino manteniendo el título habilitante, la Dirección Facultativa cuando sólo concorra un contratista.

a.2) Sería necesario en todas las obras que requirieran plan de seguridad y salud, se diera o no concurrencia de contratistas, y con independencia de cualquier parámetro o límite de tipo económico-productivo, sólo primaría la gravedad de los riesgos que conlleva cualquier obra de construcción.

a.3) Sus funciones se centrarían sobre los riesgos propios de la obra. Aprobaría el plan de seguridad y salud y le corresponderían las obligaciones que se ha referido con anterioridad como propias, pasando las demás, es decir las calificadas como superfluas y mal delegadas, al contratista.

b) Los riesgos de la actividad empresarial recaerían sobre el contratista en torno al recurso preventivo, de carácter obligatorio en todas las obras a las que se le exija plan de seguridad y salud. En todo caso, el recurso preventivo, deberá ostentar el título universitario habilitante, técnico superior en prevención de riesgos laborales o pertenecer al servicio de prevención propio o ajeno con el que el contratista tenga concertada su actividad preventiva. Se refuerza el papel del servicio de prevención ajeno.

### **5.5. Fase de mantenimiento**

A la finalización de la obra, el contratista debe entregar al promotor las instrucciones y demás medidas que se han previsto para la realización de los trabajos de mantenimiento. Se integrarán en el Libro del Edificio que se refiere en la Ley de Ordenación de la Edificación.

## **6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Veinte años de aplicación del Real Decreto 1627/1997 han puesto de manifiesto que es necesario proceder a la mejora de algunos de sus contenidos. Las demandas y las necesidades han cambiado, y se han detectado circunstancias que resultan mejorables. Se ha propuesto un modelo preventivo para las obras de construcción que no afecta de forma esencial al marco legal implantado, aunque sí sería deseable su modificación. El modelo propuesto se adapta a la situación actual.

En relación al aspecto formal, se propone por prescindir del estudio básico de seguridad y salud, dejando al estudio como único documento en relación a los riesgos propios de la obra, con ciertas modificaciones en su contenido y formato, denominándose el nuevo documento como pliego de seguridad. Los sujetos intervinientes también son objeto de reconversión en sus funciones. Se opta por una mayor responsabilidad del promotor, participe indiscutible que el actual sistema mantiene al margen. Se mantiene la innecesidad del coordinador de seguridad y salud en fase de elaboración del proyecto y se redelimitan las funciones del coordinador de seguridad y salud en fase de ejecución de obras.

Se aclara la conexión entre el plan de prevención de riesgos laborales, de la actividad empresarial, y el plan de seguridad y salud, de los riesgos propios de la obra. Se refuerza el papel de los servicios de prevención ajenos, se considera su potencial preventivo y se refuerza la externalización de la prevención.

El modelo que se presenta propone diversas mejoras, resultando respetuoso con el marco normativo actual, si bien sería ideal la modificación del mismo, que se reclama por los especialistas en la materia y por los mismos agentes sociales (Proposición no de Ley del Grupo Parlamentario Socialista de 7/4/2016 sobre mejora en la integración de la actividad preventiva). Cabría preguntarse si el modelo propuesto supone una reducción del nivel de seguridad actual, y debe descartarse la misma, por cuanto no se debe presuponer reducción alguna si lo que se mejora se fundamenta en una proactividad de la integración, en la adecuación y claridad de los contenidos de los documentos preventivos y en la adecuada formación y competencias de los agentes intervinientes. Además, aunque las mejoras se refieren al marco normativo nacional, en ningún caso se reparan del marco normativo comunitario.

## **7. CONCLUSIONES**

El actual modelo preventivo de las obras de construcción establecido por el Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción, tras veinte años de experiencia, requiere mejoras enfocadas a una aplicación más práctica y real, acorde con el momento. Se presenta una propuesta de modelo preventivo que da solución a los conflictos referidos en el texto, resultando más fácil de aplicar dado que reduce su aspecto formal y de los sujetos intervinientes, redelimitando las funciones de estos últimos conforme a los criterios que se demandan.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS (Y CITAS EN EL TEXTO)**

- [1] Cortes Generales (1995). Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales. Boletín Oficial del Estado, nº 269. España.
- [2] Cortes Generales (1997). Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en obras de construcción. Boletín Oficial del Estado nº 256.
- [3] Jefatura del Estado (2003). Ley 54/2003 de reforma del marco normativo de la prevención de riesgos laborales. Boletín Oficial del Estado, nº 298. España.
- [4] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (2009). Guía técnica para la integración de la prevención de riesgos laborales en el sistema general de prevención de la empresa. Madrid.
- [5] Consejo de las Comunidades Europeas (1992). Directiva 92/57/CEE del consejo, de 24 de junio de 1992, relativa a las disposiciones mínimas de seguridad y de salud que deben aplicarse en las obras de construcción temporales o móviles (octava Directiva específica con arreglo al apartado 1 del artículo 16 de la Directiva 89/391/CEE). Diario Oficial de las Comunidades Europeas, nº L 245, de 26 de agosto de 1992. Comunidad Económica Europea.
- [6] Comisión Europea (2010). Guía de buenas prácticas de carácter no obligatorio para el entendimiento y la aplicación de la Directiva 92/57/CEE “Obras de construcción”. Bruselas.
- [7] Véase la comunicación “La integración de la prevención de riesgos laborales en las obras de construcción” presentada por este mismo autor en esta Convención.
- [8] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (2014). Directivas básicas para la integración de la prevención de los riesgos laborales en las obras de construcción. Madrid
- [9] Consejo de las Comunidades Europeas (1989). Directiva del Consejo de 12 de junio de 1989 relativa a la aplicación de medidas para promover la mejora de la seguridad y de la salud de los trabajadores en el trabajo (89/391/CEE). Diario Oficial de la Comunidad Europea L 183. Bruselas.
- [10] Martínez Montesinos, F. J. (2017). Estudio de la figura del coordinador de seguridad y salud durante la ejecución de la obra en España. Tesis. Universidad Católica de Murcia. Analiza la formación en materia de seguridad y salud de grados técnicos en 54 Universidades españolas. La media de créditos ECTS en el Grado de Arquitectura es de 0,44 (4,4 horas), insuficiente en opinión de quien suscribe, y que evidencia una falta de formación en esta materia en profesionales que con competencias plenas.
- [11] Cortes Generales (2004). Real Decreto 171/2004, de 30 de enero, por el que se desarrolla el artículo 24 de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de riesgos laborales, en materia de coordinación de actividades empresariales. Boletín Oficial del Estado nº 27.
- [12] No se incumple la Ley si los agentes intervinientes, en beneficio de la mejor prevención e integración referidas respecto a la prescindible utilidad del estudio básico, deciden que el coordinador en fase de ejecución de obras lo sea con dedicación exclusiva.

**SEGURIDAD PRL, HERRAMIENTA ON LINE PARA ORGANIZAR LA  
COORDINACIÓN DE ACTIVIDADES EMPRESARIALES BASADO  
EN UN MODELO “CLOUD COMPUTING”,  
GENERADOR DE INFORMES Y AGENDA DIGITAL**

BALLESTER ANDRÉS, JOSÉ FRANCISCO<sup>1</sup>; TORREGROSA NAJAR, VICENTE J.<sup>2</sup>

*<sup>1</sup> Gestec, Arquitectura & Ingeniería, SL., Formentera del Segura, Alicante, España*

*E-mail: ballester@gestecsl.com, Web: www.gestecsl.com*

*<sup>2</sup> Vega Baja Informática Center, SLU, Dolores (Alicante), España*

*E-mail: torreone@torreone.com, Web: www.torreone.com*

**PALABRAS CLAVE:** coordinación, seguridad, digital, control, agenda.

**RESUMEN**

Seguridad PRL, herramienta “on line” para el coordinador de seguridad y el recurso preventivo. Surge de la necesidad de organizar la coordinación de actividades empresariales prevista en el art. 24 LPRL.

Es una herramienta digital práctica e intuitiva que ayuda a adoptar las medidas necesarias para que sólo las empresas autorizadas accedan a obra, validando la documentación exigible para el control de acceso de trabajadores, maquinaria, equipos de obra y medios auxiliares.

Seguridad PRL permite gestionar de forma colaborativa la prevención de riesgos laborales asociada a los centros de trabajo de obras de construcción, basada en un modelo de plataforma “cloud computing” que almacena datos y quedan a disposición automática del personal autorizado en cada centro de trabajo dado de alta en la plataforma; en ésta se da de alta la empresa, ya sea contratista principal, subcontratista, autónomo ó coordinador de seguridad. La figura del administrador la adquiere el Coordinador en materia de Seguridad

y Salud durante la ejecución de la obra -en adelante CSSO- nombrado por el promotor y el Recurso Preventivo -en adelante RP- nombrado por el constructor; teniendo acceso a toda la herramienta con capacidad de verificar la documentación colgada por las contratatas. Adquiere la figura de usuario las subcontratas y autónomos, los cuales aportan y actualizan toda la documentación de sus empresas, trabajadores, maquinaria, equipos y medios auxiliares, posteriormente Seguridad PRL actúa como validador documental para facilitar la verificación de esta documentación por parte de los administradores.

Seguridad PRL también se configura como agenda digital para permitir la comunicación directa entre agentes implicados, además de tener en “un click” el plan de seguridad, adhesiones y contratos con sus cláusulas de seguridad; posee también un generador de informes de listados de empresas, obras y trabajadores, más una App para el control de acceso diario del personal.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los Arquitectos Técnicos son los profesionales que más ejercen como CSSO nombrados por el promotor durante el proceso de edificación, estando integrados en la dirección facultativa. Los RP y jefes de obra nombrados por la constructora también suelen ser muy a menudo titulados en arquitectura técnica. Dentro de las obligaciones del CSSO [1], la de coordinar las actividades de la obra para que se apliquen de manera coherente y responsable los principios de la acción preventiva, la de organizar la coordinación de actividades empresariales prevista en el artículo 24 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales y la de adoptar las medidas necesarias para que sólo las personas autorizadas puedan acceder a la obra, son sin duda, las obligaciones que requieren mayor control documental por parte también de los contratistas, subcontratas y autónomos.

Con la finalidad de reducir los costes, tiempos y procesos relativos a la gestión preventiva de la empresa contratista con la obra en cuestión nace Seguridad PRL, sirviendo además de plataforma desde la cual las contratatas y autónomos suben solamente una vez y actualizan los documentos administrativos relativos a la empresa, trabajadores, maquinaria, medios auxiliares y equipos de obra, de esta manera los contratistas comparten los documentos exigibles y se minimizan gastos al hacerlo una sola vez.

Todos los documentos son descargables para su contratista superior, además todos y cada uno de los administradores de la obra en cuestión pueden visualizar la documentación validada ya por Seguridad PRL y descargarla de ser necesario.

¿Qué ventajas tiene el CSSO y RP?, la ventaja principal es tener a golpe de “un click”, el plan de seguridad aprobado, adhesiones al plan de seguridad junto al organigrama de subcontratación [2] de cada obra con los contactos de los recursos preventivos y personal responsable designado por las subcontratas. También en caso de existir amonestaciones a trabajadores según el V Convenio Colectivo del Sector de la de la Construcción [3] se sube a cada uno de ellos el .pdf de la amonestación pudiendo compartir y hacer pública la falta a los responsables del trabajador infractor. Otra gran ventaja es la impresión de informe de empresas cumplidoras, informe de contratos que hay en obra al poderse generar el contrato desde la misma plataforma y trabajadores en el centro de trabajo con o sin amonestaciones, este último informe se genera con el uso de la APP desarrollada para Android y/o Iphone y con la que a un simple “click” el recurso preventivo de cada subcontrata indica que trabajadores hay en cada centro de trabajo abierto, calculándose automáticamente el número de peonadas por obra.



tificante de nóminas firmadas por los trabajadores son documentos que se generan entre empresas subcontratistas. Siempre, a la hora de abrir “Mi empresa” aparecerá un recordatorio con los documentos incorrectos para que se subsanen.



Figura 3: Ventana de “Trabajadores” del usuario.

En la pestaña de “Trabajadores” se dan de alta los trabajadores en cumplimiento de [6] los artículos 18 y 28 LPRL (formación) y artículo 17.2 (entrega de epi’s) y artículo 22 LPRL (vigilancia de salud), indicando también el trabajador nombrado como recurso preventivo y si tienen autorización para maquinaria específica y carnet de operador

De la misma manera en la pestaña de “Maquinaria” cada usuario irá subiendo los documentos relativos a maquinaria matriculada (foto, modelo, matrícula, ITV, ficha técnica, tarjeta de transporte, seguro y permiso de circulación) ó sin matrícula (Marcado CE, CE conformidad, manual y libro de mantenimiento

De la misma manera en la pestaña de “Equipos de obra” se subirá la documentación necesaria para la grúa torre (marcado CE, CE conformidad ó certificado de fabricante, certificado de instalación, documento de entrega de grúa y los informes particulares de inspección OCA y autorización de uso), Grúa Móvil Autopropulsada (ITV, ficha técnica, tarjeta de transporte, seguro, permiso de circulación, seguro RC, libro de mantenimiento, declaración de conformidad y autorización de uso) y Grúa Autocargante (ITV, ficha técnica, tarjeta de transporte, seguro, permiso de circulación, marcado CE, declaración de conformidad camión y grúa, marcado CE configuración grúa, manual de instrucciones y autorización de uso).

De la misma manera en la pestaña de “Medios Auxiliares” se subirá la documentación de los medios auxiliares de los que dispone la empresa, en todos ellos dispondrán de certificado de montaje y autorización de uso, además; Maquinillo (declaración de conformidad y manual de instrucciones), Plataformas de descargas (declaración de conformidad y manual de instrucciones, Andamio tubular con certificado CE (manual de instrucciones), Andamio tubular sin certificado CE (plan de montaje, utilización y desmontaje), Andamio de cremallera (marcado CE de conformidad y manual de instrucciones), Andamio suspendido (manual de instrucciones), Andamio suspendido sin marcado CE (plan de montaje, utiliza-

ción y desmontaje, cálculo de resistencia de estabilidad), Silos (declaración CE de conformidad y manual de instrucciones), Mesa de corte (marcado CE y manual de instrucciones).

Seguridad PRL ayuda a organizar la labor de coordinación de actividades empresariales del centro de trabajo, optimizando el tiempo de dedicación del CSSO y del EP

En el panel del administrador aparecen las pestañas de Inicio, Empresas, Obras y Generador de informes.

¿Cómo se inicia el trabajo con Seguridad PRL?, existiendo ya una plataforma de empresas dadas de alta el administrador crea una obra y/o centro de trabajo y del listado de empresas contratistas/autónomos les solicita acceso para adjuntarlas a la nueva obra en cuestión, la contrata/autónomo acepta ó rechaza, de esta manera y desde la primera pestaña de “Inicio” se accede al organigrama de cada obra en cuestión [2], con el árbol desplegable con el email y teléfono del responsable de la empresa para tener un acceso y comunicación directa.



Figura 4: Ventana de “inicio” del administrador con organigrama de obras.



Figura 5: Ventana “empresas” del administrador.

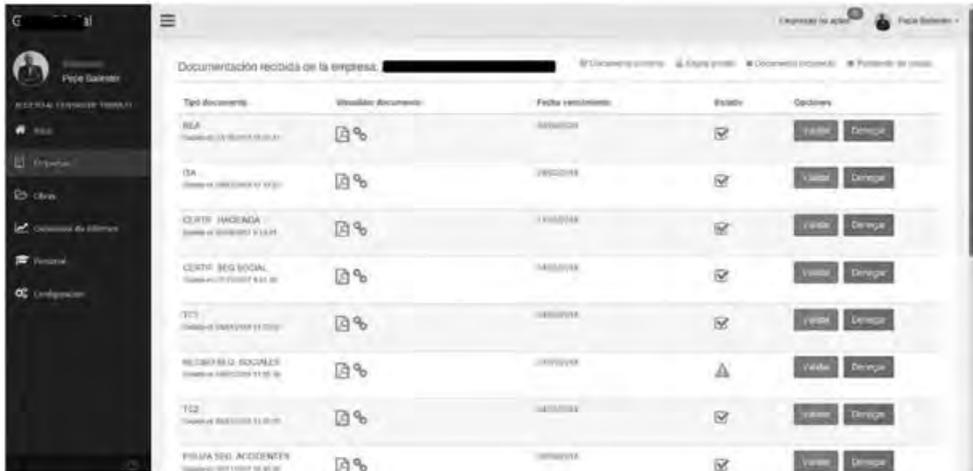


Figura 6: Ventana de “Empresas” del administrador.

Desde la pestaña “Empresa” el administrador accede a la documentación general de la empresa seleccionada, trabajadores, maquinaria y medios auxiliares. El tener acceso directo a la documentación de cada trabajador facilita el control de acceso de éstos, sólo cuando está validada su documentación subida se considerarán aptos y podrán desde la APP asignarse en un “click” a cada obra.



Figura 7: Ventana de trabajadores de una empresa, del administrador [7]

¿Y qué hacemos cuando se observa a un trabajador incumple el PSS?, se puede abrir un informe ó anotación en el libro de incidencias calificando la falta según el V Convenio colectivo del sector de la construcción y subirlo desde “Opciones” de esta manera podremos listar informes de trabajadores amonestado y hacer un seguimiento de las mismas.



Desde la pestaña de “Obras” el administrador puede subir documentos como adhesiones y difusiones del plan de seguridad y contratos; también puede subir las órdenes dadas por escrito y/o anotaciones en el libro de incidencias para compartirlas en “un click” con los agentes intervivientes, actuando como una agenda digital.

Desde la pestaña “Generador de informes” y una vez dotada de información la plataforma se realizan informes automáticos de empresas aptas ó no, trabajadores existentes en el centro de trabajo con amonestación ó no, obras en marcha y listado de contratos por obra. Estos informes se pueden enviar directamente vía email desde la misma ventana de generación a los agentes implicados.



Figura 11: Ventana de “generador de informes” del administrador.



Figura 12: Ventana de “generador de informes” del administrador para enviar.



Figura 13: Imagen de acceso a la APP de control de accesos.

Mediante la aplicación tipo APP desarrollada se consigue tener en un “click” al día el número y nombre de los trabajadores en el centro de trabajo, simplemente activando desde ella los trabajadores que cada empresa destina a un centro.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El principal resultado obtenido con Seguridad PRL es permitir gestionar de forma colaborativa la prevención de riesgos laborales asociada a los centros de trabajo de obras de construcción, en particular la documentación, basada en un modelo de “cloud computing” mediante el cual la misma plataforma valida la documentación subida por las contratistas para facilitar y organizar el trabajo a los administradores, manteniendo éstos una relación más directa con las diferentes subcontratistas y responsables de seguridad, como resultando final y junto con la APP se consigue también tener un control de peonadas en obra y control directo de los accesos a obra diario.

### 4. CONCLUSIONES

Seguridad PRL implementada en una empresa contratista principal y sus subcontratistas, así como en la Dirección Facultativa de la obra e incluso en la promotora garantiza mejoras directas, reducción de costes, aumento de la productividad de los recursos humanos, mejor comunicación entre los agentes intervinientes, esquematización, sistematización y digitalización de procesos en la coordinación de actividades empresariales de centros de trabajo; en definitiva la plataforma Seguridad PRL actúa como una agenda digital para el CSSO para un mejor cumplimiento normativo, emisión de informes y control de acceso del personal, maquinaria, equipos y medios auxiliares

### 5. RECONOCIMIENTOS

El trabajo realizado no ha obtenido ningún reconocimiento público.

### 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción. Publicado en BOE número 256, de 25/10/1997.
- [2] Ley ordinaria Ley 32/2006 reguladora de la subcontratación en el Sector de la Construcción. Publicada en BOE número 250, de 19/09/2006 y Real Decreto 1109/2007, de 24 de agosto, por el que se desarrolla la Ley 32/2006, de 18 de octubre, reguladora de la subcontratación en el Sector de la Construcción.
- [3] Resolución de 28 de febrero de 2012, de la Dirección General de Empleo, por la que se registra y publica el V Convenio colectivo del sector de la construcción.
- [4] Acta de visita de la Inspección Provincial de Trabajo y Seguridad de Alicante, Ministerio de Empleo y Seguridad Social.
- [5] Artículo 7 y 8 del Real Decreto 138/2000, de 4 de febrero, por el que se aprueba el Reglamento de Organización y Funcionamiento de la Inspección de Trabajo y Seguridad Social. Publicado en BOE número 40, de 16/02/2000.
- [6] Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales. Publicado en BOE número 269, de 10/11/1995.
- [7] “Curso de Coordinación de Seguridad y Salud Laboral en Fase de Ejecución”, que organizado por el Gabinete Técnico del Colegio de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Alicante se impartió en el Salón de Actos de este Colegio los días 6, 13, 16, 30, 23, 27 y 30 de octubre y 3, 6 y 10 de noviembre de 2003, 40h.

- [8] “Curso para la mejora de la Coordinación de Seguridad y Salud Laboral”, que organizado por el Gabinete Técnico del Colegio de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Alicante se impartió en el Salón de Actos de este Colegio los días 7, 8, 21 y 22 de abril y 5, 6, 19 y 20 de mayo de 2006, 32h.
- [9] Manual de Seguridad y Salud Grupo Marjal, José Francisco Ballester Andrés, 2008.
- [10] Guía de obligaciones preventivas para empresas en obras de construcción, edita: Asociación Mesa Técnica Seguridad Laboral en Construcción Región de Murcia.

## ENFERMEDADES PROFESIONALES MÁS FRECUENTES EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN: DESCRIPCIÓN, VALORACIÓN Y PREVENCIÓN

SÁNCHEZ PI, M. ÁNGELES<sup>1</sup>; VERDEJO SUÁREZ, FRANCISCO<sup>2</sup>;  
PIERA FANLO, VICTORIA<sup>3</sup>

<sup>1</sup> CAATEEB Comisión de seguridad y salud, Barcelona, España  
E-mail: [masanchez@apabcn.cat](mailto:masanchez@apabcn.cat), Web: [www.apabcn.cat](http://www.apabcn.cat)

<sup>2</sup> CAATEEB Comisión de seguridad y salud, Barcelona, España  
E-mail: [frverdejo@gmail.com](mailto:frverdejo@gmail.com), Web: [www.apabcn.cat](http://www.apabcn.cat)

<sup>3</sup> CAATEEB Comisión de seguridad y salud, Barcelona, España  
E-mail: [vpiera@apabcn.cat](mailto:vpiera@apabcn.cat), Web: [www.apabcn.cat](http://www.apabcn.cat)

**PALABRAS CLAVE:** “enfermedades profesionales”, “enfermedades profesionales más frecuentes en el sector de la construcción”, “enfermedades profesionales más frecuentes en el sector de la construcción: descripción, valoración y prevención”.

### RESUMEN

Con carácter general, las nuevas actividades de investigación, desarrollo e innovación (I+D+I) en materia de prevención de riesgos laborales se orientarán hacia el análisis, la detección y la eliminación de las causas de los accidentes de trabajo y de las enfermedades profesionales, teniendo en cuenta que la existencia de causas múltiples aconseja poder aislar o definir las más determinantes, así como hacia el conocimiento de riesgos laborales nuevos y emergentes, su anticipación y su prevención.

En la construcción es frecuente referirse a los accidentes de trabajo en obra, que son los sucesos no deseados que se derivan de la confluencia de unas causas previas, sencillas o complejas, en la exposición del trabajador al riesgo y que producen daños inmediatos para la salud de éste.

Las enfermedades profesionales, por contra y pese a su relevancia, parecen mantenerse invisibles para el sector. Eso pudiera ser porque en su caso, y a diferencia de lo que sucede con los accidentes de trabajo, el daño para la salud del trabajador puede darse incluso años después de la exposición al riesgo concreto. A su lado, los plazos de ejecución de las obras son ínfimos.

Para dar visibilidad a las enfermedades profesionales en el sector de la construcción, destacando su relevancia para el mismo, el CAATEEB ha creído conveniente la elaboración de tres Cuadernos Prácticos donde se recogen las más habituales y se pone a disposición de los técnicos expertos Coordinadores de Seguridad y Salud información para su prevención.

En los Cuadernos Prácticos se analizan enfermedades profesionales derivadas de la exposición de los trabajadores a riesgos de tipo ergonómico (sobreesfuerzos) e higiénico (contaminantes físicos y químicos, fundamentalmente).

Por cada caso encontraremos: una descripción de la enfermedad, los factores de riesgo y actividades relacionadas, los métodos de valoración y las medidas de prevención.

## 1. INTRODUCCIÓN

Debido a los graves daños que pueden tener las enfermedades profesionales para los trabajadores expuestos a los riesgos correspondientes, se hace necesario considerarlas en su justa medida en la prevención de las obras.

El CAATEEB ha decidido impulsar la divulgación y la prevención de las enfermedades profesionales en el sector de la construcción y, por ello, se han redactado tres Cuadernos Prácticos sobre las más frecuentes, incluidas en los números 7, 8 y 9.

Estos cuadernos han sido redactados con la colaboración de distintas entidades como MC PREVENCIÓN, MC MUTUAL, SEpra (Servicio de Prevención Integral, SCCL) y también con el apoyo de la Direcció General de l'Institut de Seguretat i Salut Laboral del Departament de Treball, Afers Socials i Famílies de la Generalitat de Catalunya.

En el volumen I podemos encontrar la Bursitis crónica de las sinoviales o de los tejidos subcutáneos de las zonas de apoyo de las rodillas, Hombro: patología tendinosa crónica de manguito de los rotadores, Codo y antebrazo: epicondilitis y epitrocleitis, el Síndrome del túnel carpiano por compresión del nervio mediano en la muñeca, la Dermatitis de contacto y por último la Exposición a las fibras de amianto.

En el volumen II encontramos el ruido que es causa de hipoacusia o sordera, el polvo de sílice libre causante de la silicosis y otras patologías asociadas, los isocianatos y las patologías que de ellos se derivan por inhalación y contacto y, finalmente, las resinas epoxi y sus efectos sobre la salud.

En el volumen III se trata el caso de los humos de soldaduras, el polvo de madera dura y disolventes que es causa de asma y rinoconjuntivitis; los disolventes y aditivos causantes de cáncer cutáneo profesional; los humos de soldadura de los que se deriva la fiebre de los metales; los humos de soldaduras, disolventes y pinturas que producen cáncer de pulmón, y, para acabar, las vibraciones mano-brazo que generan afectación osteoarticular.

Por cada caso encontraremos: una descripción de la enfermedad, los factores de riesgo y actividades relacionadas, los métodos de valoración y las medidas de prevención.

Hay que recordar siempre la referencia al cuadro de enfermedades profesionales del RD 1299/2006, legalmente reconocidas en la actualidad (anexo 1 del Real Decreto). Aparte, también están las patologías consideradas sospechosas de origen laboral relacionadas en el

anexo 2 que, en un futuro, cuando se disponga de las correspondientes evidencias científicas, se podrían llegar a incorporar al anexo 1.

## 2. ENFERMEDADES PROFESIONALES MÁS FRECUENTES EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN

La enfermedad profesional se define como el daño, la patología médica o traumática contraída a consecuencia del trabajo ejecutado por cuenta ajena, siempre y cuando la enfermedad se encuentre recogida en los cuadros de enfermedades profesionales aprobado por el Real Decreto 1299/2006, donde se recoge en [1].

Los cuatro elementos constitutivos de la enfermedad profesional son en primer lugar la patología, el segundo elemento es que debe ser contraída a causa del trabajo ejecutado por cuenta ajena (consecuencia directa del trabajo), el tercero es el resultado de cualquiera de las actividades listadas en el cuadro de EEPP del RD y, por último, consecuencia de la acción de elementos o sustancias previstos expresamente para la misma. Estos 4 elementos han sido la base, para la identificación de las enfermedades a recoger en los Cuadernos Prácticos y siguiendo estos criterios, el Departament de Treball, Afers Socials i Famílies de la Generalitat de Catalunya y el CAATEEB han seleccionado las enfermedades profesionales más destacadas que debían recogerse en estos documentos.

Por cada una de las EEPP escogidas primero se describe la Enfermedad Profesional para un mejor conocimiento de esta, en segundo lugar, se enumeran los factores de riesgo y actividades relacionadas para tomar consciencia de los riesgos y actividades que darán lugar a la enfermedad profesional, este apartado dará muchos indicios a los técnicos para poder hacer prevención a la enfermedad profesional en concreto; en tercer lugar, se definen los métodos de valoración para poder conocer la enfermedad profesional y por último las medidas de prevención, que es el apartado más importante, la finalidad y el objetivo de los Cuaderno Práctico.

En las 3 tablas de a continuación se hacen referencia el listado de EEPP que hay en cada Cuaderno Práctico.

Tabla 1: Cuaderno Práctico número 7 de Enfermedades Profesionales. Volumen I.

Código	Enfermedad Profesional	%
<b>2C0101</b>	Bursitis crónica de las sinoviales o de los tejidos subcutáneos de las zonas de apoyo de las rodillas.	5,70%
<b>2D0101</b>	Hombro: patología tendinosa crónica de manguito de los rotadores.	10,90%
<b>2D0201</b>	Codo y antebrazo: epicondilitis y epitrocleititis.	37,80%
<b>2F0201</b>	Síndrome del túnel carpiano por compresión del nervio mediano en la muñeca.	8,80%
<b>5A0101 a 5A0132</b>	Dermatitis de contacto en cualquier tipo de actividad en la que se entre en contacto con sustancias de bajo peso molecular.	8,78%
<b>5B0101 a 5B0130</b>	Dermatitis de contacto en cualquier tipo de actividad en la que se entre en contacto con sustancias de alto peso molecular.	

Tabla 2: Cuaderno Práctico número 8 de Enfermedades Profesionales. Volumen II.

Código	Agente Causante	Enfermedad Profesional
2A0101 a 2A0118	Ruido	Hipoacusia o sordera.
4A0101 a 4A0114	Polvo de Sílice Libre	Silicosis y otras patologías asociadas.
1Q0101 a 1Q0109	Isocianatos	Patologías derivadas de inhalación y/o contacto.
1M0101 a 1M0110 5A0101 a 1A0132	Resinas epoxi	Patologías derivadas de inhalación y/o contacto.

Tabla 3: Cuaderno Práctico número 9 de Enfermedades Profesionales. Volumen III.

Código	Agente Causante	Enfermedad Profesional
4H0201 a 4H0231	Humos de soldadura, Polvo de madera dura y disolventes	Asma profesional relacionada con el trabajo
4I0301 a 4I0333		Rinoconjuntivitis profesional relacionada con el trabajo
4H0201 a 4H0231		
4I0301 a 4I0333		
Anexo 2. Grupo 6	Disolventes y aditivos	Cáncer cutáneo profesional
4I0701 a 4I0733	Soldaduras	Fiebre de los metales
6A0101 a 4I0333	Humos de soldadura, disolventes y pinturas	Cáncer de pulmón
2B0101 a 2B0203	Vibraciones mano-brazo	Afectación osteoarticular

### EJEMPLO: VIBRACIONES MANO-BRAZO

De todas las Enfermedades Profesionales que se contemplaron en los tres volúmenes se ha escogido UNA de las más representativas dado que es una de las más habituales enfermedades en el sector de la construcción y también porque en la VII Encuesta Nacional de Condiciones de Trabajo del 2011 [4]. fue de un 29,8 % los trabajadores expuesto a vibraciones mano o brazo. A continuación, el ejemplo de cómo se ha desarrollado la enfermedad profesional de vibraciones mano-brazo.

#### **Vibraciones mano-brazo**

Las vibraciones mano-brazo tienen su origen en el manejo de herramientas mecánicas manuales, rotativas y/o percutores. Son herramientas de motor portátiles que exponen las manos de los trabajadores que las utilizan a niveles excesivos de vibraciones. Algunas de estas herramientas son martillos rompedores de pavimento, taladros percutores, amoladoras, llaves de impacto, remachadoras, martillos de aguja, martillos neumáticos, etc. El tipo de vibraciones que producen estas máquinas herramienta y que el trabajador sujeta con sus manos se denominan vibraciones mano-brazo.

Pueden provocar hormigueo y adormecimiento de dedos y manos, disminución de fuerza muscular, tendinitis, tenosinovitis, síndrome del dedo blanco, etc.

#### **Descripción de la Enfermedad Profesional**

Las afecciones osteoarticulares por vibraciones mano-brazo son las alteraciones o trastornos vasculares, neurológicos y musculoesqueléticos causados por la vibración mecánica cuando esta se transmite desde la fuente de emisión al sistema mano-brazo.

El 90 % de la vibración transmitida a la mano es absorbida al nivel de la articulación del carpo, especialmente sobre los huesos semilunar y escafoides. Por tanto, las alteraciones osteoarticulares relacionadas con las vibraciones son más frecuentes en esta región.

Los daños osteoarticulares son irreversibles, si bien el deterioro de los movimientos de los brazos y de las manos tiene lugar únicamente en fases avanzadas.

Al principio solo se presentan síntomas subjetivos ligeros, que evolucionan hacia un deterioro funcional por afectación osteoarticular. En la mayoría de las afecciones por vibraciones transmitidas mano-brazo, estos síntomas se acompañan de síntomas vasculares y neurosensoriales, en forma de fenómeno de Raynaud y polineuropatía sensorial periférica (se debe hacer un diagnóstico diferencial con un síndrome de túnel carpiano de otra etiología). [2]

La alteración más frecuente a que dan lugar las vibraciones es el fenómeno de Raynaud (dedos blancos): adormecimiento de los dedos, palidez, disminución de la sensibilidad, más acentuado con el frío y que desaparece calentando las manos. Si la acción cesa en las fases iniciales de esta alteración, las manifestaciones desaparecen. Si cesa en las fases tardías, es difícil que sea reversible del todo.

### **Factores de riesgo y actividades relacionadas**

La exposición a vibraciones mano-brazo puede aumentar el riesgo de que se produzcan daños para la salud cuando va asociado a algunos factores laborales o personales.

#### Factores laborales

La realización de trabajos en los que se está expuesto a vibraciones mecánicas en posturas fijas o incorrectas, con torsiones frecuentes, movimientos repetitivos, agarrando con fuerza las herramientas vibrantes o en ambientes fríos y húmedos constituyen factores de riesgo adicionales.

#### Factores personales

Condiciones previas de salud pueden agravar los efectos de la exposición a vibraciones. Los estudios sobre vibraciones y embarazo relacionan esta exposición con un aumento de la incidencia de abortos espontáneos, partos pretérmino, complicaciones durante el parto y bajo peso al nacer.

Las herramientas vibratorias (taladradoras, martillos neumáticos en las obras, para pulimentar, sierras mecánicas, etc.) son muy utilizadas en la industria: en la del metal, la construcción, la minería, etc.

La exposición de origen profesional a las vibraciones transmitidas a las manos proviene de las herramientas a motor que se utilizan en la fabricación, explotación de canteras, minería y construcción, agricultura y trabajos forestales, y servicios públicos (de carreteras, por ejemplo).

Actividades como la conducción de motocicletas o el uso de herramientas vibrantes domésticas pueden exponer las manos esporádicamente a vibraciones de gran amplitud, pero solo las largas exposiciones diarias pueden provocar problemas de salud.

### **Métodos de valoración**

La relación entre exposición a vibraciones transmitidas a las manos de origen profesional y efectos adversos para la salud es complicada, no es fácil.

Son factores de susceptibilidad y, por tanto, elementos a tener en cuenta en los trabajadores en puestos de trabajo con exposición a vibraciones mecánicas:

- ser jóvenes (menor de 20 años)
- ser trabajadores de más de 40 años
- tener antecedentes de trastornos angioneuróticos, independientemente del tipo y de los años de evolución
- tener antecedentes de procesos artríticos del codo y la muñeca, independientemente del tipo y de los años de evolución
- padecer trastornos articulares de las extremidades superiores: fracturas de la extremidad inferior del radio, estrechez del túnel del carpo, independientemente del tipo y de los años de evolución.

Pruebas para la vigilancia médica y diagnóstico de los trabajadores expuestos:

1. Cuestionarios específicos: antecedentes personales, laborales, hábitos, síntomas...
2. Exploración física: inspección, dolor a la palpación, movilidad, reflejos, sensibilidad...
3. Afecciones osteoarticulares: exámenes radiológicos
4. Afecciones vasculares: test de provocación por frío, termometría cutánea, Doppler...
5. Afecciones neurológicas: umbral de percepción vibratoria y térmica, habilidad manual...

### **Medidas de prevención**

La prevención de lesiones o trastornos causados por vibraciones transmitidas a las manos exige la implantación de procedimientos técnicos, médicos y administrativos. También se debería facilitar asesoramiento adecuado a los fabricantes y a los usuarios de herramientas vibrantes.

Las medidas administrativas deberían incluir una información y formación adecuadas para enseñar a los operarios que trabajen con máquinas vibrantes a adoptar métodos de trabajo correctos y seguros. Dado que se cree que la exposición continuada a las vibraciones aumenta el riesgo por vibración, los horarios de trabajo se deberían establecer incluyendo períodos de descanso.

Las medidas técnicas deberían incluir la elección de herramientas con la mínima vibración y con un diseño ergonómico apropiado, listado en [3].

Deberían hacerse reconocimientos médicos previos a la realización del trabajo, y exámenes clínicos periódicos siguientes de los trabajadores expuestos a vibraciones. Se debe informar al trabajador del riesgo potencial asociado a la exposición a las vibraciones, evaluar el estado de salud y diagnosticar de forma precoz los trastornos inducidos por las vibraciones.

### **Cuadro de enfermedades profesionales**

Cuadro de enfermedades profesionales (RD 1299/2006)

#### **Afectación vascular**

##### **2B0101**

Trabajos en los que se produzcan: vibraciones transmitidas a la mano y el brazo por gran número de máquinas o por objetos mantenidos sobre una superficie vibrante (gama de frecuencia de 25 a 250 Hz), como son aquellos en los que se manejan maquinarias que transmiten vibraciones, como martillos neumáticos, punzones, taladros, taladros a percusión, perforadoras, pulidoras, esmeriladoras, sierras mecánicas, desbrozadoras.

**2B0102**

Utilización de remachadoras y pistolas de sellado.

**2B0103**

Trabajos que exponen al apoyo del talón de la mano de forma reiterada, percutiendo sobre un plano fijo y rígido, así como los choques transmitidos a la eminencia hipotenar por una herramienta percutora.

**Afectación osteoarticular****2B0201**

Trabajos en los que se produzcan: vibraciones transmitidas a la mano y el brazo por gran número de máquinas o por objetos mantenidos sobre una superficie vibrante (gama de frecuencia de 25 a 250 Hz), como son aquellos en los que se manejan maquinarias que transmiten vibraciones, como martillos neumáticos, punzones, taladros, taladros a percusión, perforadoras, pulidoras, esmeriladoras, sierras mecánicas, desbrozadoras.

**2B0202**

Utilización de remachadoras y pistolas de sellado.

**2B0203**

Trabajos que exponen al apoyo del talón de la mano de forma reiterativa, percutiendo sobre un plano fijo y rígido, así como los choques transmitidos a la eminencia hipotenar por una herramienta percutora. • Correlación entre el cuadro clínico y antecedentes laborales de exposición a vibraciones transmitidas mano-brazo de 3 a 10 años por aceleraciones de 3-10 m/s<sup>2</sup> (A (8)) o de 1 a 3 años en aceleraciones superiores a 10 m/s<sup>2</sup> (A (8)), considerando un período de latencia estimado en meses (\*) • Ausencia de patología en la zona, de causa no laboral.

**3. RECONOCIMIENTOS**

Los tres volúmenes sobre las enfermedades profesionales o productos de los Cuadernos prácticos 7, 8 y 9 están apoyados y recomendados por:

- La Direcció General de l'Institut de Seguretat i Salut Laboral del Departament de Treball, Afers Socials i Famílies de la Generalitat de Catalunya.
- El Col·legi d'Aparelladors, Arquitectes Tècnics i Enginyers d'Edificació de Barcelona.

y con la colaboración de:

- MC PREVENCIÓN y MC MUTUAL (Volumen I y II)
- SEPRA, Servicio de Prevención Integral, SCCL (Volumen III).

**4. ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS**

DR Real Decreto.

CSS Coordinación o coordinadora de seguridad y salud.

DF Dirección facultativa.

PRL Prevención de riesgos laborales.

EEPP Enfermedades profesionales.

## 5. CONCLUSIONES

Debido a que los accidentes de trabajo, aparentemente por la inmediatez de los daños que se derivan, tienen una mayor consideración en el sector de la construcción que las enfermedades profesionales, incluso pese a que éstas pudieran tener consecuencias muy severas o mortales para los trabajadores. El CAATEEB ha desarrollado un trabajo de recopilación de las enfermedades profesionales más habituales en nuestro sector. Con ello, quiere incidir en la prevención, dando instrumentos a los técnicos para que puedan identificar los riesgos correspondientes, así como disponer de toda la información necesaria para hacer prevención desde una perspectiva global.

Recordemos que la prevención de riesgos laborales consiste en un conjunto de técnicas y procedimientos que tienen por objeto evitar y, en su caso, combatir los riesgos que pueden conducir a la materialización de accidentes de trabajo y enfermedades profesionales y ese es el objetivo de este trabajo.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS (Y CITAS EN EL TEXTO)

### LIBRO

[1]. Generalitat de Catalunya. Departament de Treball. Direcció General de Relacions Laborals. Quadre de malalties professionals. Col·lecció prevenció de riscos laborals n°27.  
[https://www.gencat.cat/treball/doc/doc\\_35506533\\_1.pdf](https://www.gencat.cat/treball/doc/doc_35506533_1.pdf)

### LIBRO

[2]. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) [en línea]. Enfermedades profesionales del miembro superior. Síndrome del Túnel carpiano por compresión del nervio mediano en la muñeca.

<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FICHAS%20DE%20PUBLICACIONES/Ficha11Tuneldelcarpo.pdf>

### PUBLICACIÓN

[3]. Organización Internacional del Trabajo. Lista de comprobación ergonómica: Ergonomic checkpoints [en línea]. Disponible en: <http://goo.gl/iE5CC>

### ESTUDIO

[4]. Trabajadores expuestos a vibraciones por tipo de vibración y sector. Años: 2007 y 2011

<http://www.oect.es/portal/site/Observatorio/menuitem.02f24b227be1a22f7ac3d63062c08a0c/?vg-nextoid=427dfebb47828310VgnVCM1000008130110aRCRD&vgnextchannel=6ff05c-9847273110VgnVCM100000dc0ca8c0RCRD>

## NIVEL DE RIESGO EN OBRAS DE EDIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN SEGÚN DIFERENTES PARÁMETROS DE LAS MISMAS

FORTEZA OLIVER, FRANCISCO JOSÉ<sup>1</sup>; CARRETERO GÓMEZ, JOSÉ MARÍA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Universidad Illes Balears, Palma de Mallorca, España*  
*E-mail: francisco.forteza@uib.es, Web: <http://www.uib.cat/>*

<sup>2</sup> *Universidad Illes Balears, Palma de Mallorca, España*  
*E-mail: josem.carretero@uib.es, Web: [http://www.uib.cat](http://www.uib.cat/)*

**PALABRAS CLAVE:** Riesgo, obra, recursos, tipología.

### RESUMEN

Nuestra investigación tiene como objetivo analizar si existen ciertas tipologías de obras de edificación que presenten mayores niveles de riesgo, intentar detectarlos y plantear un patrón de riesgo que permita priorizar intervenciones. Para poder realizar el estudio, se analiza una muestra de 957 obras, representativas del sector entre los años 2003 y 2010. Los niveles de riesgo y las principales características a analizar de las obras se obtienen mediante el uso de una herramienta publicada y validada, CONSRAT, con la que se obtienen los niveles de riesgo asociados al conjunto de la obra en el momento que se evalúa. La herramienta nos da una aproximación global del nivel de riesgo de la obra en su conjunto y se diferencia de otras herramientas que miden niveles de riesgo de actividades concretas.

De acuerdo con los datos obtenidos en nuestra investigación, las obras de construcción con niveles de riesgo más elevado están caracterizadas por ser obras pequeñas, con promotores particulares, sin constancia del nombramiento de coordinador de seguridad y sin documentación de su actividad. Analizadas las diferentes características de la obra, obtenemos mayores niveles de riesgo en obras con contratista único, frente a obras con varios, en muchos casos un autónomo con trabajadores está al frente de las obras con mayor riesgo.

También presentan mayores niveles de riesgo las obras sin encargado, las que no se asumen las funciones preventivas, las obras con más de 10 empresas o menos de 5, las obras sin subcontratación frente a las que tienen varios niveles de subcontratación, las obras con menos de cinco trabajadores, sin el Plan de seguridad y salud en obra, con falta de cumplimiento del mismo o falta de contenido adecuado a las previsiones de la obra. La caracterización indicada no es excluyente y depende en cada caso la clasificación que se compara.

Estos resultados pueden ser usados por empresas o administraciones públicas para dirigir estrategias de intervención de seguridad en construcción y priorizar campañas o intervenciones atendiendo estas tipologías con mayores niveles de riesgo. Todo ello permitiría establecer mejoras previas dirigidas a subsanar estos niveles de riesgo antes de que se produzcan en obra, siendo un criterio de intervención proactivo.

## 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

“La Construcción es diferente” y las obras son un entorno de riesgo con acceso limitado para investigadores. Existe una falta de evaluación de campo de la exposición al riesgo que no permiten hacer conclusiones rotundas [1]. Las investigaciones a nivel del tajo o tarea de obra representan un bajo porcentaje del total de la investigación sobre el sector, siendo necesaria una mayor atención a las condiciones de seguridad en la propia obra [2].

El sector de la construcción en España tiene los índices de incidencia más altos comparados con el resto de actividades [3] Estos índices son una línea importante de investigación [4, 5], pero en la actualidad existe una corriente para sustituir estos indicadores atrasados (lagging indicators) por indicadores adelantados (leading indicators) [6].

Gracias al sistema europeo de notificación de accidentes, ESAW (European Statistics on Accidents at Work) de la Comisión Europea [7], es posible manejar variables para las investigaciones tales como las relacionadas con el trabajador, empresas, temporales, materiales y variables geográficas [8, 9, 10, 11]. Siguiendo estas investigaciones, elementos como la edad del accidentado, estructura de la empresa, día del accidente, ausencias, desviaciones de las prácticas establecidas, tipo de lesión y localización de la misma, son variables incluidas en una tabla de contingencia para comprobar las relaciones entre ellas y la gravedad de accidente. Otras líneas de investigación analizan de manera más profunda la relación entre tasas de accidente y diferentes características de procesos constructivos y trabajadores [12, 13], pero el tipo de información obtenida que proviene directamente de las empresas, limita la calidad de los datos y el análisis realizado en base a los mismos [14, 15]. Otras líneas de investigación conectan las condiciones reales en obra con la probabilidad de accidente [6], pero se trata de un línea de investigación reducida. Por último, otra línea de investigación se basa en encuestas a diferentes niveles geográficos, pero sin información directa tomada de la obra [16, 17].

Por todo ello podemos concluir que existen limitadas líneas de investigación que conectan factores de organización con la evaluación del riesgo en la misma [18, 19] whereas more resources of the structure decrease risk. A Structural Equation Model (SEM) y todavía menos investigaciones intentan conectar las condiciones de seguridad en obra con tipologías de la misma. Teniendo en cuenta estudios previos, nuestro trabajo analiza una muestra de obras en la que se evalúan los niveles de riesgo utilizando una nueva herramienta denominada CONSRAT [20] en la que se evalúa el nivel de riesgo conjunto de la obra en un momento determinado. Posteriormente se han clasificado teniendo en cuenta las principales

tipologías de obra que proceden de los elementos más importantes que caracterizan cada tipología [21]. El principal objetivo es conocer si los niveles de riesgo de las obras se pueden relacionar con determinadas características de las mismas.

## 2. METODOLOGÍA

El presente estudio analiza de manera cuantitativa la clasificación de tipos de obra en atención al nivel de riesgo evaluado en las mismas. Los niveles de riesgo se obtienen siguiendo la metodología de CONSRAT. Esta herramienta evalúa 10 variables de riesgo de la obra dando valores entre 0.00 (sin riesgo) a 1.00 (riesgo máximo) a cada variable. Cada variable se compone de diferentes ítems o preguntas con el mismo rango de valores que la variable que se componen con diferentes criterios para obtener el valor final de la variable. Con la media de las 10 variables se obtiene el nivel de riesgo que utilizamos en nuestro estudio. En la Tabla 1 podemos ver la composición de dichas variables. Los niveles de riesgo de CONSRAT se dividen en tres grupos. De 0.00 a 0.33 riesgo bajo, de 0.34 a 0.66 riesgo medio (admisible) y de 0.67 a 1.00 riesgo alto (no admisible).

Tabla 1. Composición de las variables de riesgo de CONSRAT.

Variable	Elementos
RV1. PSS	- Cumplimiento
RV2. Condiciones generales	- Cerramiento obra, circulaciones, orden limpieza, iluminación, señalización de seguridad, instalación eléctrica de obra
RV3. Protecciones colectivas	- PC generales de toda la obra
RV4. Acceso	- Acceso al tajo principal
RV5. Caídas de altura	- Altura de caída, nivel de deficiencia, continuidad en la exposición, probabilidad, severidad, necesidad de intervención
RV6. Otros riesgos	- Identificación de 11 riesgos más y su incidencia con el riesgo de caída de altura
RV7. Proceso	- Adecuación y desviación
RV8. Protecciones colectivas del tajo	- Andamios, redes, Barandillas, entablados. Necesidad de más PC
RV9. Protecciones personales	- Sistemas anticaídas. Necesidad de más EPI
RV10. Medios auxiliares y maquinaria	- Andamios, andamios colgados, borriquetas, escaleras de mano, montacargas, camión grúa, medios auxiliares para elevación, etc.

Fuente: CONSRAT [20].

La muestra de este estudio es representativa de las obras de edificación en España ya que mantiene una proporción de tipología en base a los datos estatales del Ministerio de Trabajo (Estadísticas de Visados de Obras de edificación). Se han visitado un total de 957 obras entre los años 2003 y 2009. Las obras de la muestra se seleccionaron siguiendo un criterio aleatorio, utilizando las comunicaciones de apertura de centro de trabajo. En base al tamaño de la muestra y al total de obras estimadas según los datos de visados del Ministerio de Trabajo se ha obtenido un error muestral de aproximadamente el 2.7% con un intervalo de confianza del 95%.

En cuanto a las tipologías de obra y fase de la misma, nuestra muestra está caracterizada por obra nueva de pequeño tamaño. Un 89% es obra nueva y un 61% son edificaciones compuestas de planta baja más una o dos plantas. La fase de obra más visitada es la de estructura con un 34% de las obras, seguida de albañilería, con un 28%. La mayoría de ellas con un único tajo (64%) y con los trabajadores en el perímetro de las plantas o cubiertas (60%).

El 57% de promotores de nuestra muestra es profesional (promueve para comercializar). En un 81% de las obras no hay constancia de la designación de coordinador de seguridad y salud y en un 95% no hay en obra documentación que refleje la labor del coordinador (no hay Libro de incidencias o no tiene ninguna inscripción). En la mayoría de las obras únicamente hay un contratista (83%). El 92% de obras tienen de 1 a 5 empresas en la obra y hay subcontratación en el 55% de los casos. La estructura en obra por parte del contratista pone en evidencia que el 26% de las obras carecen de cualquier tipo de persona encargada de la misma, un 26% tiene un trabajador con funciones de encargado, el 25% tienen encargado y el restante 25% tiene al empresario al frente de la obra. En general existe una baja asunción de las funciones preventivas por parte de los responsables (58%). En el 63% de las obras de nuestra muestra no hay Plan de seguridad y salud en obra. En un 88% las previsiones de plan de seguridad no son apropiadas a la obra, son desconocidas o inaplicables. El cumplimiento del plan de seguridad es deficiente o muy deficiente en el 96% de los casos.

## **2.1 Diseño del análisis**

Basándonos en la clasificación de obras de la propia herramienta CONSRAT, se analizan los niveles de riesgo atendiendo a tres grandes grupos: tipología de obra, caracterización del promotor y por último caracterización del contratista. Finalmente, por limitaciones de tamaño de la comunicación, se facilita el número de obras atendiendo a tipo de promotor y designación de coordinador agrupadas por el tamaño de la misma.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Nivel de riesgo en función de la tipología de obra

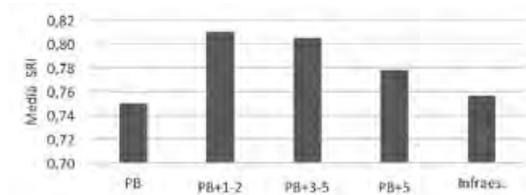


Figura 1: Nivel de riesgo por número de plantas

#### 3.2 Nivel de riesgo en función de la caracterización del promotor

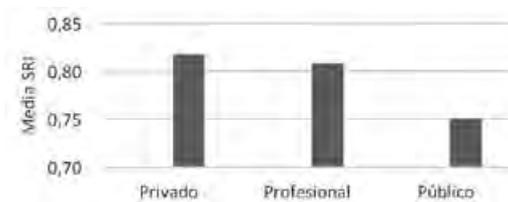


Figura 2: Nivel de riesgo por tipo de promotor.

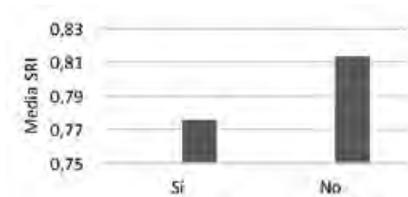


Figura 3: Nivel de riesgo en función de la existencia de CSS.

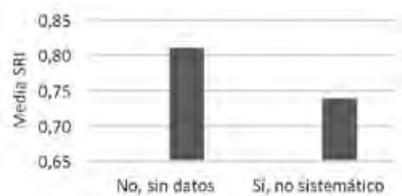


Figura 4: Nivel de riesgo en función de la existencia de trabajo documentado del CSS.

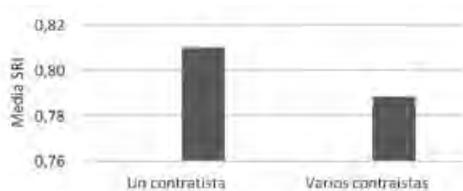


Figura 5: Nivel de riesgo en función del tipo de contratación del promotor

### 3.3 Nivel de riesgo en función de la caracterización del contratista



Figura 6: Nivel de riesgo en función de estructura de mando de la obra.



Figura 7: Nivel de riesgo en función de las funciones preventivas de la estructura de la obra.

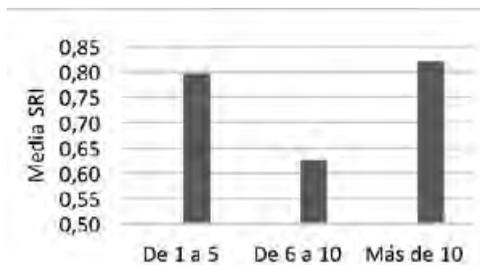


Figura 8: Nivel de riesgo en función del número de empresas en obra.



Figura 9: Nivel de riesgo en función del nivel de subcontratación

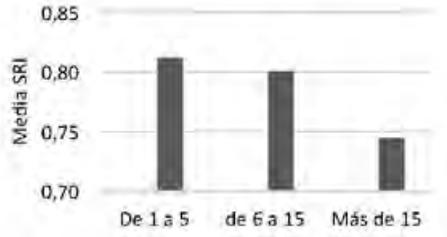


Figura 10: Nivel de riesgo en función del número de trabajadores en obra.



Figura 11: Nivel de riesgo en función de la adecuación al PSS.



Figura 12: Nivel de riesgo en función de la adecuación del PSS.

### 3.4 Número de obras en función de la clasificación general y tamaño

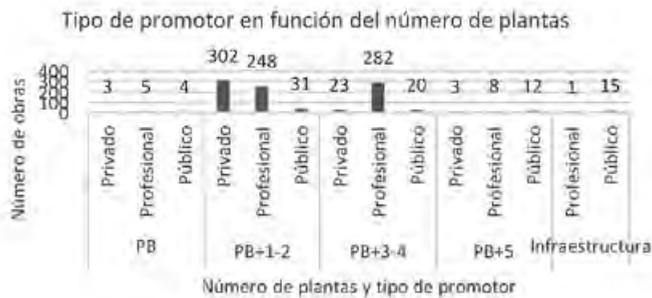


Figura 13: Numero de obras en función del tamaño y tipo de promotor.



Figura 14: Numero de obras en función del tamaño y designación del coordinador.

#### 4. DISCUSIÓN

Nuestros primeros resultados referentes a tipologías de obra y riesgo parece que no concuerdan con los resultados de estudios previos que conectan más tamaño con más accidentes, pero sí que están de acuerdo con otros estudios que conectan accidentes con pequeños proyectos y bajos presupuestos. En este sentido pensamos que el tamaño de la obra es solamente el contexto donde se desarrollan otras características relacionadas con los niveles de recursos organizativos que son los que tienen especial conexión con los niveles de riesgo o accidentes, tal como se pone de manifiesto en estudios previos [18, 19]. Los niveles de riesgo hallados en función de las características del promotor y contratista están en esta línea.

Si observamos la figura 13 podemos ver recursos organizativos más bajos en obras pequeñas que en las más grandes, además la mayoría de obras pequeñas corresponden a promotores privados. Si observamos la figura 2 podemos ver como los promotores privados tienen un mayor nivel de riesgo que los profesionales o públicos, probablemente debido al menor nivel de recursos como muestran las figuras 3 y 4. En estas figuras podemos ver como el riesgo está relacionado con la no designación de CSS o la documentación de este técnico. Esta influencia del promotor en obra está en línea con estudios previos que la conectan con el nivel de riesgo en la obra. El CSS es un recurso del promotor que complementa la autoridad del supervisor de seguridad o en cargado del contratista.

Nuestra investigación muestra empírica evidencia sobre la relevancia de la figura del CSS, así como el refuerzo a la figura en obras más grandes con promotores profesionales o públicos y la relación con los niveles de riesgo obtenidos.

Siguiendo con el análisis de las características de las obras debido a los recursos, en la figura 6 podemos ver que el nivel de riesgo está relacionado con los recursos puestos a disposición en la obra. Menos recursos de control en obra suponen claramente niveles de riesgo mayores. Los recursos en la estructura de la obra provienen de los constructores, los cuales definen procesos y facilitan plantilla, todo ello está relacionado con el nivel de riesgo en obra [19] whereas more resources of the structure decrease risk. A Structural Equation Model (SEM).

Otros resultados obtenidos sobre el nivel de riesgo están relacionados con la concurrencia en obra. Como podemos ver en la figura 8 no hay una clara relación entre número d empresas y nivel de riesgo. En cuanto a la subcontratación y número de trabajadores, podemos observar en la figura 9 que no hay precisamente una relación entre más subcontratación

y más riesgo sino más bien lo contrario. Lo mismo ocurre con el número de trabajadores (ver figura 10). Estos resultados obtenidos no coinciden con investigaciones previas que asociaban concurrencia con riesgo [1, 6]

## 5. CONCLUSIONES

La finalidad de esta investigación era comprobar el nivel de riesgo en obra en función de diferentes características. Con los datos obtenidos sabemos los principales elementos que afectan al riesgo.

Nuestros resultados sugieren que los tipos de obras con mayor nivel de riesgo están caracterizados por: en relación a la tipología de obras, las pequeñas obras (unifamiliares de una a dos plantas); en relación al promotor, con promotores particulares, sin constancia de nombramiento de CSS y sin trabajo documentado por parte de este. Los mayores niveles de riesgo se han obtenido con un solo contratista: en relación al tercer grupo de factores, los relacionados con el contratista, las obras con más riesgo corresponden a un trabajador autónomo con trabajadores al frente de la obra, sin ninguna persona encargada en la misma, sin asunción de funciones preventivas, con más de diez empresas en obra y menos de 5 trabajadores, sin subcontratación, menos de cinco trabajadores, sin PSS en obra, sin cumplimiento del mismo y finalmente con previsiones del PSS no adecuadas a las condiciones de obra.

Para finalizar queremos concluir que nuestra investigación refuerza la idea que el nivel de riesgo en obra está afectado por una compleja relación de características que ejercen una influencia cruzada. Aunque en nuestro caso únicamente se ha podido constatar la diferenciación de riesgo atendiendo a la característica individual estudiada, es lógico pensar que cada una de ellas no se encuentra aislada. Los resultados obtenidos nos permiten afirmar la importancia del nivel de recursos del contratista y promotor en cuanto a los resultados de nivel de riesgo en obra, además de confirmar la relación entre nivel de riesgo de la obra en relación al nivel intrínseco de complejidad de la misma (medido en nuestro caso por tamaño). Dado que el nivel de complejidad es normalmente una premisa que no podremos variar, el nivel de riesgo de una obra puede ser modelado o controlado por el nivel de recursos de promotor y contratista.

Poder asignar los recursos necesarios por parte de las empresas integrantes de la obra, de manera que podamos controlar y predecir el nivel de riesgo final de la misma, pensamos que es una consecuencia de este estudio y su consecución un reto para el futuro que nos permita avanzarnos al riesgo y tenerlo controlado antes que se manifieste.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] P. Swuste, A. Frijters, y F. Guldenmund, «Is it possible to influence safety in the building sector?: A literature review extending from 1980 until the present», *Saf. Sci.*, feb. 2012.
- [2] Z. Zhou, Y. M. Goh, y Q. Li, «Overview and analysis of safety management studies in the construction industry», *Saf. Sci.*, vol. 72, n.º 0, pp. 337-350, feb. 2015.
- [3] EUROSTAT, «Standardised incidence rate of accidents at work by economic activity and employment status». 2014.
- [4] A. López Arquillos, J. C. Rubio Romero, y A. Gibb, «Analysis of construction accidents in Spain, 2003-2008», *J. Safety Res.*, vol. 43, n.º 5-6, pp. 381-388, dic. 2012.

- [5] F. B. Cambraia, T. A. Saurin, y C. T. Formoso, «Identification, analysis and dissemination of information on near misses: A case study in the construction industry», *Saf. Sci.*, vol. 48, n.º 1, pp. 91-99, Enero 2010.
- [6] J. Hinze, S. Thurman, y A. Wehle, «Leading indicators of construction safety performance», *Saf. Sci.*, vol. 51, n.º 1, pp. 23-28, ene. 2013.
- [7] European Commission, «European Statistics on Accidents at Work (ESAW)», 2002. [En línea]. Disponible en: [http://ec.europa.eu/eurostat/ramon/statmanuals/files/ESAW\\_2001\\_EN.pdf](http://ec.europa.eu/eurostat/ramon/statmanuals/files/ESAW_2001_EN.pdf). [Accedido: 29-sep-2016].
- [8] M. A. Camino López, I. Fontaneda, O. J. González Alcántara, y D. O. Ritzel, «The special severity of occupational accidents in the afternoon: “The lunch effect”», *Accid. Anal. Prev.*, vol. 43, n.º 3, pp. 1104-1116, may 2011.
- [9] M. A. Camino López, D. O. Ritzel, I. Fontaneda González, y O. J. González Alcántara, «Occupational accidents with ladders in Spain: Risk factors», *J. Safety Res.*, vol. 42, n.º 5, pp. 391-398, oct. 2011.
- [10] M. A. Camino López, D. O. Ritzel, I. Fontaneda, y O. J. González Alcántara, «Construction industry accidents in Spain», *J. Safety Res.*, vol. 39, n.º 5, pp. 497-507, 2008.
- [11] J. Pérez-Alonso, Á. Carreño-Ortega, Á. J. Callejón-Ferre, y F. J. Vázquez-Cabrera, «Preventive activity in the greenhouse-construction industry of south-eastern Spain», *Saf. Sci.*, vol. 49, n.º 2, pp. 345-354, feb. 2011.
- [12] A. López-Arquillos, J. C. Rubio-Romero, y A. Gibb, «Accident data study of concrete construction companies’ similarities and differences between qualified and non-qualified workers in Spain», *Int. J. Occup. Saf. Ergon.*, vol. 21, n.º 4, pp. 486-492, 2015.
- [13] J. C. Rubio-Romero, M. Suárez-Cebador, y J. Abad, «Modeling injury rates as a function of industrialized versus on-site construction techniques», *Accid. Anal. Prev.*, vol. 66, pp. 8-14, 2014.
- [14] F. Salguero-Caparros, M. Suarez-Cebador, y J. C. Rubio-Romero, «Analysis of investigation reports on occupational accidents», *Saf. Sci.*, vol. 72, pp. 329-336, feb. 2015.
- [15] B. Memarian y P. Mitropoulos, «Accidents in masonry construction: The contribution of production activities to accidents, and the effect on different worker groups», *Saf. Sci.*, vol. 59, pp. 179-186, nov. 2013.
- [16] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), «Encuesta nacional de condiciones de trabajo», 2015.
- [17] «Sexta Encuesta europea sobre las condiciones de trabajo: 2015 | Eurofound», 2015. [En línea]. Disponible en: <https://www.eurofound.europa.eu/es/surveys/european-working-conditions-surveys/sixth-european-working-conditions-survey-2015>. [Accedido: 29-sep-2017].
- [18] D. P. Fang, X. Y. Huang, y J. Hinze, «Benchmarking Studies on Construction Safety Management in China», *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 130, n.º 3, pp. 424-432, jun. 2004.
- [19] F. J. Forteza, J. M. Carretero-Gómez, y A. Sesé, «Effects of organizational complexity and resources on construction site risk», *J. Safety Res.*, vol. 62, n.º Supplement C, pp. 185-198, sep. 2017.
- [20] F. J. Forteza, A. Sesé, y J. M. Carretero-Gómez, «CONSRAT. Construction sites risk assessment tool», *Saf. Sci.*, vol. 89, pp. 338-354, nov. 2016.
- [21] «Ministerio de Fomento». [En línea]. Disponible en: <http://www.fomento.gob.es/BE/?nivel=2&orden=09000000>. [Accedido: 29-sep-2017].

## PREVENCIÓN FRENTE AL RADÓN EN OBRA NUEVA Y REHABILITACIÓN

CERVERA MONZÓ, MIGUEL

*Ejercicio Libre, Zaragoza, España*

*E-mail: cerverartal@gmail.com, Web: www.ingenieria radon.es*

**PALABRAS CLAVE:** radón, prevención, rehabilitación, vivienda.

### RESUMEN

El Radón es un gas que, hasta la aparición de la directiva europea 2013/59/EUROATOM, no había sido objeto de atención en España, ni por el público, ni por profesionales de la prevención o de la construcción y, ni mucho menos por nuestros políticos, que hasta la fecha no han legislado ni regulado conforme a la directiva europea.

Posteriormente y en los últimos años se han ido creando inquietudes sobre todo a nivel social y en zonas concretas de la geografía española en el que las emisiones son muy elevadas (Galicia, Madrid, Extremadura,...).

La intención de esta ponencias es la de explicar cuál es el peligro para la salud de los habitantes, expuestos en sus viviendas a las emisiones de gas Radón y como realizar tanto en rehabilitación como en obra nueva las actuaciones precisas para evitar, reducir o eliminar las concentraciones nocivas de gas radón.

Desde el punto de vista de la Salud, el Radón es el causante de 1500/2000 muertes al año, debido a que provoca cáncer de pulmón a aquellos que lo inhalan **(1)**, siendo el primer causante de cáncer de pulmón en fumadores y segunda causa entre los no fumadores **(2)**. De hecho fumar en sitios con Radón multiplica por 40 o 50 el riesgo de sufrir este tipo de cáncer **(3)**. El esfuerzo económico de nuestro sistema sanitario para tratar el cáncer de pulmón es de 220 millones de euros, siendo la mortandad de 21.100 personas en España **(4)**

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 ¿De dónde procede el Radón?

El Radón es un gas que en la tabla periódica aparece como GAS NOBLE se presenta en la naturaleza en tres isótopos: el  $^{222}\text{Rn}$ , al que se denomina Radón, y que procede de la cadena de descomposición del  $^{238}\text{U}$  y con un periodo de semidesintegración ( $T_{1/2}$ ) de 3,8 días; el  $^{220}\text{Rn}$  ( $T_{1/2}$  de 54,5 segundos) que proviene de la serie de desintegración del torio  $^{232}\text{Th}$  y que se denomina torón; y el  $^{219}\text{Rn}$  ( $T_{1/2}$  de 3,92 segundos) proveniente de la desintegración del actinio  $^{235}\text{U}$  y al que se denomina actinon.

De estos tres isótopos del radón, el de mayor significación radiológica es el  $^{222}\text{Rn}$ , al que nos referiremos, de ahora en adelante, como radón.

Proviene de la desintegración del  $^{226}\text{Ra}$ , que se encuentra en diferentes cantidades en el suelo. Como gas puede difundirse por los poros del terreno y llegar a la superficie. Puede atravesar los poros de los materiales de construcción y las grietas de los mismos, concentrándose en las zonas bajas de las edificaciones.

“La mayor concentración de radón se produce en el subsuelo, a 1 metro de profundidad, y de ahí sale por los poros del terreno a la atmósfera. En suelos porosos, como los arenosos o las gravas, se produce una mayor emanación de radón que en suelos compactos o arcillosos, que son menos permeables. También se produce más emanación de radón en suelos graníticos muy fracturados que en suelos graníticos compactos. Como norma general, hay más radón en zonas graníticas que en zonas arcillosas o calcáreas. Eso es porque el contenido de uranio en suelos graníticos es mayor. Además, factores como la humedad, la presión atmosférica, la temperatura o la época del año influyen en la concentración del radón.” En verano, por ejemplo, los niveles de radón disminuyen significativamente comparados con los del otoño o invierno. Tanto es así que una medición en verano no se considera válida para establecer niveles de radón.” (5)

### 1.2 Directiva europea EUROATOM 2013/59

El Radón en contacto con la atmósfera se disipa, pero en las viviendas, dependiendo de la ventilación se pueden producir concentraciones elevadas. En cuanto a las concentraciones consideradas admisibles, tenemos lo que la actual EUROATOM marca en su Artículo 74 (literal):

1. Los Estados miembros establecerán niveles nacionales de referencia para las concentraciones de radón en recintos cerrados. Los niveles de referencia para el promedio anual de concentración de actividad en el aire **no superarán los 300 Bq m<sup>3</sup>**.
2. Con arreglo al plan de acción nacional indicado en el **artículo 103**, los Estados miembros fomentarán la adopción de medidas para identificar aquellas viviendas donde el promedio anual de concentraciones de radón supere el nivel de referencia y fomentarán, cuando proceda, la adopción de medidas para reducir la concentración de radón en dichas viviendas por medios técnicos o de otro tipo.
3. Los Estados miembros garantizarán que se facilite la información local y nacional relativa a la exposición al radón en recintos cerrados y a los riesgos asociados para la salud, así como sobre la importancia de efectuar medidas de radón y sobre los medios técnicos disponibles para reducir las concentraciones de radón existentes.

El artículo 103 hace mención a la obligación de los estados de realizar los planes de acción precisos para evitar las concentraciones superiores a las indicadas. Literalmente dice:

1. Los Estados miembros garantizarán que se adopten las medidas adecuadas para impedir que el radón entre en los edificios de nueva construcción. Entre estas medidas se podrán incluir requisitos específicos en los códigos de edificación nacionales.
2. Los Estados miembros identificarán aquellas zonas en las que se espere que el promedio anual de concentración de radón en un número significativo de edificios supere el nivel de referencia nacional.

### 1.3 Legislación Española

En estos momentos la legislación española queda reducida al RD 783/2001 de 6 de Julio Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes, y al RD1439/2010 de 5 de Noviembre que modifica el anterior. Pero no hay nada que regule las actuaciones preventivas en la edificación. Ciertamente es que se va a modificar el C.T.E en su sección de salubridad sobre las concentraciones de Radón admisibles.

Se habla de transcribir la EUROATOM sin más, pero desde diferentes colectivos se está pidiendo que se rebaje la cifra a no más de **100 Bq m<sup>-3</sup>**. Desde el CSN (Consejo de Seguridad Nuclear) se propone lo siguiente:

Con el objetivo de introducir un apartado referente a la protección frente a gas radón en dicho Código, se podría expresar la exigencia de la siguiente manera:

***El diseño, la construcción, y en su caso la rehabilitación del edificio, se llevará a cabo de manera que se asegure que los ocupantes no estén expuestos a concentraciones de radón que pudieran implicar un riesgo para la salud. (6)***

Como referencia, los niveles de concentración de gas radón recomendados serían los contemplados en la Recomendación de la Comisión Europea de 21 de febrero de 1990 (90/143/Euratom), en la que se establecen dos niveles:

- 200 Bq/m<sup>3</sup> como **nivel de diseño** (objetivo a cumplir) para edificios de nueva construcción. Se recomienda tomar las medidas necesarias, para que, aplicadas al diseño del edificio y una vez construido éste, los niveles de radón no superen dicho valor.
- 400 Bq/m<sup>3</sup> como **nivel de actuación** en edificios existentes. Si los niveles de concentración medidos en un edificio existente superan este valor, se recomienda introducir medidas correctoras con el fin de reducir la concentración.”(7)

Estos valores son anteriores a la nueva EUROATOM, ya que estos varían ahora en vivienda nueva a 300Bq/m<sup>3</sup> y no se hace mención a otros valores para viviendas existentes. En países con mayor cultura de Radón como EE.UU, la concentración a partir de la cual se ha de actuar es de 150Bq/m<sup>3</sup>, es decir la mitad de lo que se pretende en Europa y España, de hecho en Gran Bretaña se va a rebajar la cantidad a los 100Bq/m<sup>3</sup>. No se hace distinción entre obra nueva y existente.

## 2. EL RADÓN Y LAS AFECCIONES A LA SALUD

“El principal efecto establecido de la exposición al radón es el cáncer de pulmón. Según la Organización Mundial de la Salud, el radón es la segunda causa de cáncer de pulmón después del tabaco. Existe mucha evidencia científica al respecto y con grandes estudios realizados en todo el mundo. Se sabe que por cada 100 Bq/m<sup>3</sup> de aumento en la exposición a radón se incrementa en un 16% el riesgo de contraer cáncer de pulmón.” Se desconoce el umbral por debajo del cual la exposición no suponga un riesgo, y por otro lado está demostrado que la mayoría de los casos de cáncer de pulmón están provocados por concentraciones bajas o moderadas, y no por concentraciones elevadas. Entre el 3% y el 14% de todos los cánceres de pulmón se deben al radón” (8). Según esos datos, entre 1500 y 2000 personas mueren al año en España por cáncer de pulmón provocado POR EL RADÓN.

“En el análisis agrupado europeo, la relación entre la exposición y la respuesta pareció ser aproximadamente lineal, sin observarse un umbral por debajo del cual no existiese aumento de riesgo” (5). En particular, los resultados no son compatibles con ningún umbral superior a 150 Bq/m<sup>3</sup> (el límite superior del IC 95, Índice de confianza al 95%, para cualquier posible umbral fue de 150 Bq/m<sup>3</sup>). Además, los investigadores hallaron una asociación estadísticamente significativa entre la concentración de radón y el cáncer de pulmón, incluso cuando el análisis se restringió a las personas cuyos hogares registrasen concentraciones medidas de radón inferiores a 200 Bq/m<sup>3</sup>.” El riesgo de cáncer de pulmón fue un 20% menor (IC95: 3-30%) para las personas expuestas a **concentraciones medidas** de radón de 100-199 Bq/ m<sup>3</sup> (media: 136 Bq/m<sup>3</sup>) con respecto a las expuestas a concentraciones medidas de radón inferiores a 100 Bq/m<sup>3</sup> (media: 52 Bq/m<sup>3</sup>).”(9)

Se han hecho estudios similares en EE.UU y China con resultados parecidos, que llevan a una conclusión y es el incremento de un 10% promedio de incremento de posible cáncer de pulmón por cada 100 Bq/m<sup>3</sup> de concentración de Radón.

También hay que tener en cuenta que la acción del cáncer por exposición al Radón se potencia en el caso de fumadores. Tal es así que en las personas que nunca han fumado, se ha estimado que residir en una vivienda con una concentración de radón en interiores de 0, 100 u 800 Bq/m<sup>3</sup> se asocia a un riesgo de fallecer por cáncer de pulmón (antes de los 75 años de edad) del 4, 5 o 10 por mil respectivamente. En cambio, para un fumador, los respectivos riesgos serían del 100, 120 y 220 por mil. (10)

Como podemos ver la acción de concentraciones de Radón resulta nociva para la salud del ser humano.

### 3. FUENTES Y LOCALIZACIÓN EN ESPAÑA

Las fuentes del Radón, una vez explicada su procedencia, podemos NATURALES Y ARTIFICIALES, como se ve en la Figura nº1.



Fig. 1: Contribución de las distintas fuentes de exposición, natural y artificial, a la dosis recibida por la población. (11)

Lo que interesa a los técnicos y agentes implicados en la construcción, son las fuentes naturales el suelo y los materiales de construcción, que son los que nos afectan a la hora de nuestro diseño constructivo en tanto en cuanto pueden ser emisores de Radón y que afectan a la salud de los ocupantes de los edificios. Esto no sólo atañe a las viviendas, sino también a los operarios en sus puestos de trabajo, dado que las consideraciones que se hacen para las viviendas son las mismas o similares que las se puedan realizar en edificios industriales, de comercio u oficinas dado que los trabajadores también se pueden encontrar expuestos a las emisiones de Radón en sus puestos de trabajo. Es por tanto lógico que los técnicos que participamos en el diseño y ejecución de cualquier edificación tengamos en cuenta al Radón en nuestros proyectos de edificación. Para ello es importante tener un mapa predictivo de exposición, como el que se representa realizado por el Consejo de Seguridad Nuclear.



Fig.2-Mapa de exposición al Radón (12)

En Zaragoza tenemos una calificación de medio-bajo, según el mapa predictivo. Se puede consultar en [www.vivesinradon.org](http://www.vivesinradon.org).

### 3.1 INMISIONES POR EL SUELO

En construcciones aisladas o en las plantas bajas de edificios sin sótano, la fuente más importante de radón es el radio presente en el terreno. La concentración de radio en el suelo se halla generalmente entre 10 y 50 Bq/kg, aunque puede alcanzar valores muy superiores. El valor promedio es de alrededor de 40 Bq/kg. Las concentraciones de radón en suelos varían entre 10000 y 50000 Bq/m<sup>3</sup>. En algunos casos, la presencia de radón puede venir, además, aumentada por la existencia en la zona de materiales de desecho procedentes de operaciones realizadas en minas de uranio o de fosfatos.

La cantidad de radón que entra en un interior a partir del suelo depende principalmente de la concentración de radio-226 en el subsuelo y de la permeabilidad de éste.

El radón procedente del terreno y de los materiales pasa al aire interior por difusión molecular. En una fase inicial, por desintegración del radio existente, se forma una fracción de radón que emana del medio sólido y ocupa los poros existentes pudiendo, a partir de ellos, desplazarse hasta alcanzar la superficie y pasar al aire. Este mecanismo vendrá afectado por la distancia (longitud de difusión) que el radón puede recorrer antes de desintegrarse y que para un suelo normal es de alrededor de 1 m. Este proceso puede ser acelerado por las diferencias de presión existentes entre el gas del suelo y el interior de la casa. A menudo la existencia de mecanismos extractores de ventilación o intercambiadores de aire para calefacción hace que en las habitaciones se generen corrientes de aire y depresiones que favorecen el paso de radón desde el suelo y desde la propia estructura a través de los poros y fisuras existentes, pasando al aire en cantidades importantes, lo que explica las elevadas concentraciones que se han encontrado en algunos interiores.

### 3.2.-MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

“Los materiales de construcción son, en general, la segunda fuente en importancia de radón en interiores. La emisión de radón a partir de los materiales de construcción depende no sólo de la concentración de radio en los mismos sino también de factores tales como la fracción de radón producido que es liberado del material, la porosidad del material y la preparación de la superficie y el acabado de las paredes. Cuando el contenido en radón de los materiales de construcción es alto el mecanismo de difusión antes comentado es importante ya que por ejemplo para el hormigón la longitud de difusión es del orden de 10-20 cm.”.(13)



Fig.3.-Fuentes y rutas de acceso del Radón (11)

#### 4. SISTEMAS DE MEDICIÓN

“Para la medición de gas Radón pueden usarse tres métodos diferentes. Es importante en la práctica distinguir si el método utilizado mide la concentración de gas radón o mide la concentración o alguna otra característica de los productos descendientes de radón. De todas formas las técnicas pueden ser activas o pasivas y pueden medir rayos  $\alpha$ , radiaciones  $\beta$ , o por el recuento de partículas emitidas de Radón y sus descendientes de vida corta y que es el más habitual.

Las tres metodologías más habituales son: **lecturas instantáneas**, **lecturas continuas** y **métodos integrados**

**Las instantáneas** son de 1 segundo a 20 minutos y sirven para determinar puntos de entrada dado que no son muy precisos y comprobar la eficacia de las medidas correctoras. Son aparatos relativamente económicos.

**Las continuas** se hacen pasar un flujo constante de aire a través de un detector adecuado durante largos períodos de tiempo, evaluándose continuamente la concentración. Son métodos que proporcionan mucha información pero resultan caros y están limitados a tareas de investigación. Son imprescindibles para estudiar las fluctuaciones en tiempo real de las concentraciones.

**Las integradas** emplean dispositivos que permiten obtener información sobre concentraciones promedio durante un tiempo que puede llegar a días, semanas o meses. Son los más usados y los menos caros y nos permiten tomar decisiones correctoras tras un periodo de tres meses de toma de datos.

Los equipos más empleados para la detección son los de

**Células de centelleo** Pueden tener distintos tamaños y consisten en cilindros metálicos, con un extremo transparente, que están recubiertos en su interior por una capa uniforme de sulfuro de cinc activado con plata que da respuesta frente a las partículas  $\alpha$ . Las muestras de aire se introducen en su interior, previo vacío, y tras alcanzarse el equilibrio se mide el número de destellos de luz con un tubo foto multiplicador para determinar la concentración de radón en el aire.

- **Detectores sólidos de trazas** Son sistemas pasivos que se basan en el uso de materiales tales como láminas finas de nitrato de celulosa o policarbonato que tienen la propiedad de que en ellos quedan impresionadas las trazas debidas a las radiaciones emitidas por el radón y sus descendientes después de un tiempo de exposición.
- **Detectores de carbón activo** Son también sistemas pasivos, muy simples, basados en la capacidad del carbón activo para retener el radón. Los tiempos de muestro empleados varían entre dos y siete días y el nivel de radón se establece, en este caso, midiendo la radiación g emitida por el carbón activo con un detector adecuado, como el de ioduro sódico.”(14)

## 5. SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS

Las actuaciones que se están realizando en países de Europa y en EE.UU y Canadá, van en la línea de frenar la entrada de Radón en las viviendas mediante dos sistemas que pueden usarse de forma independiente o conjunta para aumentar la eficacia de ambos. Son sistemas de barrera y sistemas de extracción y presurización.

### 5.1.-Sistemas de barrera anti radón:

“Estrategias de estanquidad frente al gas mediante la aplicación de barreras impermeables al radón en los elementos constructivos que conforman la envolvente del edificio y que están en contacto con el terreno. Pueden ser de dos tipos. Membranas líquidas continuas o láminas que se superponen y sellan después. Las dos son efectivas, pero requieren de especialistas que hagan una correcta aplicación. Las líquidas tienen la ventaja sobre las rígidas que no tienen solapes que sellar, por lo que la posibilidad de que se produzcan fugas de radón por las uniones no existe al ser una única superficie sin uniones.” Ver la figura 4 (15)

### 5.2.-Sistemas de extracción y presurización:

“Estos sistemas basan su funcionamiento en la extracción del gas del terreno circundante a la edificación, y evacuarlo a la atmósfera para impedir que penetre en el edificio, o bien invertir el sistema e impulsar aire bajo la vivienda creando un punto de sobrepresión que desvíe el flujo del gas. La figura 5 muestra un ejemplo del sistema de extracción. A raíz de los resultados obtenidos de la aplicación de las distintas técnicas de protección en viviendas con presencia de radón, se ha podido estudiar la efectividad de las mismas en relación a su capacidad para atenuar la entrada de radón, y de esta manera, poder aconsejar unas medidas de actuación u otras, en función de la categoría de exposición al radón del terreno de que se trate. (16)”

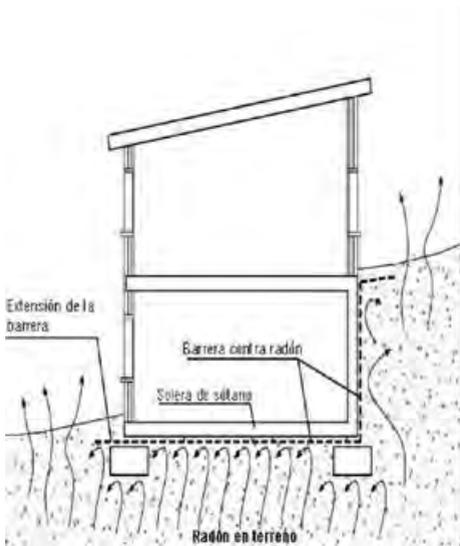


Fig.4 Barrera antiradón (17).

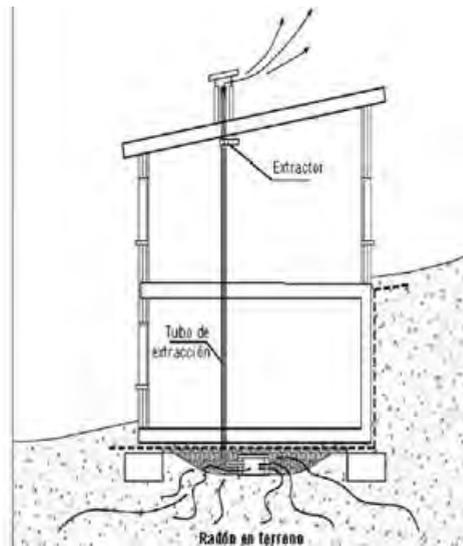
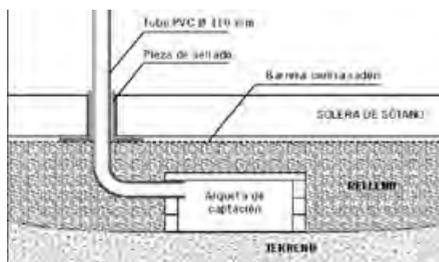
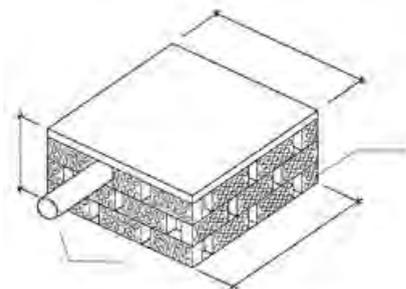


Fig.5 Extracción y Presurización (18).

La solución de barrera anti radón tiene la ventaja que se puede aplicar por fuera del edificio (obra nueva) o por dentro del mismo (rehabilitación), evitando el sobrecosto que supone la ejecución de las obras necesarias para el sistema de extracción (sobre todo en rehabilitación), siendo además un sistema de impermeabilización permite solucionar dos problemas al mismo tiempo, ya que reduce o elimina las inmisiones del Radón e impermeabiliza los paramentos y suelos.

Pero no siempre es posible solucionar el problema con barrera, por lo que ya se ha comentado de los dos sistemas como complementarios. Las inmisiones de Radón varían en función del tiempo, concentración en el subsuelo, temperatura (se considera que las emisiones en verano no se pueden tomar a efectos de tomar decisiones de actuación), la humedad relativa, la presión barométrica, etc...

Por otro lado los sistemas de ventilación forzada pueden tener dos problemas, la despresurización que pueden provocar, con lo que se crea una captación de más Radón, y la pérdida de eficiencia energética por un exceso de ventilación.



## 6. CONCLUSIONES

Es evidente que en estos momentos se está produciendo un movimiento de conciencian en la sociedad a través de grupos de investigación en las Universidades de Cantabria y Santiago de Compostela así como entidades de defensa del consumidor como la OCU y Fundaciones como Fundación Geo ambiental y Vive sin Radón, que no sólo han hecho una labor de investigación y determinación del mapa de Radón (independientemente del oficial del CSN) pormenorizado por localidades, sino que están implicados en la difusión de la cultura del Radón a través de medios de comunicación, intentando concienciar a la administración y los políticos de la problemática que para la salud supone el Radón.

Los técnicos tienen la misión de participar en este movimiento de divulgación a través del diseño y la aplicación de soluciones constructivas y productos, existentes en el mercado, que supongan la reducción de las concentraciones de Radón en las viviendas de nueva construcción, que es lo fácil, en solucionar los problemas en viviendas ya existentes a través de la rehabilitación y reducir la exposición en puestos de trabajo. El C.T.E a de recoger los parámetros de la EUROATOM, pues nos enfrentamos a un problema de salud que requiere una solución global y efectiva. Todo lo que se invierta en solucionar las inmisiones de Radón, significa mejorar la calidad de vida de los españoles.

Es nuestro deber como técnicos tener presente este hecho y aplicarnos a la tarea de informar y formar a los agentes de la construcción, para que se tomen medidas preventivas en el proyecto de edificación de cualquier edificio sea centro de trabajo o vivienda en todo el territorio nacional.

“LO QUE NO SE VE NO EXISTE”, esta frase es lo que hace del Radón un enemigo peligroso difícil de combatir.

## 7. BIBLIOGRAFIA Y CITAS

### Citas

(1), (2), (3), (4) Artículo de EL PAIS de 12/11/2014, autor (Jaime Prats)

### Bibliografía

(5),(6),(15),(16),(17),(18),(19) Colección de informes técnicos del CSN, Año 2010, “Protección frente a la inmisión de gas Radón en edificios”.

(7) Directiva europea EUROATOM 2013/59.

(8),(9),(10),(11) Manual de la OMS sobre el Radón en interiores, autor (Organización Mundial de la Salud)

(12),(13),(14) NTP 440: Radón en ambientes interiores (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene)

**GESTIÓN DE LA PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES EN OBRAS DE  
CONSTRUCCIÓN SIN PROYECTO.  
OBRAS EN COMUNIDADES DE PROPIETARIOS**

MARTÍNEZ CARRILLO, MANUEL JAVIER<sup>1</sup>; PÉREZ GÁZQUEZ, JESÚS<sup>2</sup>;  
DEL PINO LERUITE, JUAN CARLOS<sup>3</sup>; SEVILLA DELGADO, JOSÉ LUIS<sup>4</sup>;  
ESPÍNOLA JIMÉNEZ, ANTONIO<sup>5</sup>; MORENO MEDINILLA, FABIOLA<sup>6</sup>

<sup>1</sup> *Universidad de Granada / Junta de Andalucía, Granada, España*  
*E-mail: manueljmartinez@ugr.es, Web: www.ugr.es*

<sup>2</sup> *Máster Prevención de Riesgos Laborales. UGR., Granada, España*  
*E-mail: jesusseron@correo.ugr.es, Web: www.ugr.es*

<sup>3</sup> *Ayuntamiento de Granada, Granada, España*  
*E-mail: jcarlosdp@yahoo.es, Web: www.coaatgr.es*

<sup>4</sup> *Técnico Municipal. Ayuntamiento de Iznalloz, Granada, España*  
*E-mail: jlsevilla.oficina@gmail.com, Web: www.coaatgr.es*

<sup>5</sup> *Investigador UGR, Granada, España*  
*E-mail: antonioespinalajimenez@gmail.com, Web: www.ugr.es*

<sup>6</sup> *Profesional Libre, Granada, España*  
*E-mail: fmedinilla@hotmail.com, Web: www.coaatgr.es*

**PALABRAS CLAVE:** Gestión preventiva, Obras sin proyecto, Comunidades de propietarios.

**RESUMEN**

El Real Decreto 1627/1997, es aun a día de hoy, y después de veinte años desde su entrada en vigor, la norma reglamentaria que fija y concreta los aspectos técnicos de las medidas preventivas para garantizar la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores del sector de la construcción.

Los Censos de Población y Viviendas 2011 (INE), reflejan un incremento del 13,2% del número de edificios (9.804.090) y del 20,3% del de viviendas (25.208.623) en los 10 últimos años.

Según el estudio sobre las condiciones y características de vivienda en la UE 2014 (Eurostat), España es uno de los países donde más alta es la proporción de personas que viven en pisos (66,6%), siendo cierto que aunque no sea propietaria, casi la totalidad de los españoles ha vivido o vive en edificios de pisos bajo el régimen de propiedad horizontal.

Las Comunidades de Propietarios acometen periódicamente obras de mejora, reparación, mantenimiento o conservación, sin proyecto, convirtiéndose en promotores, representados por su presidente, asumiendo con ello las consiguientes obligaciones y las subsiguientes responsabilidades.

El hecho de que una obra no disponga de proyecto podría suponer, equivocadamente, que su peligrosidad es menor a las de las obras con proyecto, y que por lo tanto no sería necesario analizar de forma específica los riesgos de las mismas ni, en consecuencia, planificar la acción preventiva a desarrollar. Esta percepción de menor riesgo en obras sin proyecto es un obstáculo a evitar para alcanzar una correcta gestión de la prevención de riesgos laborales, así como para conseguir un adecuado nivel de seguridad y protección durante la ejecución de los trabajos.

El objetivo general de esta comunicación se centra en marcar pautas para la gestión preventiva de las obras sin proyecto, identificando las obligaciones y responsabilidades de las Comunidades de propietarios como promotores de las mismas.

## 1. INTRODUCCIÓN

La burbuja inmobiliaria que ha padecido España en los últimos años no tiene antecedentes en la historia de nuestro país. La construcción descontrolada de viviendas de obra nueva tanto unifamiliar como plurifamiliar durante los años de crecimiento económico ha creado un exceso de viviendas. Los Censos de Población y Viviendas 2011 del Instituto Nacional de Estadística (INE), reflejan un incremento del 13,2% del número de edificios (9.804.090) y del 20,3% del de viviendas (25.208.623) en el periodo de 10 años<sup>1</sup> de 2001 a 2011.

No obstante, más de la mitad del parque inmobiliario de nuestro país es anterior al año 1980, concretamente el 54% de las viviendas están rondando los cuarenta años<sup>2</sup>. Es en los años sesenta y setenta, en tan solo 20 años, cuando se construye aproximadamente el 50 % de todas las viviendas edificadas en el siglo XX. En este sentido observamos que el parque inmobiliario español envejece progresivamente al mismo ritmo que su población.

Según el estudio sobre las condiciones y características de vivienda en la UE 2014 (Eurostat), España es uno de los países donde más alta es la proporción de personas que viven en pisos (66,6%), siendo cierto que aunque no sea propietaria, casi la totalidad de los españoles ha vivido o vive en edificios de pisos bajo el régimen de propiedad horizontal.

En los años previos a la crisis económica casi la totalidad de los visados de los colegios de arquitectos y arquitectos técnicos para bloques familiares eran para la realización de obra nueva, y a medida que avanza la crisis aumentan de manera progresiva los visados de obra para reformar y rehabilitar edificios. Actualmente se está produciendo una recuperación en el sector de la construcción y los visados para la reforma de edificios han decrecido algunos

<sup>1</sup> Disponible en [http://www.ine.es/censos2011\\_datos/cen11\\_datos\\_inicio.htm](http://www.ine.es/censos2011_datos/cen11_datos_inicio.htm)

<sup>2</sup> Datos Ministerio de Fomento 2014.

puntos, pero aun así la cifra se mantiene en niveles considerables y muy superiores a los primeros años del milenio.

Una Comunidad de Propietarios es un conjunto de personas vinculadas por el derecho de propiedad que ostentan sobre su vivienda y sobre los elementos comunes de un edificio. La Ley 49/1960, de 21 de julio, sobre Propiedad Horizontal, recoge las normas de convivencia y actuación para los usuarios de los edificios de viviendas y organiza a todos los propietarios para el mantenimiento de las zonas comunes de los mismos.

Las disposiciones mínimas relativas a la seguridad y salud de los trabajadores que ejecutan obras de construcción están reguladas a través del Real Decreto 1627/1997. La aplicación de esta norma no depende de la magnitud, volumen ni duración de la obra, por lo que es aplicable también a las obras menores sin proyecto. Generalmente las obras menores carecen de proyecto de obra porque este no es exigible por la autoridad competente. Suele tratarse de obras de escasa entidad técnica y que no afectan a elementos estructurales, tales como: revoco y pintura de fachadas, montaje y desmontaje de bajantes y canalones, acometidas de servicios a edificios, reparación de cubiertas, pequeñas rehabilitaciones en viviendas y oficinas, etc. No obstante, que una obra de construcción sea menor no significa que sea menos peligrosa para los trabajadores por lo que, en cualquier caso, es necesario tener en cuenta las obligaciones de todos los intervinientes para integrar la prevención de riesgos laborales en las distintas fases de la obra.

## **2. GESTIÓN DE LA PREVENCIÓN EN OBRAS DE CONSTRUCCIÓN SIN PROYECTO**

La temporalidad, la movilidad y la concurrencia empresarial son algunos aspectos que caracterizan la ejecución de la mayor parte de las obras de construcción. La gestión de la prevención de los riesgos laborales en este ámbito debe atender entre otros, a estos factores y adaptarse a la idiosincrasia de un sector tan particular como es el de la construcción. Estas singularidades tienen también su reflejo en un marco normativo específico, entre otros aspectos, una atribución de funciones y obligaciones en materia preventiva para cada una de las figuras que intervienen en el proceso constructivo. En el ámbito preventivo existe desde hace muchos años un reconocimiento generalizado, acerca de la necesidad de integrar la prevención en la empresa como elemento clave para incrementar la eficacia de la acción preventiva y crear una verdadera cultura preventiva en la empresa que se concretará en la implantación y aplicación del plan de prevención de riesgos laborales<sup>3</sup>.

Los principios generales de prevención constituyen uno de los fundamentos del enfoque adoptado en la legislación de la Unión Europea (UE) en relación con la seguridad de los trabajadores. La Directiva 89/391/CEE<sup>4</sup>, también conocida como «Directiva marco», introduce medidas para fomentar las mejoras de la seguridad y la salud de los trabajadores y establece una amplia estrategia para controlar los riesgos en todos los lugares de trabajo. La Directiva hace de los principios generales de prevención y de evaluación y gestión del riesgo las piedras angulares que garantizan la seguridad y la salud en el trabajo. La transposición de estos principios al ordenamiento jurídico español, se llevo a cabo a través de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.

<sup>3</sup> Ley 54/2003, de 12 de diciembre, de reforma del marco normativo de la prevención de riesgos laborales.

<sup>4</sup> DIRECTIVA DEL CONSEJO de 12 de junio de 1989 relativa a la aplicación de medidas para promover la mejora de la seguridad y de la salud de los trabajadores en el trabajo (89/391/CEE).

La Directiva 92/57/CEE<sup>5</sup>, octava específica de la Directiva marco, relativa a las disposiciones mínimas de seguridad y de salud que deben aplicarse en las obras de construcción temporales o móviles «Directiva de obras de construcción», establece los requisitos mínimos en materia de seguridad y de salud que han de cumplir todas las obras de construcción temporales y móviles, igualmente transpuesta al Derecho español por el Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción.

La Directiva de obras de construcción, en su artículo 2 define las obras de construcción como “*cualquier obra en la que se efectúen trabajos de construcción o de ingeniería civil cuya relación no exhaustiva figura en el Anexo I*”, por otro lado, el Real Decreto 1627/1997 las define igualmente en su artículo 2 como “*cualquier obra, pública o privada, en la que se efectúen trabajos de construcción o ingeniería civil cuya relación no exhaustiva figura en el anexo I*”.

Ante una definición tan genérica y una relación tan amplia y, sin embargo, no exhaustiva, la Guía Técnica para la evaluación y prevención de riesgos relativos a las obras de construcción<sup>6</sup> del actual Instituto Nacional de Seguridad Salud y Bienestar en el Trabajo (INSSBT) precisa que se entenderá como “obra de construcción” el lugar donde se desarrolla, con carácter temporal, cualquiera de las actividades señaladas en el citado anexo I del RD 1627/1997 o de las relacionadas en la sección F (apartados 41 a 43) de la Clasificación Nacional de Actividades Económicas CNAE/2009<sup>7</sup> (RD 475/2007, de 13 de abril), siempre que las mismas estén referidas a trabajos intrínsecamente asociados a actividades de construcción (edificación e ingeniería civil) y se ejecuten con tecnologías propias de este tipo de la industria de la construcción.

Por otro lado, la Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación, define el proyecto como “*el conjunto de documentos mediante los cuales se definen y determinan las exigencias técnicas de las obras contempladas en el artículo 2. El proyecto habrá de justificar técnicamente las soluciones propuestas de acuerdo con las especificaciones requeridas por la normativa técnica aplicable*”. Los contenidos del proyecto de edificación, sin perjuicio de lo que, en su caso, establezcan las Administraciones competentes vienen recogidos en el Anejo I. Contenido del Proyecto del Código Técnico de Edificación, aprobado por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo.

Las obras de construcción que habitualmente acometen las Comunidades de Propietarios en función de la existencia, o no, de proyecto se pueden clasificar:

- a. Obras de edificación con proyecto. Son aquellas donde es legalmente exigible un proyecto, según se ha definido éste anteriormente.
- b. Obras de edificación sin proyecto. Son las que se ejecutan sin contar con proyecto previo.

*b.1. Obras en las que el proyecto no es exigible para su tramitación administrativa:*

- Revoco y pintura de: fachadas, patios, cajas de escalera, etc.
- Montaje y desmontaje de instalaciones, montantes, bajantes, canalones, etc.

<sup>5</sup> DIRECTIVA 92/57/CEE DEL CONSEJO de 24 de junio de 1992 relativa a las disposiciones mínimas de seguridad y de salud que deben aplicarse en las obras de construcción temporales o móviles (octava Directiva específica con arreglo al apartado 1 del artículo 16 de la Directiva 89/391/CEE)

<sup>6</sup> Disponible en [http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Normativa/GuiasTecnicas/Ficheros/g\\_obras.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Normativa/GuiasTecnicas/Ficheros/g_obras.pdf)

<sup>7</sup> Real Decreto 475/2007, de 13 de abril, por el que se aprueba la Clasificación Nacional de Actividades Económicas 2009 (CNAE-2009)

- Cableado de fachadas.
- Reparación de humedades.
- Acometidas de servicios a edificios: agua, gas, electricidad, teléfono.
- Pequeñas reparaciones de aceras.
- Sustitución de algunas tejas en una cubierta.
- Pequeñas rehabilitaciones en viviendas, oficinas etc.

### *b.2. Obras de emergencia:*

Son aquellas que están condicionadas por la necesidad de una intervención rápida y urgente, lo que imposibilita la redacción de un proyecto, en el sentido estricto del término, antes del inicio de la obra.

- Demolición por peligro inminente.
- Apeos, apuntalamientos o refuerzos urgentes de estructuras o edificios.
- Obras como consecuencia de roturas en las conducciones (agua, gas, saneamiento, etc.).

Partiendo de la idea fundamental de que desde el punto de vista preventivo, distinguir entre obras con o sin proyecto no tiene sentido, en el Real Decreto 1627/1997 no se hace ninguna referencia a “obras sin proyecto”, no obstante la Guía Técnica del INSSBT para la Evaluación y Prevención de Riesgos relativos a las Obras de Construcción, en su primera edición de 2004, establecía los diferentes “tipos de obra” en atención a la existencia o no de proyecto incluyendo en estas últimas, las obras de corta duración y escasa importancia tecnológica y económica, inclusión que se corrige con la publicación de la segunda edición de la Guía Técnica para la Evaluación y Prevención de Riesgos relativos a las Obras de Construcción de 2012 donde ya no plantea en la clasificación de obras sin proyecto las obras de corta duración.

El hecho de que una obra no disponga de proyecto podría dar lugar a entender, equivocadamente, que su peligrosidad es menor a la de las obras en las que existe proyecto y que, por lo tanto, no es necesario analizar de forma específica los riesgos de la misma ni, en consecuencia, planificar la actividad preventiva que se ha de desarrollar. Esta percepción de menor peligro en las obras sin proyecto es de por sí un obstáculo adicional para alcanzar un nivel de protección adecuado durante la ejecución de los trabajos.

## **2.1 Gestión de la prevención de riesgos laborales en cada fase de la obra sin proyecto**

A continuación analizaremos de forma esquemática los criterios generales para la gestión de la seguridad y salud en las obras de construcción sin proyecto, proporcionando orientaciones para su aplicación práctica en cada fase o etapa de una obra sin proyecto según las fases recogidas en la figura 1.



Figura 1. Etapas-Fases en la gestión de la prevención en Obras sin proyecto.

Para todos aquellos aspectos normativos sobre los que no se hace mención explícita en este apartado, se debe entender que las obligaciones relativas a la gestión de la seguridad y salud en una obra sin proyecto son las mismas que las establecidas por el Real Decreto 1627/1997 para las obras con proyecto.

### **2.1.1 Fase de inicio y diseño. Recopilación y transmisión de información**

En esta etapa se debe recopilar la información relevante sobre los riesgos que se pueden presentar en la obra y, en consecuencia, sobre las medidas que se deben adoptar. Esta recopilación corresponde tanto a la Comunidad de Propietarios como promotor, como a la empresa contratista. Esta información ha de centrarse esencialmente en las características del emplazamiento y en la concurrencia de actividades dentro de la obra y entre esta última y la propia comunidad como centro de trabajo en su caso. En este sentido, lo fundamental es que esta información se transmita del promotor al contratista para que éste pueda planificar adecuadamente los trabajos integrando la prevención de riesgos laborales desde el inicio de la obra.

### **2.1.2 Fase de contratación. Determinación del contratista y de técnicos designados**

En función de las características de la obra y de la información recopilada, la Comunidad de Propietarios debidamente asesorada por el personal técnico-administrativo, debe seleccionar al contratista adecuado para la ejecución de obra. Esta selección debe basarse sin duda, en aspectos técnicos, económicos y de plazo, pero también se han de considerar criterios preventivos básicos, en este sentido el contratista debe demostrar que cuenta con una estructura y recursos suficientes para poder ejecutar la obra en condiciones adecuadas de seguridad y salud para todos los trabajadores.

En todo caso, las empresas que pretendan ser contratadas o subcontratadas para trabajos en una obra de construcción deberán estar inscritas en el Registro de Empresas Acreditadas, según se establece en el Real Decreto 1109/2007, de 24 de agosto, por el que se desarrolla

la Ley 32/2006, de 18 de octubre, reguladora de la subcontratación en el Sector de la Construcción. Por otra parte, cuando se prevea, o se tenga conocimiento de que en la ejecución de la obra vaya a intervenir más de una empresa o una empresa y trabajadores autónomos o diversos trabajadores autónomos, la Comunidad de Propietarios como de promotor de la obra debe designar un Coordinador en materia de Seguridad y Salud durante la Ejecución de la obra (CSSE), independientemente del volumen y duración de dicha obra.

Conviene señalar que la designación del CSSE depende únicamente de la concurrencia empresarial, no de la existencia de proyecto de obra. En este sentido hay que recordar que hasta el año 2008 el criterio dominante era que la designación del CSSE únicamente podía exigirse cuando la obra contase con proyecto de ejecución, por estar el CSSE integrado en la dirección facultativa, y ser ésta una figura exigible únicamente en obras con proyecto<sup>8</sup>. Con la publicación del Informe sobre la obligatoriedad de designación de coordinador de seguridad y salud en las obras de construcción que carecen de proyecto de ejecución” por parte de la Dirección General de Trabajo en 2008, establece que el criterio tradicional debe modificarse tras la entrada en vigor del Real Decreto 171/2004, de 30 de enero, por el que se desarrolla el artículo 24 de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, en materia de coordinación de actividades empresariales, y que por tanto la designación de CSSE es independiente de la existencia o no de proyecto de ejecución<sup>9</sup>. Este criterio de la Dirección General de Trabajo se ratificó mediante Sentencia del Tribunal de Justicia de la Unión Europea, que interpreta que la Directiva 92/57/CEE se opone a que exista normativa nacional que establezca excepciones a la obligación de designar un CSSE concluyendo que la Directiva enuncia sin ambigüedad la obligación de designar a un CSSE en cualquier obra en la que estén presentes varias empresas<sup>10</sup>.

### **2.1.3 Fase de Planificación y Organización de los trabajos. Elaboración del Documento de Gestión Preventiva de la Obra**

A partir de la información recabada en las fases anteriores, el contratista debe planificar los trabajos integrando la prevención de riesgos laborales en todas sus decisiones y actividades. Esta es la etapa fundamental y crítica en la que se deben integrar todas las medidas preventivas en el proceso constructivo. Para ello, considerando la información recopilada en las fases anteriores, la evaluación de los riesgos laborales y la planificación de la actividad preventiva de los contratistas y subcontratistas, así como los riesgos originados por la concurrencia de actividades en la obra, cada empresa habrá de incorporar las medidas preventivas oportunas en sus procedimientos de trabajo.

Hay que recordar que el Consejo General de Colegios Oficiales de Aparejadores y Arquitectos Técnicos hoy en día, Consejo General de la Arquitectura Técnica de España, solicitó a la Dirección General de Trabajo que se pronunciara sobre la posibilidad de exigir, como venían haciendo hasta entonces algunas Corporaciones Locales, para las obras sin proyecto una memoria técnica acompañada de un Estudio Básico de Seguridad y Salud. La Dirección General de Trabajo se pronunció el 29/10/2008, confirmando que el Estudio de Seguridad y Salud (ESS) o en su caso el Estudio Básico de Seguridad y Salud (EBSS) configurados

<sup>8</sup> Criterio de la Comisión Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo, recogido en la Guía Técnica para la Evaluación y Prevención de Riesgos relativos a las Obras de Construcción, en su primera edición de 2004.

<sup>9</sup> Criterio recogido en la Guía Técnica para la Evaluación y Prevención de Riesgos relativos a las Obras de Construcción, en su segunda edición de 2012.

<sup>10</sup> Tribunal de Justicia de la Unión Europea. Sentencia CEE. 7/10/2010.

en el Real Decreto 1627/1997, sólo tiene sentido en el marco del proyecto de ejecución, como medio de garantizar la coherencia entre las soluciones constructivas y las soluciones preventivas y por tanto, no procede elaborarlos sin la existencia de dicho proyecto de obra.

Por tanto en las obras sin proyecto de ejecución no se redactará ni ESS ni en su caso EBSS, y tampoco se elaborará en consecuencia el correspondiente Plan de Seguridad y Salud en el Trabajo (PSST). En este sentido en ausencia del PSST, la planificación, organización, coordinación y control de los procedimientos de trabajo formarán esencialmente, un Documento de Gestión Preventiva de la Obra (DGPO), que será elaborado por el contratista de la obra con el asesoramiento y apoyo técnico de su Servicio de Prevención, y en cooperación con las empresas subcontratistas y trabajadores autónomos, a partir de la evaluación de los riesgos laborales existentes o previstos, a fin de que puedan adoptarse en obra, las medidas de prevención y protección adecuadas.

El DGPO ha de ser un documento realista reflejando la realidad de la obra y de su entorno, específico para los riesgos y medidas asociados a las actividades que efectivamente se van a ejecutar, y práctico para la implantación efectiva de las medidas preventivas previstas. Al no estar sujeto a los trámites formales de aprobación establecidos en el caso del PSST, el DGPO será supervisado por la Comunidad de Propietarios promotor de la actuación, siendo recomendable que contara con el asesoramiento del técnico competente que corresponda. En este sentido, resulta lógico que, en caso de que sea obligatorio el nombramiento de CSSE, sea éste el que lo supervise dando su visto bueno al mismo o, en su caso, sugiriendo las modificaciones oportunas, dejando constancia de ello por escrito.

En caso de que el contratista subcontrate parte de la obra, velará en todo momento por el cumplimiento de la Ley 32/2006, de 18 de octubre, reguladora de la subcontratación en el Sector de la Construcción, habilitando al efecto el correspondiente Libro de Subcontratación. En ocasiones, las obras de construcción menores que realizan las Comunidades de Propietarios se ejecutan a la par que otras actividades habituales como pueden ser la limpieza diaria o las actividades de mantenimiento etc.

En estos casos, a la hora de planificar los trabajos, se debe prever una doble coordinación, por un lado la coordinación de las actividades dentro de la propia obra conforme a lo indicado en el Real Decreto 1627/1997, y por otro la coordinación empresarial entre las actividades de la obra en sí y las actividades que se realizan en la Comunidad de Propietarios, como centro de trabajo conforme al Real Decreto 171/2004.

Previamente a la ejecución de los trabajos, las empresas que van a realizar las distintas tareas deben organizar los medios y recursos para que las obras se puedan llevar a cabo conforme a los procedimientos planificados. Desde el punto de vista preventivo, esta organización debe centrarse, principalmente, en la disposición en la obra tanto de los medios materiales planificados, de las protecciones colectivas e individuales previstas, como de los recursos humanos adecuados, garantizándose que los trabajadores que vayan a ejecutar la obra han recibido la formación oportuna, cuentan con la cualificación necesaria y han sido informados sobre los procedimientos de trabajo planificados y que deben seguir. En relación con lo anterior, no se puede olvidar la designación por parte del contratista de la figura del recurso preventivo, quien supervisará las actividades en las que su presencia sea obligatoria, vigilando al efecto el cumplimiento de las actividades preventivas programadas.

Además de las licencias y permisos oportunos que debe solicitar la Comunidad de Propietarios como promotor de la obra, previamente a la ejecución de los trabajos, el contratista debe realizar y mantener actualizada la comunicación de apertura del centro de trabajo, pre-

sentando a tal efecto ante la autoridad laboral, junto al modelo oficial recogido en la Orden TIN/1071/2010, la evaluación de riesgos laborales, incluida en el DGPO.

#### **2.1.4. Fase de Ejecución. Seguimiento y control de los trabajos.**

El contratista, con el apoyo de la Comunidad de Propietarios, tendrá que coordinar las actividades desarrolladas por sus trabajadores y por aquellas empresas subcontratistas y trabajadores autónomos contratadas por él, con el fin último de controlar los riesgos derivados de la concurrencia de todos ellos. Durante la ejecución de los trabajos es fundamental realizar un seguimiento de los mismos, mediante reuniones, instrucciones o visitas a obra, con objeto de comprobar que se cumple con lo planificado y, en su caso, tomar las medidas necesarias ante posibles incumplimientos o, si fuese necesario, modificar o adaptar la planificación inicial.

El seguimiento y control de las medidas establecidas en el documento de gestión preventiva de la obra se realizará, en ausencia del libro de incidencias, a través de cualquier otro soporte documental que se determine al efecto. En relación con la coordinación llevada a cabo en su caso, por el CSSE, debería documentarse en la correspondiente carpeta de coordinación.

#### **2.1.5. Fase de Finalización. Aportación de documentación e información para el adecuado uso y mantenimiento de lo ejecutado**

Una vez finalizados los trabajos, resulta esencial que el contratista aporte a la Comunidad de Propietarios todo documento o dato relevante para el adecuado uso y mantenimiento de elemento construido en las debidas condiciones de seguridad y salud. Sería conveniente que la Comunidad como promotor de las obras, y con el asesoramiento del técnico competente, antes de recibir la obra, constatará que el estado de la misma es totalmente compatible con la utilización y el mantenimiento previsto.

A su vez, la Comunidad en su caso informará al usuario final, por medio de cualquier soporte documental que se establezca al efecto, sobre las instrucciones de uso y mantenimiento del elemento construido en condiciones de seguridad y salud. La labor de coordinación llevada a cabo en su caso por el CSSE concluirá con la emisión por parte de éste del documento de finalización de la coordinación de seguridad y salud, remitiéndose junto con el medio utilizado para el seguimiento del DGPO, a su Colegio profesional a los efectos de su guarda y custodia.

### **3. CONCLUSIONES**

**C.1.** Desde el punto de vista preventivo, distinguir entre obras con proyecto y obras sin proyecto es un despropósito.

**C.2.** La colaboración entre todos los intervinientes en el proceso constructivo, -Comunidad de Propietarios como Promotor, Contratista, Subcontratista, Trabajador autónomo, o en su caso el Coordinador en materia de seguridad y salud en la fase de ejecución de la obra- es esencial para garantizar la seguridad y salud de todos los trabajadores.

**C.3.** En el ámbito preventivo, independientemente de la obligación legal, es imprescindible integrar la prevención en la empresa constructora como elemento clave para incre-

mentar la eficacia de la acción preventiva y crear una verdadera cultura preventiva y no solo el cumplimiento de la normativa vigente.

**C.4.** En las obras sin proyecto de ejecución no se redactará ni Estudio de Seguridad y Salud ni en su caso Estudio Básico de Seguridad y Salud, y tampoco se elaborará en consecuencia el correspondiente Plan de Seguridad y Salud en el Trabajo. En ausencia de estos documentos básicos para la gestión preventiva de la obra, la planificación, organización, coordinación y control de los procedimientos de trabajo se recogerán en un Documento de Gestión Preventiva de la Obra, que será elaborado por el contratista de la obra con el asesoramiento y apoyo técnico de su Servicio de Prevención, y en cooperación con las empresas subcontratistas y trabajadores autónomos, a partir de la evaluación de los riesgos laborales existentes o previstos.

## 4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### 4.1. Bibliografía general

- Instituto Nacional de Seguridad, Salud y Bienestar en el Trabajo. *Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a las obras de construcción*. 1ª Ed. 2004.
- Instituto Nacional de Seguridad, Salud y Bienestar en el Trabajo. *Guía técnica para la integración de la prevención de riesgos laborales en el sistema general de gestión de la empresa*. 1ª Ed. 2009.
- Instituto Nacional de Seguridad, Salud y Bienestar en el Trabajo. *Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a las obras de construcción*. 2ª Ed. 2012.
- Instituto Nacional de Seguridad, Salud y Bienestar en el Trabajo. *Directrices básicas para la integración de la prevención de los riesgos laborales en las obras de construcción*. 1ª Ed. 2014.
- Instituto Nacional de Seguridad, Salud y Bienestar en el Trabajo. Nota Técnica de Prevención 1071. *Gestión de la seguridad y salud en obras sin proyecto (I): en un centro de trabajo con distinta actividad*. 2016.
- Instituto Nacional de Seguridad, Salud y Bienestar en el Trabajo. Nota Técnica de Prevención 1072. *Gestión de la seguridad y salud en obras sin proyecto (II): en una comunidad de propietarios*. 2016.

### 4.2. Disposiciones legales.

#### EUROPA:

- DIRECTIVA DEL CONSEJO de 12 de junio de 1989 relativa a la aplicación de medidas para promover la mejora de la seguridad y de la salud de los trabajadores en el trabajo (89/391/CEE).
- DIRECTIVA 92/57/CEE DEL CONSEJO de 24 de junio de 1992 relativa a las disposiciones mínimas de seguridad y de salud que deben aplicarse en las obras de construcción temporales o móviles (octava Directiva específica con arreglo al apartado 1 del artículo 16 de la Directiva 89/391/CEE)

#### ESPAÑA:

- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos Laborales. (Texto consolidado al 29/12/2014).
- Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción. (Texto consolidado al 23/03/2010).
- Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación. (Texto consolidado al 15/07/2015).
- Real Decreto 171/2004, de 30 de enero, por el que se desarrolla el artículo 24 de la Ley 31/1995, de 8

de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, en materia de coordinación de actividades empresariales. (BOE n.º 27. 31/01/2004).

- Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. (Texto consolidado al 27/06/2013).
- Ley 32/2006, de 18 de octubre, reguladora de la subcontratación en el Sector de la Construcción. (Texto consolidado al 23/12/2009).
- Real Decreto 475/2007, de 13 de abril, por el que se aprueba la Clasificación Nacional de Actividades Económicas 2009-CNAE-2009- (BOE n.º 102.28/04/2007).
- Real Decreto 1109/2007, de 24 de agosto, por el que se desarrolla la Ley 32/2006, de 18 de octubre, reguladora de la subcontratación en el Sector de la Construcción. (Texto consolidado al 23/03/2010).
- Orden TIN/1071/2010, de 27 de abril, sobre los requisitos y datos que deben reunir las comunicaciones de apertura o de reanudación de actividades en los centros de trabajo.(BOE n.º 106. 01/05/2010).

## LA INTEGRACIÓN DE LA PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES EN LAS OBRAS DE CONSTRUCCIÓN

MANFREDI SALADO, JUAN JOSÉ

*Liberal, 1, España*

*E-mail: aparejadorpilas@gmail.com, Web: www.juanjosemanfredisalado.es*

**PALABRAS CLAVE:** “integración”, “prevención”, “riesgo”. “Construcción”, “obra”.

### RESUMEN

La integración de la prevención en cualquier actividad no se ha incorporado con el alcance deseado, por lo conviene elaborar un documento práctico referido a la actividad constructora. Este trabajo determina su alcance y contenido desde las distintas referencias recogidas en la legislación comunitaria y estatal, estableciendo sus notas características. Se concretan los aspectos relevantes de la integración en las obras de construcción, partiendo del esquema de integración en la estructura organizativa e integración en el proceso productivo. Desde la estructura organizativa, se analizan los requisitos generales para una integración eficiente conforme a los criterios convencionales. En la esfera del proceso productivo, se aportan criterios de eficiencia desglosándose en diversos apartados, que abarcan desde los procedimientos de trabajo hasta el mantenimiento del edificio. Se pretende aportar objetividad al deber de integrar la actividad preventiva que se exige en el actual marco legal, al que se permanece respetuoso.

### METODOLOGÍA

La metodología utilizada se fundamenta en la comparación de los contenidos de las normas jurídicas y otros documentos no legislativos que regulan la documentación preventiva

de las obras de construcción. En la selección y ordenación de los temas tratados priman el conocimiento, la formación y la experiencia en seguridad y salud adquirido por el autor. Al tratarse de un trabajo bibliográfico, se han utilizado además bases de datos para recabar información, en particular Scopus, Dialnet y Google Académico, si bien se ha utilizado de manera preferente Fama, Catálogo de la Universidad de Sevilla, que incorpora las referidas y algunas más. Con la información que se posee y la obtenida en la investigación se ha dado contenido al presente trabajo, según la estructura de apartados propuestos. El contenido expresado es el resultado de comparar y analizar la información recopilada, principalmente desde los textos jurídicos, sobre la misma información que posee el autor. Se ha seguido el procedimiento habitual de un trabajo de investigación bibliográfico de base jurídica.

## 1. INTRODUCCIÓN

Con el Acta de Adhesión de España a las Comunidades Europeas en mil novecientos ochenta y cinco, el sistema de seguridad en el trabajo que se encontraba implantado en nuestro país, abocó a su final. El artículo 153 (anterior 118 A) del Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea [1] establecía un sistema prevencionista, de base social, que resultaba incompatible con el sistema proteccionista, de base técnica, existente en nuestro país. No obstante, en la fecha de la firma del Acta, este artículo del Tratado no se encontraba desarrollado, por lo que se debió esperar hasta la publicación de la Directiva 89/391/CEE –Directiva Marco– [2] para poder delimitar el alcance y contenido que se debía incorporar al marco legislativo español, que se concretó en la Ley de Prevención de Riesgos Laborales. La incorporación de esta Directiva por la técnica jurídica de la transposición, supuso el ocaso del anterior sistema proteccionista la incorporación de nuevos conceptos y elementos.

Uno de esos *elementos* que se incorporan a nuestro ordenamiento jurídico es la integración de la actividad preventiva. Las dificultades de adaptación de la Directiva y la falta de conexión con los modelos preventivos que ya se habían implantado en la actual Unión Europea, trajo cierto desconcierto inicial sobre las obligaciones sobrevenidas en prevención de riesgos laborales. Si no se conoce ni se posee experiencia, ¿cómo se puede integrar? Esta falta de conceptualización en el origen debió de prolongarse en el tiempo, pues habría que esperar hasta el desarrollo pormenorizado de nuestro nuevo ordenamiento jurídico, para poder determinar con claridad meridiana no sólo su contenido y requisitos, sino también el alcance y los objetivos que se pretendían con la integración.

La reacción efectiva y clarificadora llegó con la Ley 54/2003 [3] de reforma del marco legislativo en prevención de riesgos laborales, que concretó el alcance y contenido de la integración, siendo su referente jurídico, pues el texto original de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales sólo la refirió de manera somera. Su preámbulo destaca la integración como un problema detectado por la experiencia. Aparte de las justificaciones oportunistas que se evocan, lo cierto es que el principal problema radicaba en el hecho que los sistemas de gestión implantados en las empresas, la gestión productiva y la preventiva, se desarrollaban de forma diferente, sin puntos de conexión, lo que evidenciaba que la integración no se aplicaba de la forma prevista.

## 2. LA INTEGRACIÓN DE LA ACTIVIDAD PREVENTIVA

No existe en el ordenamiento jurídico una definición específica de integración de la actividad preventiva. Su alcance y contenido ha de deducirse recurriendo a la Directiva Marco y a Ley de Prevención de Riesgos Laborales –en su versión actual que incorpora la Ley 54/2003- [4], así como el Reglamento de los Servicios de Prevención [5]. En este último existen referencias dispersas que no determinan con exactitud su alcance y contenido. No obstante, la Ley 54/2003, y las diversas Guías del denominado entonces Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, delimitaron de forma meridiana el concepto.

No debe extrañar, por tanto, que al principio se entendiera la integración como un mero plus añadido a la actividad preventiva, identificándolo como un conjunto de acciones concretas que tiene por finalidad proteger a los trabajadores de los riesgos derivados de su actividad.

Más allá de las oportunidades perdidas y de la literatura técnica, se hace necesario establecer el concepto de integración con un carácter técnico-jurídico más restringido. El concepto de integración de la actividad preventiva requiere sustentarse en los tres pilares reconocidos por el marco normativo, aun cuando se encuentren dispersos en el mismo. Primero, la integración alcanza toda la actividad preventiva, se aplica al conjunto general de actividades, lo que supone dar un papel activo a todos los elementos del sistema de gestión empresarial, sean personas, bienes o procesos. Segundo, debe abarcar tanto el ámbito de la estructura organizativa de la empresa como el proceso de producción, de forma convergente y en acto único, focalizándose en el sistema de gestión de la empresa. Tercero, sus acciones han de caracterizarse por ser eficaces y eficientes, entendidos, respectivamente, como la capacidad para lograr el efecto que se desea, y que dicho efecto sea real y verdadero, debe alcanzarse con el mínimo de recursos.

Se entiende como integración de la actividad preventiva el conjunto de acciones concretas del ámbito de la prevención de riesgos laborales que se establecen tanto en la estructura organizativa de la empresa como en el proceso productivo, que tengan por objeto proteger a los trabajadores de los riesgos derivados de su actividad, de una forma eficaz y eficiente. Se documenta en el Plan de Prevención de Riesgos Laborales y se formaliza en el sistema de gestión de la empresa.

La integración de la actividad preventiva se identifica por las siguientes notas características:

a) Es una actividad de la empresa. La dirección empresarial debe asumir, tanto las obligaciones que de su aplicación se derivan por resultar una responsabilidad de carácter general, así como la exclusión de la convicción que exista un sistema doble, uno productivo y otro preventivo, sino un único sistema productivo-preventivo, denominado por algunos autores unidad de sistema.

b) Cualquier actividad será objeto de ese único proceso productivo-preventivo, y comprende su programación preventiva, la efectiva implantación y su posterior control.

c) Se exige la unidad de todos los participantes, resultando preferible que sea realizado desde dentro de la empresa con suficiente grado de autonomía y rígidamente documentada.

d) Se debe someter a un proceso de revisión continua, de manera que nos identifique su eficacia y eficiencia, en un proceso de mejora continua.

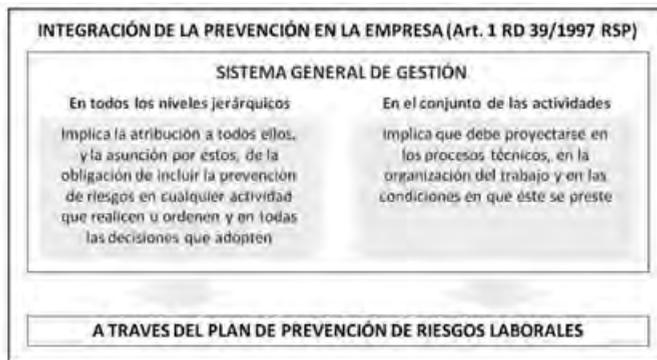


Figura 1. Alcance de la integración de la prevención en la empresa.

### 3. LA EXTENSION DE LA INTEGRACIÓN EN LAS OBRAS DE CONSTRUCCIÓN

El proceso de producción en las obras de construcción se diferencia respecto de otras actividades, entre otras cosas y a los solos efectos del presente trabajo, en dos factores característicos: la movilidad y el producto final no seriado. Con la movilidad o temporalidad se refiere el cambio continuo de lugar de trabajo que se ven sometidos los trabajadores por el desarrollo de la propia obra. El producto no seriado alude que cada construcción es única, y trae como consecuencia el cambio continuo de las condiciones de trabajo. Ambos cambios continuos derivan en que la integración sea más compleja en las obras de construcción respecto a otras industrias donde los trabajadores permanecen en el mismo lugar de trabajo realizando las mismas actividades.

La integración de la actividad preventiva corresponde establecerla e implantarla a la empresa. En las obras de construcción, existen otros sujetos y otros documentos que, sin formar parte de la empresa constructora, presentan una incidencia fundamental en el producto, en su ejecución, resultado y proceso de construcción. Se refiere, por un lado, al técnico proyectista y a la dirección facultativa, y por otro, al proyecto, el estudio (básico) y al plan de seguridad y salud. Estos sujetos y documentos, como parte imprescindibles del proceso constructivo, y aun cuando no pertenecen a la actividad empresarial –incluido el plan si se considera que ha de ser aprobado por el coordinador-, afectan a la gestión empresarial, por lo que deben considerarse parte de la integración de la actividad preventiva, y por ello se habla de extensión de la integración en las obras de construcción.

En las obras de construcción, la integración de la actividad preventiva que debe desarrollar la empresa constructora, no sólo viene dificultada por sus características de movilidad y producto no seriado, sino también por tener que incorporar sujetos y elementos ajenos a la propia empresa aun cuando resulten indispensables para el correcto desarrollo del proceso productivo, como subcontrata, trabajadores autónomos, o el alquiler de bienes o equipos.

Si en las obras de construcción han de incorporarse sujetos y documentos ajenos a la empresa constructora, con recepción *ex post* a la implantación de la integración por la empresa, si no se dispone de personal cualificado y un sistema de gestión adecuado, la integración de la actividad preventiva en las obras de construcción se caracteriza por su mayor complejidad respecto a otras industrias.

#### 4. LA ESTRUCTURA Y EL PROCESO DE INTEGRACIÓN

La estructura y contenido de la integración de la prevención en la empresa queda delimitada en el artículo 1 del Real Decreto 39/1997 por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención. Establece dicho artículo que la integración alcanzará, por un lado, a todos los niveles jerárquicos de la estructura organizativa de la empresa, y por otro, al conjunto de actividades productivas.

En las obras de construcción, el alcance de la integración en todos los niveles jerárquicos no se limita sólo a la estructura organizativa de la obra considerada como una unidad de producción, la obra propiamente dicha, sino también a la organización de la empresa mercantil, es decir, a la dirección, directores ejecutivos o a cualquier sujeto con funciones de decisión sobre las unidades ejecutivas.

La integración en el conjunto de actividades productivas, en las obras de construcción, no precisa de matización alguna, pues el mismo artículo concreta que “... *debe proyectarse en los procesos técnicos, en la organización de los trabajos y en las condiciones en que este se preste*”. Se recurre así al clásico encaje tripartito con el que se pretende aglutinar el contenido prevencionista de toda actividad productiva: procesos, organización y lugares de trabajo.

La integración de la actividad preventiva, como refiere el artículo, se implanta y aplica a través del Plan de Prevención de Riesgos Laborales. Siendo este un documento, el contenido de la integración ha de formalizarse a través de una serie documental. A falta de definición de un contenido específico o de estándares pertinentes en las normas, los sistemas de gestión de prevención tipo OHSAS 18001 o ISO 45001 pueden auxiliarnos en el alcance, contenido y formato de los mismos.

El momento de considerar la integración en cualquier proceso productivo, organización del trabajo o de las condiciones en que este se preste, no es otro que el de la concepción de cada uno de ellos. La integración nace en paralelo a cualquier actividad que trascienda sobre los riesgos de los trabajadores con el más amplio alcance. A su vez, debe someterse a una evaluación continua de conformidad, donde se pueda valorar de forma objetiva si se han conseguido los objetivos previstos.

En las obras de construcción, la integración de la actividad preventiva se formaliza con el Plan de Prevención de Riesgos Laborales de la empresa contratista principal [6]. El Plan de Seguridad y Salud desarrolla el estudio de seguridad y salud adaptando sus previsiones a los métodos de trabajo del contratista, en referencia a los riesgos propios de la actividad empresarial que se concretan en el plan de prevención de riesgos laborales. Pero ¿cómo se integran en la actividad preventiva los riesgos propios de la obra? Sólo es posible en el plan de seguridad y salud de la forma que más adelante se refiere.

En todo caso se debe evitar que, en la práctica, los aspectos preventivos que va a configurar la integración de la actividad preventiva no surjan como un elemento añadido decidido de forma improvisada una vez establecida, y operativa, la estructura organizativa de la empresa, o haberse iniciado la actividad productiva.

#### 5. LA INTEGRACIÓN EN LA ESTRUCTURA ORGANIZATIVA

El referido artículo 1 del Reglamento de los Servicios de Prevención establece que la integración en la estructura organizativa de la empresa alcanza a todos los niveles jerár-



orden a la actividad preventiva.

La Guía Técnica para la Integración de la Prevención de Riesgos Laborales [7], en el comentario final del apartado 2, establece que se entenderá que la prevención está integrada en un nivel jerárquico del sistema si sus funciones se han fijado y desempeñan teniendo en cuenta, además de las consideraciones productivas, los objetivos y principios preventivos. Así, la integración en la estructura organizativa de la empresa requiere:

a) Tener establecido, con carácter previo, las acciones preventivas concretas sobre el conjunto de general de actividades de la empresa que puedan afectar a la seguridad y salud de los trabajadores.

b) La dirección de la empresa y el personal con funciones ejecutivas que ostenten funciones sobre la actividad preventiva, requieren de la formación e información necesarias y suficientes.

c) Esos mismos sujetos deben conocer las acciones preventivas establecidas y aplicarlas cuando tomen una decisión que afecte a los procesos productivos en el sentido amplio de la expresión.

d) Se verifique y controle la aplicación de las acciones de integración por parte de los trabajadores.

Dado que nuestro modelo de gestión se fundamenta en el aspecto formal, documentalistas, la integración ha de formalizarse mediante documentos escritos que deben someterse a estrictos procedimientos de comunicación, todo ello desde dentro de la empresa y con independencia de las funciones de contribución a la efectividad de la integración que se le impone a las entidades externas, los servicios de prevención ajenos, con las que se haya concertado la actividad preventiva [8].

## **6. LA INTEGRACIÓN EN EL PROCESO PRODUCTIVO**

El artículo 1 del Reglamento de los Servicios de Prevención concreta que la integración debe proyectarse en los procesos técnicos, en la organización de los trabajos y en las condiciones en que este se preste, que debe entenderse como una acción unitaria entre la producción y la prevención de riesgos laborales.

A pesar que el Reglamento proyecta la integración sobre esos elementos concretos, lo cierto es que debe abarcar cualquier acción que de forma directa o indirecta venga a incidir sobre aspectos relativos a la seguridad y salud de los trabajadores, por lo que debe comprender también la contratación, coordinación de actividades y personas sensibles. De ahí que los tradicionales sistemas de gestión de la prevención incluyan entre sus procedimientos el control de compras (EPIs o equipos).

La integración también debe alcanzar otras acciones propias en el ámbito de la prevención, como puede ser las respuestas ante emergencias o la vigilancia de la salud, así como los mecanismos de revisión para la valoración de su eficacia y eficiencia y extenderla a las previsiones sobre el mantenimiento durante el uso.

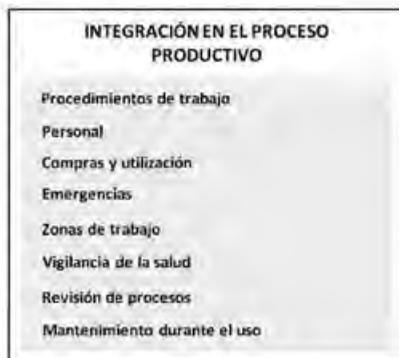


Figura 3. Integración en el proceso productivo

La Guía Técnica para la Integración de la Prevención de Riesgos Laborales referida, establece que la prevención está integrada en una actividad concreta si su procedimiento de ejecución se ha fijado y se aplica respetando los “requisitos mínimos” exigibles (y no sólo los productivos) y si las personas que intervienen en su gestión o ejecución disponen de la formación e información necesarias.

Por lo demás, cuanto se ha referido para la integración en la estructura organizativa se puede trasladar a la integración en el proceso productivo, insistiéndose una vez más que, a falta de un contenido específico o de estándares pertinentes en las normas, los sistemas de gestión de prevención tipo OHSAS 18001 o ISO 45001 establecen procedimientos concretos que pueden auxiliarnos en la elaboración e implantación de la integración en el proceso productivo.

## 7. LA INTEGRACIÓN EN LAS OBRAS DE CONSTRUCCIÓN

En las obras de construcción, la integración de la actividad preventiva, le son de aplicación cuantos presupuestos se han referido, con las particularidades propias de la actividad constructora, que, entre otras, hemos citado las derivadas de su movilidad y producto final no seriado. Si estas características aportan dificultades en la integración de la actividad preventiva respecto de otras actividades, otras particularidades aumentan esta complejidad. Se puede citar, primero, la incorporación como parte de la documentación preventiva de otros documentos distintos del plan de prevención de riesgos laborales de la empresa constructora, como el estudio y plan de seguridad y salud, que tienen origen en sujetos que no comparten las directrices preventivas de la empresa, como la dirección facultativa o coordinadores de seguridad y salud. Segundo, tales sujetos poseen funciones ejecutivas con incidencia en los procesos productivos, y por tanto en las condiciones de seguridad y salud de los trabajadores. Así, el resultado es evidente: la integración de la actividad preventiva en las obras de construcción se caracteriza por su complejidad.

En las obras de construcción, se pueden diferenciar los riesgos de la actividad constructora, los de la ejecución, que comprende todas las unidades de obras que ha de realizar el contratista y conforman los procedimientos o procesos de trabajo definidos por el empresario. Por otro lado, esos riesgos de la actividad constructora son aquellos que se han evaluado y cuentas con medidas concretas de control, quedando identificados y definidos en el plan

de prevención de riesgos laborales. A estos riesgos le son de aplicación cuantas notas se han referido con anterioridad a efectos de considerar su integración en la actividad preventiva, y se extiende a la estructura organizativa y a cuantas acciones tengan incidencia en la seguridad y salud de los trabajadores, correspondiendo al empresario su implantación y aplicación en los términos que refiere la norma.

Por otro lado, se consideran los riesgos propios de la obra, y abarcan las condiciones del suelo, del entorno y del proceso constructivo en relación al tipo específico de obra, así como los derivados de la organización de la misma. La obligación de eliminarlos también recae sobre el empresario contratista, pues es quien organiza la actividad productiva, y la preventiva. Se encuentran previstos y documentados por el técnico autor del estudio (básico) de seguridad y salud. Estos riesgos han de ser considerados por el contratista en la elaboración del plan de seguridad y salud de la obra, y dado que no se encuentran previstos en el plan de prevención de riesgos laborales, no quedan sujetos a la integración de la actividad preventiva implantada en la empresa. Así, cabe preguntarse ¿cómo se integran en la actividad preventiva los riesgos propios de la obra? ¿Quedan comprendidos en los deberes de integración del artículo 1 del Reglamento de los Servicios de Prevención?

Respecto a la segunda cuestión, aun cuando el artículo 1 concreta que la integración alcanza a los niveles jerárquicos de la estructura organizativa de la empresa y al conjunto de actividades productivas, su alcance práctico engloba cualquier acción que tenga trascendencia sobre la seguridad y salud de los trabajadores, por lo que sólo cabe una respuesta afirmativa. Respecto de la primera cuestión, cómo se integran estos riesgos, deberán hacerse como los riesgos propios de la actividad empresarial, sometándose a los procedimientos o directrices de integración que tenga implantado la empresa constructora, dado que la integración debe contar con procedimientos específicos que den respuesta a su implantación sobre nuevos riesgos o sobre la revisión de los existentes. La integración es un mecanismo vivo.

## **8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Las causas de la necesidad de proceder a la integración de la actividad vienen determinadas por haber asumido el legislador la certeza que con el sistema preventivo existente no se alcanzaban los resultados esperados. Con la Ley 54/2003 se refuerza el sistema preventivo vigente a la fecha desde la entrada en vigor de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales incluyendo legalmente la obligación de la integración de la actividad preventiva.

Se ha concretado los aspectos característicos de la integración de actividad preventiva en las obras de construcción, centrándose en los aspectos particulares que la actividad de la construcción conlleva respecto a otras actividades, principalmente en un producto final no seriado que conlleva la continua movilidad de los puestos de trabajo, así como la complejidad de los procesos constructivos.

Se analiza la integración desde la estructura organizativa y el proceso productivo, conforme a las particulares del sistema preventivo que rige las obras de construcción. Se establece como debe ser la integración de la actividad preventiva en la estructura organizativa de las empresas constructoras, diferenciando la estructura organizativa de la empresa propiamente dicha de la estructura propia de la obra, refiriéndose los criterios que deben considerarse para que resulte válida la integración. Por otro lado, se establece como debe aplicarse la integración de la actividad preventiva en el proceso constructivo, señalándose su alcance y los criterios para considerarse válido.

## 9. CONCLUSIONES

Se establecen los criterios para la correcta integración de la actividad preventiva en las obras de construcción, en las dos esferas que exige la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, en la estructura organizativa de la empresa y en los procesos de producción. Los criterios que se establecen se han particularizado a la estructura característica de la empresa constructora, tomando la obra como referente principal, y al proceso constructivo, en atención a los elementos que conforman el mismo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS (Y CITAS EN EL TEXTO)

- [1] Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea. El artículo 118-A del Tratados de la Comunidad Económica Europea fue refundido en el 153 del Tratado Funcionamiento de la Unión Europea.
- [2] Consejo de las Comunidades Europeas (1989). Directiva del Consejo de 12 de junio de 1989 relativa a la aplicación de medidas para promover la mejora de la seguridad y de la salud de los trabajadores en el trabajo (89/391/CEE). Diario Oficial de la Comunidad Europea L 183. Bruselas.
- [3] Jefatura del Estado (2003). Ley 54/2003 de reforma del marco normativo de la prevención de riesgos laborales. Boletín Oficial del Estado, nº 298. España. El párrafo 2º del inciso II refiere que es la experiencia acumulada la que permite contrastar la existencia de problemas en la aplicación de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales en general, y en la integración de forma particular.
- [4] Cortes Generales (1995). Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales. Boletín Oficial del Estado, nº 269. España. La integración se refiere en el artículo 16.1, modificado por la Ley 54/2003
- [5] Cortes Generales (1997). Real Decreto 39/1997 Reglamento de los Servicios de Prevención. Boletín Oficial del Estado, nº 27. España. El artículo 1 se dedica a la integración de la actividad preventiva en la empresa, si bien también se encuentran referencias en otros artículos.
- [6] Se generaliza, a fin de facilitar su lectura, sobre otras opciones que permiten distintos Planes de Prevención de Riesgos Laborales por concurrencia de subcontratas.
- [7] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (2009). Guía técnica para la integración de la prevención de riesgos laborales en el sistema general de prevención de la empresa. Madrid.
- [8] La actual redacción del artículo 20 del Reglamento de Servicios de Prevención dada por el real Decreto 337/2010 por el que se modifican diversos reglamentos establece que *“Las entidades (servicios de prevención ajeno) asumirán directamente el desarrollo de las funciones señaladas en el artículo 31.1 de la ley de Prevención de Riesgos laborales, que hubieran concertado y contribuirán a la efectividad de la integración de las actividades de prevención en el conjunto de actividades de la empresa y en todos los niveles jerárquicos de la misma ...”*

## PARÁMETROS INDICADORES DEL AGUA POTABLE DOMÉSTICA URBANA, UMBRALES Y CONSECUENCIAS PARA LA SALUD

SERRANO, BÁRBARA<sup>1</sup>; TENDERO, RICARDO<sup>2</sup>; DEL RÍO, MERCEDES<sup>2</sup>

*<sup>1</sup> Escuela Técnica Superior de Edificación. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España*

*E-mail: barbara.serrano@upm.es*

*<sup>2</sup> Escuela Técnica Superior de Edificación. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España*

**PALABRAS CLAVE:** “agua potable”, “salud”, “indicadores potabilidad”, “calidad agua”.

### RESUMEN

La biología está íntimamente relacionada con el agua. La naturaleza humana la precisa en su entorno natural, en su composición y en su ingesta. También la evolución del hombre está íntimamente ligada a su disponibilidad. Pero será el agua líquida potable y su gestión la que alcance más relevancia en la satisfacción de las necesidades humanas.

La Asamblea General de Naciones Unidas, reconoce en 2010 el derecho humano al abastecimiento de agua y al saneamiento.

Es la Organización Mundial de la Salud la que establece en sus Guías para la calidad del agua potable, los parámetros y condiciones que debe tener el agua apta para el consumo humano.

A nivel europeo, estos criterios de calidad del agua los establece la Directiva 98/83/CE. [1]

En España, los “criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo” son los que marca el RD 140/2003.

Resulta significativo que los valores marcados para emitir una alerta de salud pública en España sean MAYORES que los fijados por la propia legislación (RD 140/2003) [2]. Más aún, cuando la Agencia Internacional para la Investigación contra el Cáncer pone en nuestro

conocimiento que la gran mayoría de las sustancias podrán ser cancerígenas.

Es más, si hablamos de salud, ¿Deberían revisarse los umbrales y su evolución en el tiempo? ¿Deberían diseñarse los equipos de potabilización, considerando estas sustancias y umbrales?

## 1. INTRODUCCIÓN

El devenir del mono sobre nuestro planeta azul a lo largo de su historia, no es más que la consecuencia de la importancia que para la supervivencia de la especie tiene el agua. No puede negarse, que la evolución del hombre está íntimamente ligada a su necesidad de agua. Agua, para el riego, para el consumo, como medio de comunicación... agua, para desarrollarse social y económicamente, para evolucionar, para trascender... agua potable, limpia.

La vida gira alrededor del agua y su gestión. Aún hoy, sorprende descubrir, como en los umbrales de los tiempos se idearon artefactos entorno al agua que seguimos empleando. El nivel de desarrollo que una sociedad alcanza puede cuantificarse de muy diversas formas, siendo sin duda las infraestructuras del agua y la gestión racional de la misma una de ellas.

La Asamblea General de las Naciones Unidas, es en 2010 cuando establece el derecho del ser humano al abastecimiento y saneamiento del agua. *“Todas las personas tienen derecho a disponer de forma continuada de agua suficiente, salubre, físicamente accesible, asequible y de una calidad aceptable, para uso personal y doméstico.”* [3]

Como ya se ha indicado, es la OMS, la organización que mundialmente establece cuales son las características y condiciones mínimas que debe tener el agua potable.

En Europa la calidad del agua apta para consumo humano viene regulada por la Directiva 98/83/CE; mientras que en nuestro país, estos parámetros sanitarios se definen a través del RD 140/2003.

Es en los 80, cuando en EEUU motivados por el endurecimiento de los requisitos de calidad con los que debía llegar el agua potable a los puntos de consumo cuando comienza el interés por lo que ocurre con ésta mientras permanece en la red de distribución. A nivel nacional, poco a poco comienzan a realizarse estudios sobre modelos de calidad del agua de consumo, definiéndose planes de control en las redes más importantes. [4]

Una vez analizadas a todos los niveles las normativas, reglamentos y recomendaciones en torno al agua apta para el consumo, llama poderosamente la atención que en muchos casos las variaciones entre los valores marcados por las distintas legislaciones sean dispares.

Nuestro objetivo en la presente publicación es entre otros destacar las elevadas discrepancias existentes entre los valores establecidos por la legislación española vigente en la actualidad (RD 140/2003) y los fijados por el Ministerio de Sanidad a través del SINAC (Sistema de Información Nacional de Aguas de Consumo); organismo encargado de emitir la alarma de salud pública, llegado el caso. Sabiendo además a través de la IARC (Agencia Internacional para la Investigación contra el Cáncer) que la gran mayoría de las sustancias que nos ocupan, susceptibles de analizar y/o que se analizan podrían ser cancerígenas y/o perjudiciales para la salud.

Es más, si hablamos de salud; ¿los valores y alertas no deberían ser los mismos para todos los habitantes del planeta?

## 2. PARÁMETROS QUE REGULAN LAS CONDICIONES Y CARACTERÍSTICAS DEL AGUA POTABLE DE CONSUMO HUMANO

A continuación se describen detalladamente los parámetros ligados a la calidad del agua potable de consumo, su clasificación, posible origen, valores máximo admitidos por la OMS, la legislación Española, el Ministerio de Sanidad y las posibles repercusiones que en exceso éstos tendrían en la salud de los habitantes del nuestro planeta.

### 2.1 Tipología de parámetros indicadores de la calidad de agua potable para el consumo humano

Según la normativa Española y conforme al RD 140/2003 los parámetros relativos a la calidad del agua de consumo humano se clasifican:

TIPO A. Parámetros Microbiológicos – (identificados del nº 1 al 3)

TIPO B.1. Parámetros Químicos – (identificados del nº 4 al 27)

TIPO B.2. Parámetros Químicos que no se controlan según las especificaciones de producto. – (identificados del nº 28 al 30)

TIPO C. Parámetros Indicadores – (identificados del nº 31 al 49)

TIPO D. Radioactividad – identificados del nº 50 al 53)

En la tabla 1 que se muestra a continuación se detallan cada uno de los parámetros regulados por la normativa vigente, su tipo y su posible fuente de procedencia.

Tabla 1: Tipología de parámetros, posible origen.

Nº	PARÁMETRO	TIPO	ORIGEN
01	Escherichí Coli	Microbiológico	Microorganismo abundante en heces humanas y de animales. Aparece en aguas naturales si tiene contaminación fecal o en tratadas si el tratamiento ha sido ineficaz.
02	Esterococo intestinal	Microbiológico	Origen fecal, muy persistente en el agua. Utilizado como indicador de la eficacia del tratamiento.
03	Clostridium perfringens	Microbiológico	Microorganismo presente en las heces. Es resistente a algunos procesos de desinfección y sobrevivir en el agua. Puede significar un deficiente proceso de filtración y/o desinfección.
04	Antimonio	Químico	Presente en el agua en forma de sales o de compuestos orgánicos.
05	Arsénico	Químico	Presente en la corteza terrestre, habitualmente bajo la forma de sulfuro de arsénico o arseniatos. En numerosas zonas existen altos niveles en aguas subterráneas.

Nº	PARÁMETRO	TIPO	ORIGEN
06	Benceno	Químico	Llega al agua por vertidos industriales y por la contaminación atmosférica. Indicador de la presencia de hidrocarburos.
07	Benzo ( $\alpha$ ) pireno	Químico	Es el más representativo de los hidrocarburos policíclicos aromáticos y del que se tiene mayor información.
08	Boro	Químico	Común en aguas subterráneas por lixiviación de las rocas, en aguas superficiales aparece por vertidos de detergentes ricos en boratos. NO se elimina con tratamientos convencionales.
09	Bromato	Químico	Subproducto de la desinfección, se forma durante el tratamiento del agua con ozono. También puede formarse en soluciones de hipoclorito concentradas, usadas como desinfectantes.
10	Cadmio	Químico	Presente en las aguas por contaminación industrial.
11	Cianuro	Químico	Presente en el agua por contaminación de origen industrial.
12	Cobre	Químico	Elemento esencial para la salud humana. La migración en las instalaciones interiores puede originar unas concentraciones más elevadas de este metal en el agua.
13	Cromo	Químico	Sustancia muy extendida en la corteza terrestre. Es potencialmente peligroso para la salud el cromo hexavalente.
14	1,2-Dicloroetano	Químico	Su presencia en el agua es por vertidos industriales. En el agua subterránea persiste durante largos periodos de tiempo.
15	Fluoruro	Químico	Presente en el agua debido a la naturaleza del terreno.
16	Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos (HPA)	Químico	Engloba 4 compuestos: benzo(b)fluoranteno - benzo(ghi)perileno - benzo(k)fluoranteno - indeno(1,2,3-cd)pireno. Los HPA se generan en la combustión incompleta de materias orgánicas, las principales fuentes son los incendios forestales y erupciones volcánicas. El fluoranteno es el más común
17	Mercurio	Químico	Usado para la producción electrolítica del cloro.
18	Microcistinas	Químico	Tipos de toxina producida por cianobacterias. Existen más de 80 microcistinas diferentes, siendo la microcistina-LR de las más comunes y tóxicas.

N°	PARÁMETRO	TIPO	ORIGEN
19	Níquel	Químico	Usado fundamentalmente en la fabricación de acero inoxidable.
20	Nitratos	Químico	Usado fundamentalmente en agricultura como plaguicida.
21	Nitritos	Químico	Puede aparecer en la red de distribución cuando la desinfección es por cloraminas.
22	Total de plaguicidas	Químico	Sumatorio resultado de las concentraciones de los plaguicidas, incluye: Insecticidas – Herbicidas – Fungicidas – Nematocidas – Acaricidas – Alguicidas – Rodenticidas - Molusquicidas orgánicos – Metabolitos - Reguladores de crecimiento.
23	Plaguicidas individuales	Químico	Su presencia en el agua es debida a la contaminación difusa de acuíferos o por escorrentía de aguas superficiales y por la práctica agrícola en el campo.
24	Plomo	Químico	Su presencia en el agua de consumo procede en su mayor parte de las redes de distribución y tuberías o accesorios en instalaciones interiores, que tienen plomo en su composición.
25	Selenio	Químico	Presente en la corteza terrestre, elemento esencial.
26	Trihalometanos (THMs)	Químico	Se forman como resultado de la cloración y la presencia de materia orgánica natural en el agua bruta. El cloroformo es el más común. Las rechloraciones a lo largo de la red de distribución favorecen la formación de THMs.
27	Tricloroetano + Tetracloroetano	Químico	Su presencia en el agua es debida a vertidos industriales.
28	Acilamida	Químico	Aparece como consecuencia del uso de poliacrilamidas en las plantas de tratamiento y depuración de aguas.
29	Epilclorhidrina	Químico	Usada en la fabricación de resinas epoxi y en poliaminas para el tratamiento de agua de consumo en la fase de floculación.
30	Cloruro de vinilo	Químico	Su presencia en el agua de consumo es debida a la migración al agua desde las tuberías de PVC.
31	Bacterias coliformes	Químico – P.I *	Relacionado con el mantenimiento incorrecto de la red de distribución y/o la instalación interior.
32	Recuento de colonias a 22 °C	Químico – P.I *	Parámetro microbiológico.
33	Aluminio	Químico – P.I *	Su presencia en el agua de consumo se debe al uso de sales de aluminio en el tratamiento de potabilización

Nº	PARÁMETRO	TIPO	ORIGEN
34	Amonio	Químico – P.I *	Presente en el agua debido a la agricultura, industria y por la cloraminación. La presencia de altos niveles de amonio puede comprometer la eficacia de la desinfección o fallos en la eliminación del manganeso en los filtros dando problemas de sabor y color. Indicador de contaminación fecal, agrícola e industrial.
35	Carbono orgánico total (COT)	Químico – P.I *	La concentración de COT puede estar relacionada con la presencia de precursores de THMs y otros subproductos de la desinfección.
36	Cloro combinado residual	Químico – P.I *	Indicador de la desinfección cuando se utiliza la cloraminación, con otros métodos de desinfección con compuestos de cloro, la presencia de este indicador en el agua de consumo significa que ha habido una desinfección deficiente..
37	Cloro libre residual	Químico – P.I *	Indicador de la desinfección con cloro o sus derivados. Los niveles de cloro libre residual por encima del VP, indican un mal tratamiento por exceso de desinfectante.
38	Cloruro	Químico – P.I *	Presencia en el agua de consumo por causas naturales, efluentes industriales e intrusión marina entre otros.
39	Color	Químico – P.I *	En el agua de consumo puede ser debido a la disolución del hierro o cobre en las instalaciones interiores.
40	Conductividad	Químico – P.I *	Indicador muy sensible para detectar contaminaciones externas en la red de distribución, comparando la conductividad en distintos puntos; determina el buen mantenimiento de la instalación interior, comparando la conductividad en la acometida y en el grifo.
41	Hierro	Químico – P.I *	Es uno de los metales más abundantes en la corteza terrestre. Su presencia en el agua de consumo puede ser debida al uso de coagulantes con sales de hierro o a la corrosión de las tuberías de acero y hierro en las instalaciones.
42	Manganeso	Químico – P.I *	Metal muy abundante en la corteza terrestre. Su presencia en el agua de consumo se debe a la propia naturaleza del terreno. En aguas muy oxigenadas pueden formarse depósitos de compuestos de manganeso provocando problemas de color.
43 44	Olor - Sabor	Químico – P.I *	Son diversos factores los que pueden provocar una alteración en el olor y/o sabor del agua perceptible por el consumidor.

Nº	PARÁMETRO	TIPO	ORIGEN
45	Oxidabiidad al permanganato	Químico – P.I *	
46	pH	Químico – P.I *	Concentración del ion hidrógeno del agua que puede afectar al grado de corrosión de los metales. También puede afectar a la eficacia de la desinfección.
46.1	Índice de Langelier	Químico – P.I *	Se hace mención en la nota 5 de la parte C del anexo I del RD 140/2003 que dice “el agua en ningún momento podrá ser agresiva ni incrustante”
47	Sodio	Químico – P.I *	Se presenta casi en la totalidad de los alimentos, siendo está la principal vía de exposición.
48	Sulfatos	Químico – P.I *	Se presenta por la naturaleza del terreno.
49	Turbidez	Químico – P.I *	Presencia de materia en suspensión. Se asocia a una baja calidad del agua y además interfiere en el proceso de desinfección.
50	Dosis indicativa total (DIT)	Radioactivo	Es la dosis efectiva comprometida ANUAL. Ingestión debida a todos los radionucleidos cuya presencia en el suministro de agua haya sido detectado, tanto en origen natural como artificial,
51	Tritio	Radioactivo	Se encuentra en el agua debido a efluentes del agua de refrigeración del reactor en centrales nucleares.
52	Actividad Alfa total	Radioactivo	Radionucleidos que emiten radiación $\alpha$ naturales / artificiales.
53	Actividad Beta resto	Radioactivo	Radionucleidos que emiten radiación $\beta$ naturales / artificiales.

(\*) P.I.: Parámetro Indicador.

## 2.2 Comparativa de valores máximos admitidos

La tabla 2 compara los umbrales que para cada parámetro establecen por un lado la OMS y la legislación española. Así mismo se refleja una última columna en la que se indican el valor que el SINAC (Sistema de Información Nacional de Aguas de Consumo) establece para emitir la ALARMA de salud pública en el en relación al consumo de agua.

Tabla 2: Umbrales de los parámetros para la OMS – R.D. 140/2003 y ALERTAS de salud pública

Nº	PARÁMETRO	VALOR OMS	VALOR RD.140/2003	ALERTAS DE SINAC
01	Escherichi Coli		0 UFC/100 ml	10 UFC/100 ml
02	Esterococo intestinal		0 UFC/100 ml	10 UFC/100 ml

Nº	PARÁMETRO	VALOR OMS	VALOR RD.140/2003	ALERTAS DE SINAC
03	Clostridium perfringens		0 UFC/100 ml	10 UFC/100 ml
04	Antimonio	20 µg/L	5 µg/L	50 µg/L
05	Arsénico	10 µg/L	10 µg/L	100 µg/L
06	Benceno	10 µg/L	1 µg/L	10 µg/L
07	Benzo (α) pireno	0,7 µg/L	0,010 µg/L	0,1 µg/L
08	Boro	Actual 2,4 mg/L	1 mg/L	10 mg/L
09	Bromato	10 µg/L	Desde 2009 10 µg/L	100 µg/L
10	Cadmio	3 µg/L	5 µg/L	50 µg/L
11	Cianuro	70 µg/L, se plantea revisión a 600 µg/L	50 µg/L	500 µg/L
12	Cobre	2 mg/L	2 mg/L	20 mg/L
13	Cromo	50 µg/L	50 µg/L	500 µg/L
14	1,2-Dicloroetano	30 µg/L	3,0 µg/L	30 µg/L
15	Fluoruro	1,5 mg/L	1,5 mg/L	15 mg/L
16	Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos (HPA)	El benzo(α)pireno está en 0,7 µg/L	0,10 µg/L	1 µg/L
17	Mercurio	6 µg/L	1 µg/L	10 µg/L
18	Microcistinas	0,001 mg/L solo para la microcistina-LR	1 µg/L	10 µg/L
19	Níquel	70 µg/L	20 µg/L	200 µg/L
20	Nitratos	50 mg/L	50 mg/L	500 mg/L
21	Nitritos	3mg/L corta exposición 0,2 mg/L exposición prolongada	0,5 mg/L red distribución 0,1 mg/L salida planta.	10 mg/L
22	Total de plaguicidas		0,5 µg/L.	5 µg/L
23	Plaguicidas individuales		Aldrin – dieldrín – heptacloro 0,10 µg/L Heptacloro epóxido 0,03 µg/L	1 µg/L
24	Plomo	10 µg/L	10 µg/L actual	100 µg/L
25	Selenio	10 µg/L	10 µg/L	100 µg/L

N°	PARÁMETRO	VALOR OMS	VALOR RD.140/2003	ALERTAS DE SINAC
26	Trihalometanos (THMs)	Cloroformo 300 µg/L Bromoformo 100 µg/L Dibromo-clorometano 100 µg/L Bromodi-clorometano 60 µg/L	El sumatorio 100 µg/L	1000 µg/L
27	Tricloroeteno + Tetracloroeteno	Tricloroeteno 20 µg/L Tetracloroeteno 40 µg/L	El sumatorio 10 µg/L	100 µg/L
28	Acrilamida	0,5 µg/L	Valor paramétrico teórico 0,1 µg/L,.	
29	Epiclorhidrina	0,4 µg/L	Valor paramétrico teórico 0,1 µg/L,.	
30	Cloruro de vinilo	0,3 µg/L	Valor paramétrico teórico 0,5 µg/L,.	
31	Bacterias coliformes		0 UFC/100 ml	Agua NO apta es 100 UFC/100 ml
32	Recuento de colonias a 22 °C		100 UFC/100 ml	Agua NO apta es 10.000 UFC/ml
33	Aluminio	Plantas grandes 100 µg/L Plantas pequeñas 200 µg/L	200 µg/L	Agua NO apta es 1.000 µg/L
34	Amonio	NO considerado	0,5 mg/L	Agua NO apta es 1 mg/L
35	Carbono orgánico total (COT)		7,0 mg/L	
36	Cloro combinado residual	5 mg/L	2 mg/L	3,0 mg/L
37	Cloro libre residual	5 mg/L	1 mg/L	5,0 mg/L
38	Cloruro	250 mg/L	250 mg/L	800 mg/L
39	Color	Recomienda valor < 15 mg/L Pt/Co	15 mg/L Pt/Co	30 mg/L Pt/Co
40	Conductividad		2500 µS/cm a 20°C	5000 µS/cm a 20°C
41	Hierro	Valores < 2mg/L no afectan a la salud	200 µg/L	600 µg/L
42	Manganeso	400 µg/L	50 µg/L	400 µg/L

Nº	PARÁMETRO	VALOR OMS	VALOR RD.140/2003	ALERTAS DE SINAC
43 44	Olor - Sabor		Valor paramétrico 3 disoluciones a 25 °C	
45	Oxidabilidad al permanganato		5 mg O <sub>2</sub> /L	6 mg O <sub>2</sub> /L
46	pH		Valor paramétrico mínimo 6,5 – máximo 9,5 unidades de pH	mínimo 4,5 – máximo 10,5 unidades de pH
46.1	Índice de Langelier		Índice de Langelier debe estar entre ±0,5	
47	Sodio	< 200 mg/L	200 mg/L	650 mg/L
48	Sulfatos	< 500 mg/L	250 mg/L	1000 mg/L
49	Turbidez	< 5 UNF	1 UNF a la salida de ETAP o depósito 5 UNF en la red de distribución	6 UNF
50	Dosis indicativa total (DIT)	0,10 mSv/ año	0,10 mSv/ año	
51	Tritio	10000 βq/L	100 βq/L	
52	Actividad Alfa total		0,1 βq/L	
53	Actividad Beta resto		1 βq/L	

### 2.3 Consecuencias para la Salud

Se definen a continuación las consecuencias que para nuestra salud producen la presencia en exceso de estos parámetros en el agua de consumo, siendo en algunos casos causa de enfermedades comunes, padecimientos crónicos e incluso ciertos tipos de cánceres.

Definiremos las diferentes consecuencias sanitarias asociadas al tipo de parámetro arriba definido.

- Diarrea, náuseas, cefalea: parámetros 01, 08, 09.
- Enfermedades gastrointestinales: parámetros 02, 03, 08, 17, 31, 48.
- Evidencias de carcinogenicidad por vía inhalatoria: parámetro 04, 16, 19.
- Evidencias de carcinogenicidad por vía cutánea: 16.
- Afecciones renales: parámetro 09, 10, 17, 29, 38.
- Alteraciones sistema nervioso central y daños cardiovasculares: parámetro 11, 17, 23, 24, 27, 29, 38.
- Órgano dañado el hígado: 18, 23, 25, 27, 29.
- Población afectada, niños-fetos-embarazadas: parámetro 24.
- Fluorosis dental o fluorosis esquelética: parámetro 15.

- Carcinogenicidad, mutagenicidad, efectos sobre la reproducción: parámetro 22.
- Cancerígeno en humanos (Grupo 1) según IARC: parámetros 05, 06, 07, 13 (cromo VI).
- Hipertensión: parámetro 47.
- Posible cancerígeno en humanos, (Grupo 2A) según IARC: parámetros 20, 21, 27, 29.
- Posible cancerígeno en humanos, evidencia inadecuada en humanos, suficiente en animales (Grupo 2B) según IARC: 09, 14, 23, 24, 26.
- No genotoxicidad en humanos (Grupo 3) IARC: parámetros 25, 27, 36, 37.
- Muerte: 09, 18.

### 3. DISCUSIÓN

Una vez realizado el análisis anterior y a la vista de los resultados, no parece coherente que las distintas organizaciones y/o estados establezcan valores límites de contenido de sustancias en relación a la calidad del agua potable tan dispares.

Más aún en el caso del Estado Español, entidades relacionadas con el asunto tratado, divergen notablemente en los valores fijados, siendo en algunos casos hasta 100 veces mayor la diferencia entre ellos. De modo que marcando la Legislación unos valores tope, el Ministerio de Sanidad no establece la alerta sanitaria de consumo de agua hasta que éstos no se han superado ampliamente.

No parece razonable, que tratándose de la salud de los ciudadanos y con importantes consecuencias y repercusiones sociales y económicas, los gestores de los que dependen estas decisiones no se pongan de acuerdo uniformando estos umbrales de los que venimos hablando.

A lo largo del artículo, se pone de manifiesto que los problemas generados con la calidad del agua de consumo, son globales y crecientes; aumentando a lo largo de los últimos años seriamente la preocupación de organismos internacionales. Entre las dificultades más destacadas aparecen las vinculadas a la salud pública, pues suponen un elevado gasto económico para los estados. A nivel mundial, ONU y OMS señalan “la calidad del agua de consumo” como la causa directa de la muerte de millones de seres humanos. Sí bien es verdad, que los inconvenientes y conflictos que la contaminación del agua potable produce dependen en gran medida de la región del mundo donde se generan; pues ésta es indicativo de políticas y niveles socio-económicos. Las normas y reglamentos, ¿no deberían ser los mismos para todos o por lo menos situarse en valores de referencia similares?

Aunque la normativa española vigente proporciona instrumentos, frecuencias del sistema de control y vigilancia que garantizan la calidad del agua de consumo humano. Y, facilitando además, los protocolos a realizar según el nivel de riesgo. Las autoridades competentes al respecto no son capaces de estandarizar los valores límites de las sustancias que el agua contiene o puede contener; normalizando de este modo la calidad del agua que sus ciudadanos consumen y minimizando de este modo el riesgo de enfermedad y el elevado gasto que ésta supone. Ante esta situación, se hace necesario un estudio exhaustivo de los diversos factores que influyen en la calidad del agua que consume la población y de la condición de la misma. Pues, son importantes: las fuentes de abastecimiento natural, las infraestructuras y redes de almacenamiento y distribución, los aspectos culturales, los socioeconómicos, y las circunstancias políticas que afectan a la normativa, y a la inversión en el desarrollo y mantenimiento de los sistemas de abastecimiento de agua potable. [5]

#### 4. CONCLUSIONES

La finalidad principal de los gestores de la calidad del agua de consumo debería ser garantizar que los consumidores de ésta no estén expuestos a sustancias que produzcan enfermedades; por lo que a la vista del estudio realizado consideramos sería imprescindible que los valores límites de estos agentes patógenos estuviesen claramente definidos y acotados de forma que no existieran esas discrepancias tan notables entre los límites que unos y otros legislan, fijan y/o recomiendan.

Aunque a nivel nacional, está garantizada la calidad del agua de consumo y se realizan análisis periódicos y rutinarios de la calidad de ésta a lo largo de la red; en la toma domiciliaria estas pruebas no se producen. ¿No se debería regularmente analizar microbiológicamente el agua verdaderamente de consumo? Es decir, el del grifo, el del vecino...

Resulta obvio que el material de la instalación influye en la calidad del agua que bebemos, con la que cocinamos, con la que nos aseamos, con la que regamos los alimentos que consumimos...pudiendo según sea ésta contener sustancias nocivas y perjudiciales. Añadiendo, además que la población infantil expuesta a estas sustancias tiene una mayor tasa de absorción de compuestos tóxicos que los adultos, pues su ingesta a través de los alimentos y el agua por kilogramo de peso es mayor. [6] Por eso, y existiendo aún hoy casos de intoxicación crónica por plomo, por ejemplo. Con el elevado parque de vivienda antigua y a rehabilitar en nuestro país, ¿no debería esta circunstancia estar normalizada?

#### 5. ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

OMS: Organización Mundial de la Salud.

SINAC: Sistema de Información Nacional de Aguas de Consumo.

IARC: Agencia Internacional para la Investigación contra el Cáncer.

#### 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS (Y CITAS EN EL TEXTO)

- [1] Directiva 98/83/CE. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-1998-82174>.
- [2] Ministerio de Sanidad y Consumo. Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero. Documento consensado con las CCAA y aprobado el 9 de marzo de 2005. Madrid; 2005.
- [3] OMS. [http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs391/es/Naciones\\_unidas](http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs391/es/Naciones_unidas).
- [4] Segura Segura, B. (1993). La Modelización de la Calidad del Agua en las Redes de Distribución de Madrid. Tecnología para Gestión de las Redes de Distribución. Canal Isabel II. Madrid
- [5] Sánchez H, Vargas M, Méndez J. Calidad bacteriológica del agua para consumo humano en zonas de alta marginación de Chiapas. Salud pública Méx 2000; 42(5): 397–406.
- [6] Torra M, Rodamilans M, Montero F, Farré C, Corbella J. Estudio de la exposición al plomo en la población de Barcelona: evolución cronológica entre 1984 y 1995. Med Clin (Barc) 1997; 108: 601-3.

ÁREA V.

ECONOMÍA DE LA CONSTRUCCIÓN.  
QUANTITY SURVEYING



**METODOLOGÍA DE INTEGRACIÓN DE INFORMACIÓN PARA LA  
DETECCIÓN AVANZADA DE SOBRECOSTES DE OBRA. INTEGRATION OF  
INFORMATION ON ADVANCED DETECTION OF COST OVERRUNS (IMADO)**

GIFRA BASSÓ, ESTER<sup>1</sup>; RIBERA ROGET, ALBERT<sup>2</sup>

*<sup>1</sup> Universidad de Girona, Girona, España*

*E-mail: ester.gifra@udg.edu*

*Web: <https://www.udg.edu/ca/directori/pagina-personal?ID=2000794>*

*<sup>2</sup> Universidad de Girona, Girona, España*

*E-mail: albert.ribera@udg.edu*

*Web: <http://www2.udg.edu/professorat/Planapersonal/tabid/8656/ID/52261/language/es-ES/Default.aspx>*

**PALABRAS CLAVE:** construcción; control de costes; sobrecostes; estimación del coste final (EAC).

**RESUMEN**

La presente investigación propone una nueva metodología aplicable al seguimiento y al control de costes de obra que permite detectar de forma avanzada los sobrecostes durante su ejecución. El método se ha concebido desde la perspectiva del promotor público y es aplicable a todo tipo de actuaciones.

Se trata de un sistema que trabaja en paralelo al sistema tradicional de control de certificaciones de obra, a partir de la integración de la información que se genera durante el transcurso de la obra, permitiendo evaluar, con la máxima fiabilidad y de forma avanzada, las desviaciones económicas y de plazo que pueden presentarse durante la ejecución de las obras.

Los valores obtenidos a partir de la implantación de esta metodología facilitan la crea-

ción de cuadros de mando e informes de seguimiento que resumen la información vital para mostrar el comportamiento económico y temporal de la obra y también posibilita la catalogación y clasificación de las causas que pueden originar las desviaciones económicas permitiendo, de este modo, el análisis y control de la no superación de los límites establecidos en el marco legal vigente para el caso concreto de los contratos en obra pública.

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Definición del problema**

En el ámbito de la contratación pública de obras los sobrecostos y el incumplimiento de los plazos de ejecución representan una de las principales preocupaciones de las Administraciones contratantes. Son constantes las informaciones que aparecen en los medios de comunicación sobre las importantes desviaciones económicas que han presentado diferentes liquidaciones de obras de proyectos públicos de relevancia [1] y, también, el retraso en su finalización y consecuentemente en su puesta a disposición para la sociedad.

Las causas que dan origen a estas desviaciones de carácter económico y temporal son múltiples [2] [3] y, en ocasiones difíciles de anticipar. Aun así, una adecuada atención en cada una de las fases del proceso y el máximo rigor y diligencia por parte de todos los agentes implicados debería contribuir a una reducción drástica de estos desajustes. Aunque sea posible disminuir al mínimo su aparición, en la mayoría de las obras, durante la fase de ejecución, se suceden circunstancias imprevisibles o se producen cambios que pueden derivar en la introducción de modificaciones que originen incrementos de carácter económico y temporal inevitables, lo cual refuerza la conveniencia de la implantación de un sistema de seguimiento y control activo durante la fase de ejecución.

Los organismos contratantes de las obras públicas habitualmente no atienden con la mayor diligencia esperada el avance de la ejecución de éstas en términos económicos y de plazos. Es frecuente que los responsables de la dirección técnica a pie de obra se limitan a realizar un seguimiento y control de carácter técnico y a la redacción y aprobación de las relaciones valoradas para la emisión de las certificaciones periódicas a efectos de pago. Así pues, no sería pretencioso implantar un sistema de control activo que además de acreditar las cantidades producidas aportará información sobre el avance y estado real de la obra, permitiendo la extracción de resultados sobre el comportamiento de ésta, de manera que en caso que se produjeran desviaciones fuera posible adoptar las medidas oportunas que se estimara convenientes para reconducir la situación.

### **1.2 Hipótesis formulada y objetivos**

La técnica básica de control de costes utilizada en la contratación pública de obras durante la fase de ejecución, se limita a la emisión de las certificaciones de obra. Por lo tanto, se puede describir ésta como el simple seguimiento de relaciones valoradas. En este caso, el control se limita fundamentalmente en comparar los importes de proyecto y los importes de las obras ejecutadas y certificadas hasta la fecha.

Por otro lado, la implementación de la técnica del Método del Valor Ganado (EVM) para el control de costes y tiempos en la fase de ejecución de la obra plantea un problema que complica enormemente su utilización. La principal dificultad, que limita el uso de esta

técnica, es el hecho que las relaciones valoradas periódicas nunca distinguen el valor ganado (EV) del coste real (AC). Tan solo en el caso que la desviación económica sea debida a la aprobación y ejecución de nuevas partidas, no previstas inicialmente en el contrato de obras, esta detección puede ser relativamente sencilla si se ha tenido la precaución de recogerlas en un único capítulo de obra o de identificarlas con un código diferenciador de partida.

El método desarrollado en este estudio se fundamenta sobre la idea que la práctica totalidad de las incidencias que originan desviaciones económicas en obra son conocidas, por los agentes responsables que intervienen en el proceso de construcción, con anterioridad a su producción en obra, por lo tanto, antes de que lo evidencie cualquier sistema de seguimiento y control de costes. El modelo que se propone y se desarrolla, que se ha convenido en denominar “Integration of information for advanced detection of cost overruns –IMADO”, intenta hacer valer el conocimiento sobre los posibles cambios y/o modificaciones (Figura 1) que se sucederán durante la ejecución de la obra y que tendrán repercusiones económicas en el mismo momento que se perciban, utilizándolas para dibujar un pronóstico fiable del horizonte de liquidación económica de la obra (Estimate at Completion – EAC) complementando la información que proviene del propio sistema de seguimiento y control de costes, pero sin interferir ni modificar este último. De esta forma el modelo consigue ganar tiempo para gestionar el proceso y para aplicar aquellas medidas correctoras que faciliten optimizar los resultados de la obra y acercarse al objetivo de coste.



Figura 1: Elementos que intervienen en la definición de la nueva estructura de seguimiento y control de costes.

El modelo propuesto permite registrar y evaluar las desviaciones económicas de obra antes que se conviertan en hechos consumados y consecuentemente figuren en la información que suministra cualquier sistema de control y seguimiento de costes de obra. Se trata de un procedimiento natural de registro avanzado de la información que se genera durante el proceso de la obra, basado en el conocimiento y la observación. Para nada, se entorpece la tradicional metodología de control y seguimiento de costes de certificaciones de obra, sino que lo completa añadiendo una apreciación económica de alta fiabilidad sobre el posible importe de cierre y liquidación de la ejecución de la obra.

Además, también se proponen y desarrollan un conjunto de indicadores, que manteniéndose fieles a los valores del sistema de control y medida del grado de cumplimiento de un proyecto que plantea originalmente el EVM, se adaptan al formato de presentación de

las relaciones valoradas periódicas de las obras de construcción. La propuesta de nuevos indicadores no requiere calcular el importe del EV y se asienta en la aplicación del modelo de gestión de la información dirigida a detectar de manera avanzada los sobrecostes de obra que desarrolla y presenta esta investigación, denominado IMADO.

### 1.3 Marco teórico

Se analizan a continuación dos de las técnicas básicas para el seguimiento y control económico en la fase de ejecución de la obra que sirven de referencia y de punto de partida para el desarrollo de la nueva metodología de gestión: el seguimiento de las relaciones valoradas y la gestión del coste a través del método del valor ganado (EVM).

#### **Descripción de la técnica básica de seguimiento y control de costes a través relaciones valoradas**

No existe ninguna regulación que obligue a los directores durante la ejecución de la obra a llevar a cabo un seguimiento y control activo del progreso de la obra [4]. La normativa actual, tanto en el ámbito público como privado, tan solo exige la emisión de las relaciones valoradas para la formalización de las certificaciones de obra [5] [6].

Fundamentalmente, coexisten dos grandes modelos de control y seguimiento de costes en la obra pública dirigidos a la Administración contratante; los basados en el propio documento de emisión de la relación valorada de la obra ejecutada y el aportado por programas informáticos de presupuestación y emisión de certificaciones y su seguimiento. En el primer caso, las estructuras de los modelos acostumbran a representar la información detallada y resumida de la producción aceptada a origen. En el segundo caso, los modelos propuestos por los programas informáticos siguen básicamente la misma estructura, si bien, en ocasiones, amplían la información económica indicando también: el importe de la producción del último periodo, el importe de producción pendiente de ejecutar a la finalización de la obra, la desviación actual y, en ocasiones, incluso la estimación de la desviación final, aunque en este último caso suelen incorporar la técnica del EVM adaptada, con interpretación, terminología y formulación propia.

#### **El método del valor ganado (EVM)**

El método se desarrolla a partir de la medición, en unos puntos de control determinados, de tres variables básicas: el valor ganado (EV), el planificado (PV) y el coste actual (AC) [7]. Las tres magnitudes se obtienen de los datos arrojados por el sistema de recogida de información del modelo de control de costes. Por lo tanto, dos de los valores se obtienen de forma inmediata, como son el valor planificado, fijado desde el inicio, y el coste actual, extraído de la certificación. El problema surge en la determinación del importe del valor ganado. Resulta altamente complejo intentar averiguar qué parte de obra ejecutada corresponde a la prevista en proyecto y, en caso de presentarse, cuál resulta ser adicional.

Uno de los aspectos más interesantes que aporta la técnica del EVM con el objetivo de seguir y analizar el comportamiento de la ejecución de la obra, es el sistema de representación gráfica de las principales magnitudes que utiliza. Estos gráficos permiten observar de manera sencilla el comportamiento de la obra en términos de coste y de plazo y también de las desviaciones que se producen durante el proceso de ejecución.

## 2. METODOLOGÍA

La idea ha sido desarrollada bajo un método hipotético-deductivo, como camino lógico para buscar la solución al problema que se presenta. Este método de trabajo consiste en emitir hipótesis acerca de las posibles soluciones al problema planteado y en comprobar con los datos disponibles si estos están de acuerdo con aquéllas. Siendo la cuestión planteada básicamente observacional, la hipótesis se puede clasificar como empírica y de este modo observar de forma fiel los criterios para evaluar su validez.

### 2.1 Diseño del modelo para el seguimiento y control activo de costes y tiempos

A partir del estudio de diferentes opciones que recojan la metodología de integración de la información descrita, se llega al diseño del siguiente modelo. El nuevo método se fundamenta en la incorporación inmediata de la información conocida durante el proceso de seguimiento (Figura 2).

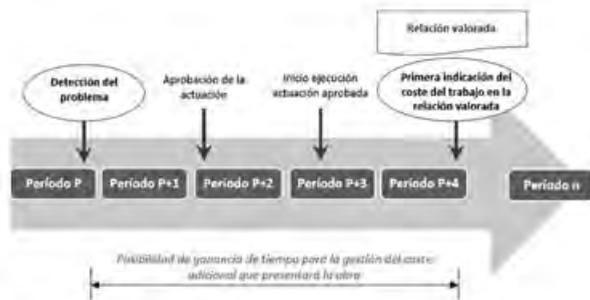


Figura 2 : Representación temporal de las acciones relacionadas con la habitual detección de un sobrecoste.

Una estructura habitual de elaboración de informes de control de costes soportados de construcción es la que incluye los apartados A, B, C, D y E de la Figura 3.



Figura 3: Nueva estructura de los informes de control de costes de obra (sin histórico).

El modelo propuesto (Figura 3) incorpora tres nuevos registros en el esquema de control con el fin que den cabida a: un diferencial de medición (cantidad que modifica el presupuesto objetivo), destinado a recoger todas aquellas circunstancias que puedan hacer variar la estimación de la producción que realmente se realizará en obra en atención a las decisiones y condiciones que se vayan conociendo durante todo el proceso (F); una medición de cierre (cantidad total resultante), destinado a recoger la medición total prevista en base a la incorporación de todas las circunstancias que han hecho modificar la previsión inicial (G); un importe total, destinado a recoger el pronóstico de liquidación de la obra como resultado de multiplicar la previsión de medición de cierre por su precio unitario de contrato (H).

## 2.2 Desarrollo de los indicadores de la técnica IMADO

Para completar la definición de la metodología se ha considerado imprescindible dotarlo de un conjunto de indicadores que, de la misma forma que hace el EVM, permita en cada etapa de seguimiento y control, conocer las magnitudes económicas más importantes, los valores de las desviaciones, los ratios de eficiencia y los valores que se puedan prever para el cierre y liquidación de la obra (Figura 4). Del mismo modo, estos indicadores y su traslado al sistema de representación gráfica, sin duda, pueden facilitar el establecimiento de unos cuadros de mando que resuman la información y faciliten mostrar una imagen global y fiel del comportamiento de la ejecución de la obra en términos de cumplimiento del alcance, del coste y del tiempo.

El cambio más importante en estos indicadores, con respecto al EVM, corresponde al modo de cálculo del importe de la previsión de cierre (EAC). Este concepto pasa a ser una magnitud extraída del nuevo modelo de seguimiento y control diseñado, tal y como puede apreciarse en la Figura 3. La idea expuesta y defendida en este estudio redefine esta previsión añadiendo al presupuesto a la conclusión (BAC) todos aquellos hechos económicos que se conocen, en un determinado momento, y que pueden acabar pasando durante la ejecución de la obra, y todo ello con independencia de que los trabajos origen de desviación económica se hayan ejecutado y contabilizado como costes reales. Además, se define una nueva magnitud, el valor planificado ajustado (APV), que representa el valor planificado en el período de estudio ajustado de acuerdo a la información suministrada por el modelo de seguimiento propuesto. O sea, se corresponde al valor planificado (PV) corregido con las desviaciones económicas detectadas hasta el momento y planificadas siguiendo los mismos criterios utilizados en la planificación inicial, respetando el plazo total de cada operación programada, así como el plazo total y final previsto.

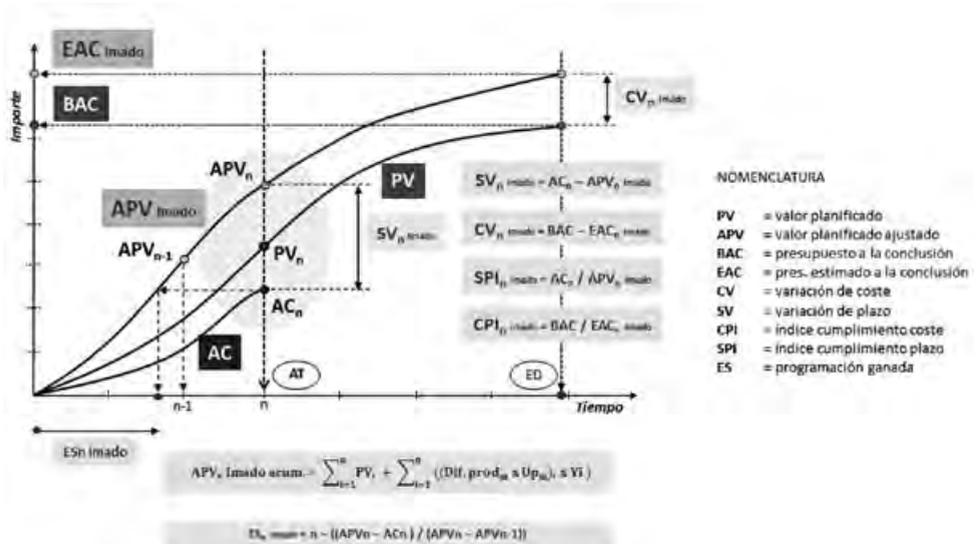


Figura 4 – Representación gráfica de las magnitudes e indicadores del método IMADO.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Caso de estudio

La metodología diseñada ha sido testeada en diferentes tipos de obra. Dado que en todas ellas existe desde inicio una gran cantidad de partidas y al mismo tiempo durante su desarrollo se han producido gran cantidad de incidencias, se ha optado por definir una obra tipo muy simple (Figura 5) que sirva de modelo, para la verificación del comportamiento del nuevo método.

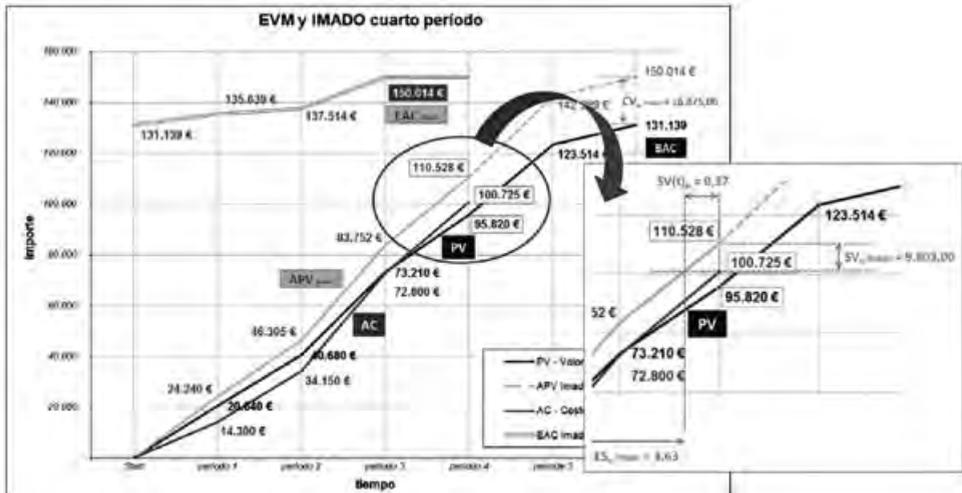
Se ha ensayado el nuevo método sobre cinco escenarios aplicados a la obra modelo, verificando su correcta funcionalidad y su contribución a la detección avanzada de los sobrecostes o retrasos. Con el objeto de mostrar todo su potencial se han comparado los resultados obtenidos con los alcanzados con la aplicación con una de las técnicas de estimación del EAC de la metodología EVM, para uno de los escenarios definido, en concreto el escenario 3 que se reproduce a continuación en la Figura 5 y Figura 6 y que presenta sobrecostes y retraso en el plazo de ejecución.



Tabla 1: Tabla de magnitudes e indicadores del método EVM y IMADO para el escenario 3.

ESCENARIO 3			Proceso de obra con sobrecostos y con retrasos de obra									
			1	2	3	4	5	6	7			
			PERIODO 1	PERIODO 2	PERIODO 3	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 6	PERIODO 7			
CONCEPTO			FORMULA									
EVM (€)	MAGNITUD	Budget at completion	BAC	131.139,00	131.139,00	131.139,00	131.139,00	131.139,00	131.139,00	131.139,00		
		Planned Value	PV <sub>planned</sub>	20.840,00	40.680,00	73.210,00	95.820,00	123.514,00	131.139,00	131.139,00		
		Actual Cost	AC <sub>actual</sub>	14.300,00	34.150,00	73.800,00	100.725,00	138.835,00	144.070,00	150.014,00		
		Earned Value	PV <sub>earned</sub>	14.300,00	34.150,00	68.500,00	84.350,00	119.760,00	135.195,00	151.139,00		
	INDICADOR	Schedule Variance	CV <sub>planned</sub>	EV <sub>planned</sub> / AC <sub>planned</sub>	1,00	0,60	-0,900,00	-0,973,00	-0,875,00	-0,837,00	-0,827,00	
		Schedule Variance	SV <sub>planned</sub>	EV <sub>planned</sub> - PV <sub>planned</sub>	-6.340,00	-6.530,00	-4.910,00	-4.470,00	-3.754,00	-5.944,00	0,00	
		Cost Performance Index	CP <sub>planned</sub>	EV <sub>planned</sub> / AC <sub>planned</sub>	1,00	1,00	0,94	0,94	0,86	0,87	0,87	
		Schedule Performance Index	SP <sub>planned</sub>	EV <sub>planned</sub> / PV <sub>planned</sub>	0,69	0,84	0,85	0,88	0,87	0,85	1,00	
		Estimate at Completion	T2 - EAC	BAC + (EAC - PV)	131.139,00	131.139,00	135.639,00	137.514,00	150.014,00	150.014,00	150.014,00	150.014,00
			T3 - EAC	AC + ((BAC - EV) / CP)	141.189,00	131.139,00	169.719,20	189.999,78	151.807,81	150.910,35	150.014,00	150.014,00
T4 - EAC	AC + ((BAC - EV) / (CP + SP))		152.940,35	149.084,77	144.594,25	140.611,65	152.220,31	153.334,50	150.014,00	150.014,00		
T9 - EAC	AC + ((BAC - EV) / ((80 - CP) + (20 - SP)))		160.348,89	155.388,82	158.524,18	149.818,63	155.100,30	152.520,37	150.014,20	150.014,20		
ES (AT)	INDICADOR	earned Schedule Variance (SV)	ES <sub>planned</sub>	[(EV <sub>planned</sub> - PV <sub>planned</sub> ) / (PV <sub>planned</sub> - BAC)]	0,00	1,67	2,85	3,53	4,85	5,22	6,00	
		Module Variance (V)	SV <sub>planned</sub>	AT <sub>planned</sub> - ES <sub>planned</sub>	0,31	0,33	0,14	0,07	0,14	0,78	1,00	
		Estimate at Completion (E)	EAC <sub>planned</sub>	AT <sub>planned</sub> + (E <sub>planned</sub> - ES <sub>planned</sub> )	0,51	0,82	0,15	0,07	0,12	0,78	1,00	

ESCENARIO 3			Proceso de obra con sobrecostos y con retrasos de obra								
			1	2	3	4	5	6	7		
			PERIODO 1	PERIODO 2	PERIODO 3	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 6	PERIODO 7		
CONCEPTO			FORMULA								
IMADO (€)	MAGNITUD	Budget at completion	BAC	131.139,00	131.139,00	131.139,00	131.139,00	131.139,00	131.139,00	131.139,00	
		Planned Value	PV <sub>planned</sub>	20.840,00	40.680,00	73.210,00	95.820,00	123.514,00	131.139,00	131.139,00	
		Actual Cost	AC <sub>actual</sub>	14.300,00	34.150,00	72.800,00	100.725,00	138.835,00	144.070,00	150.014,00	
		Adjusted Planned Value	APV <sub>planned</sub>	24.240,00	46.305,00	83.751,67	110.538,15	142.589,00	150.014,00	150.014,00	
		Estimate at Completion	EAC <sub>planned</sub>	135.639,00	137.514,00	150.014,00	150.014,00	150.014,00	150.014,00	150.014,00	
	INDICADOR	Cost Variance	CV <sub>planned</sub>	AC - EAC <sub>planned</sub>	-4.500,00	-6.375,00	-18.875,00	-18.975,00	-18.875,00	-18.875,00	-18.875,00
		Schedule Variance	SV <sub>planned</sub>	EV <sub>planned</sub> - APV <sub>planned</sub>	-6.940,00	-12.158,00	-10.851,87	-9.805,15	-3.754,00	-5.944,00	0,00
		Cost Performance Index	CP <sub>planned</sub>	BAC / EAC <sub>planned</sub>	0,97	0,95	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
		Schedule Performance Index	SP <sub>planned</sub>	EV <sub>planned</sub> / APV <sub>planned</sub>	0,99	0,74	0,87	0,91	0,97	0,86	1,00
		% Deviation EAC <sub>planned</sub>	NCE <sub>planned</sub>	(EAC <sub>planned</sub> / BAC) - 1	3,49%	4,88%	14,89%	14,89%	14,89%	14,89%	14,89%
ES (AT)	INDICADOR	earned Schedule Variance (SV)	ES <sub>planned</sub>	[(APV <sub>planned</sub> - AC <sub>planned</sub> ) / (APV <sub>planned</sub> - BAC)]	0,59	1,48	2,71	3,83	4,88	5,22	6,00
		Module Variance (V)	SV <sub>planned</sub>	AT <sub>planned</sub> - ES <sub>planned</sub>	0,41	0,55	0,29	0,17	0,12	0,78	1,00
		Estimate at Completion (E)	EAC <sub>planned</sub>	AT <sub>planned</sub> + (E <sub>planned</sub> - ES <sub>planned</sub> )	0,42	0,55	0,29	0,17	0,12	0,78	1,00



#### 4. CONCLUSIONES

En conclusión y en base al método diseñado puede afirmarse que su implantación a los sistemas tradicionales de seguimiento y control supone un avance en pro de un mayor conocimiento y control del comportamiento real del proyecto, en términos de gestión de tiempo y coste. Los valores manejados para la definición del modelo son fáciles de obtener superando de esta forma la dificultad que supone conseguir el EV. La simplicidad de las bases del modelo permite su incorporación a los softwares informáticos específicos de gestión. La información recogida y obtenida del modelo propicia la obtención de proyecciones objetivas del comportamiento económico de la obra, sin que sea necesario plantear hipótesis probabilísticas para obtener importes de liquidación poco fiables y seguros.

#### 5. RECONOCIMIENTOS

La investigación presentada parte de un proyecto subvencionado por la Escuela de la Administración pública de Cataluña (EAPC) del departamento de Empresa y Conocimiento de la Generalitat de Cataluña.

#### 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Flyvbjerg, B. (2014). *What You Should Know About Megaprojects and Why: An Overview*. *Project Management Journal*, vol. 45, no. 2, April-May, 6-19.
- [2] Flyvbjerg, B., Holm, M., & Buhl, S. (2002). *Underestimating Costs in Public Works Projects: Error or Lie?* *Journal of the American Planning Association*, 68(3), 279-295.
- [3] Flyvbjerg, B. (2007). *Megaproject Policy and Planning: Problems Causes, Cures*. Aalborg, Denmark: Institut for Samfundsudvikling og Planlægning.
- [4] Valderrama, F., & Guadalupe, R. (2016). *Dos modelos de aplicación del EVM para el sector de la construcción*. PRESTO (<http://www.rib-software.es>), 1-16.
- [5] Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación.
- [6] Ley 9/2017, de 8 de noviembre, de Contratos del Sector Público, por la que se transponen al ordenamiento jurídico español las Directivas del Parlamento Europeo y del Consejo 2014/23/UE y 2014/24/UE, de 26 de febrero de 2014.
- [7] Project Management Institute (2012). *Practice Standard for Earned Value Management (2nd edición)*.

**EL FINAL DE LAS MEDICIONES: POR QUÉ ES UNA BUENA NOTICIA**

VALDERRAMA, FERNANDO

*RIB Spain, Madrid, España**E-mail: fernando.valderrama@rib-software.es, Web: www.rib-software.es***PALABRAS CLAVE:** Mediciones; BIM; Big data.**RESUMEN**

Durante años parecía que el trabajo fundamental de un aparejador era la medición, lo que se enseñaba tradicionalmente en las Escuelas. Cuantificar hasta el último detalle los más minúsculos elementos del edificio. Hoy, este trabajo, completamente rutinario, lo realizan perfectamente los ordenadores si el proyecto se ha realizado con BIM. Puede que haya elementos del proyecto sin modelar, puede que no todos los componentes del modelo tengan una relación biunívoca con las unidades de obra del presupuesto, pero la mayoría del trabajo de medición es automático. ¿Ha acabado la profesión? No, porque la base del trabajo del aparejador no es medir. El centro de su tarea es sustituir los tipos ideales, genéricos, que figuran en el proyecto, por productos y soluciones constructivas específicos de un entorno tecnológico, geográfico y temporal definido, que existe en el mercado y al que se puede poner precio. Esto no cambia en el modelo BIM, porque las especificaciones suficientes para definir “arquitectónicamente” el proyecto no son las mismas que para licitarlo, al igual que éstas no son suficientes para construirlo. Por tanto, el trabajo rentable, productivo, creativo, del aparejador es ahora aún más importante y más cualificado. Se trata de sustituir la visión reduccionista de “las mediciones” por el punto de vista completo de “la gestión del coste”; que se inicia desde antes de que exista un proyecto hasta que se entrega y que termina tras el período de garantía, o cuando el edificio termina su vida útil. Proceso en el que el ordenador aporta su valor como herramienta, por supuesto, pero que está lejos de tomar decisión alguna que reemplace el trabajo de los profesionales.

## 1. INTRODUCCIÓN

Según el Código Técnico de la Edificación, las mediciones son todo un documento del proyecto, el “IV”, aunque el espacio que le dedica es tan escaso que cabe reproducirlo íntegramente [1]:

“Desarrollo por partidas, agrupadas en capítulos, conteniendo todas las descripciones técnicas necesarias para su especificación y valoración”.

En comparación con los cientos o miles de páginas del CTE, puede dar la impresión de que esta parte del proyecto no es muy importante, igual que ocurre con el documento “V”, el presupuesto.

Sin embargo, la escueta definición del CTE no es trivial. Contiene dos exigencias bien claras:

- El proyecto se ha de descomponer en elementos más pequeños, las partidas, que serán los componentes a valorar. Se entiende que en una primera instancia por el autor del proyecto y más tarde por el contratista.
- Las partidas contendrán un texto tan exhaustivo como haga falta para que lo que se valora y ejecuta por el contratista sea exactamente lo deseado por el equipo de diseño.

Cualquier profesional con experiencia reconoce que estos dos puntos son las claves del éxito en la gestión del coste. Si los reescribimos desde un punto de vista práctico:

- Enumerar todas las partidas necesarias para ejecutar el proyecto, sin olvidos, lo que en la práctica actual puede equivaler a asignar a todos y cada uno de los elementos del proyecto unidades de obra elegidas de un cuadro de precios, completadas con otras redactadas expresamente.
- Revisar, modificar o redactar los textos de manera que quede claro lo que se desea, sin ambigüedades o lagunas, incluyendo, valga la redundancia, todos los “inclusos” pertinentes.

Un proyecto así redactado difícilmente tendrá modificados o sobrecostes que sean achacables al responsable del coste.

## 2. ¿SON NECESARIAS “LAS MEDICIONES”?

### 2.1 No, según el CTE

Obsérvese que entre las exigencias del CTE no figura la enumeración exhaustiva de los elementos del proyecto que corresponden a cada partida, lo que normalmente denominamos “las mediciones”. Se puede pensar que se requieren implícitamente para conocer la cantidad total de la partida. Pero, ¿es necesario conocer esta cantidad total con exactitud para realizar la oferta y ejecutar el proyecto?

En el procedimiento tradicional de contratación y abono, habitual en obra pública y por mimetismo utilizado en muchas obras privadas, lo que se contrata es el precio unitario, que se aplicará a la medición realmente ejecutada. La cantidad del proyecto es sólo una referencia. Desde luego, el coste unitario de ejecutar una unidad de obra no es el mismo que el de

ejecutar diez, cien o mil, pero no varía mucho dentro del rango de variación de la cantidad que se puede estimar aproximadamente por ratios o por métodos simplificados, es decir, sin enumerarlo y medirlo “todo”.

En la práctica tradicional ya se reconocía que las mediciones pueden no ser exactas a propósito. Las “bolsas de medición” eran cantidades que no correspondían a elementos del proyecto y que en la ejecución se usaban como moneda de cambio para cubrir lagunas y errores. Este sistema era incluso recomendado como buena práctica, por ejemplo Mansilla [2] así lo afirma, en la misma página en la que exige “HONRADEZ, CLARIDAD y EXACTITUD”. Desde ese punto de vista, parece que la “EXACTITUD” no era tan importante.

Sea por esta costumbre o por otras razones, el hecho es que en las empresas constructoras se suelen medir de nuevo las partidas más significativas de los proyectos.

En relación con esto, es interesante observar que la profesión del Quantity Surveyor, el equivalente más cercano a la de nuestro Aparejador, surge para evitar que las empresas constructoras inglesas que ofertaban en el siglo XIX tuvieran que medir cada obra por separado, realizando el trabajo de una sola vez para todas y de forma fiable [3]. De manera que ese trabajo minucioso y pesado, si no va acompañado de la confianza sobre su fiabilidad para terceros, pierde todo su sentido.

“Las mediciones”, además, no aportan valor. El proyecto, antes y después de medirlo con todo detalle, es el mismo. Sin embargo, las tareas que el CTE exige con claridad sí que lo transforman. La selección de las partidas adecuadas y la preparación de las especificaciones no es un trabajo rutinario sino un proceso de toma de decisiones, donde se eligen sistemas constructivos y productos que antes no estaban definidos. Después de este trabajo el proyecto es mejor, proporcionalmente a la calidad del profesional y al esfuerzo empleado.

Con estos criterios la necesidad de medir con todo detalle se difumina, mientras se obtengan estimaciones de las cantidades totales por medios más eficientes que sean suficientes para fijar los precios unitarios.

## 2.2 Presupuesto y certificación

Si unas mediciones elemento por elemento no son necesarias en fase de proyecto ni para licitar, ¿hay alguna razón para hacerlas?

Una de las mejoras de Presto 10, que apareció en el mercado en 2007, era que las certificaciones detalladas se escribían en la misma ventana usada para las mediciones del presupuesto; una línea de medición se podía certificar sin más que marcar una casilla. Seguía siendo posible el sistema anterior, mediante líneas específicas para la certificación, distintas de las líneas del presupuesto. Sin embargo, muchos usuarios creían que el nuevo sistema era obligatorio y llamaban al soporte técnico para asegurar que este sistema no tenía cabida en la construcción: “el presupuesto es una cosa y la certificación es otra”.

Si las mediciones detalladas y completas, aun describiendo correctamente el proyecto, tampoco son útiles en la ejecución, ¿para qué sirven?

Pero el BIM ha venido a cambiarlo todo.

Para los nuevos profesionales, que usan modelos digitales desde el principio, la idea de que se modela de una manera y se construye de otra no tiene sentido. La opción de Presto de certificar con un clic sobre lo presupuestado (Figura 1), que se fue aceptando progresivamente, con el BIM es la única que se entiende. Y con este cambio de mentalidad sí sirven las mediciones detalladas: porque son útiles en la etapa de ejecución.

[V]	Tag	Planta	Orientación	Zona	N	Longitud	Anchura	Altura	Cantidad	CanPres	FaseCert	CanCert
1	<input type="checkbox"/>	Planta 2	Este		1	1,48	1,00	2,70	3,73		1	
2	<input type="checkbox"/>	Planta 2	Sur	Hall de entrada 201	1	3,01	1,00	2,70	7,85	11,58		3,73
3	<input type="checkbox"/>	Planta 1	Este		1	1,48	1,00	5,70	7,87	7,87	1	7,87
4	<input type="checkbox"/>	Planta 1 (salón)	Sur	Salón 210	1	6,20	1,00	2,70	16,20	16,20	1	16,20
5	<input type="checkbox"/>	Planta 1	Sur	Cocina y comedor 101	1	11,80	1,00	2,70	31,86		2	
6	<input type="checkbox"/>	Planta 1	Oeste	Cocina y comedor 101	1	6,14	1,00	2,70	16,58	48,44		0
7	<input type="checkbox"/>	Planta 2	Oeste	Dormitorio principal 206	1	6,20	1,00	3,00	26,49	26,49	2	0
8	<input type="checkbox"/>	Planta 1	Norte	Hall 105	1	11,80	1,00	2,70	31,86			
9	<input type="checkbox"/>	Planta 1	Norte		1	3,00	1,00	5,70	17,10	48,96		0

Figura 1: Certificación sobre las mediciones del modelo (Presto 2018)

Al aceptar que lo que se construye es el modelo, la certificación es el as-built del presupuesto [4] y las mediciones son la base de datos donde se puede registrar la vida de los elementos a que corresponden. Naturalmente, puede haber cambios entre proyecto y construcción, pero no con un modelo nuevo, que sustituye por completo al anterior, sino mediante una gestión de cambios incrementales del modelo existente, documentados, comunicados y aprobados.

### 2.3 De la imitación del papel al futuro

Las ventajas de los medios digitales se pueden aprovechar, por fin, de forma estratégica, no imitando lo que se hacía antes en papel, como ha ocurrido hasta ahora, sino desarrollando formas radicalmente distintas.

La buena noticia es que los medios digitales generan automáticamente las mediciones. Para eso se modela con tanto esfuerzo.

Se obtiene una cantidad de información que sería impensable con los medios manuales o digitales anteriores al BIM. Cada elemento genera una o varias líneas de medición, perfectamente identificables entre el presupuesto y el modelo, y posteriormente en la realidad, con su localización geométrica precisa, sus referencias a plantas, locales, rejillas y coordenadas, con todos los parámetros, propiedades y valores que se le asocian en el modelo.

Las líneas de medición adquieren una estructura de relaciones entre ellas. La línea que describe un hueco queda vinculada con la línea del muro, una idea que ahora parece evidente pero que ningún programa de presupuestos ha implementado en el pasado. También la carpintería queda asociada al hueco que rellena. Al eliminar un elemento, si se desea, puede desaparecer todo aquello que le afecta en el presupuesto, y también se puede saber su coste completo.

El enfoque “Big Data” también es posible. El exceso de información, cuando se puede gestionar correctamente, es una ventaja, no un problema. El responsable del coste recibe todos los datos del modelo, no sólo las dimensiones, sino los valores de parámetros, fases y opciones de diseño. Desde el propio presupuesto, sin necesidad de acceder al modelo cada vez, puede modificar los criterios de medición y analizar simulaciones. Las transferencias de medición, un recurso clásico cuando los procedimientos eran manuales, aparece de nuevo para medir unidades de obra necesarias pero que no forman parte del modelo.

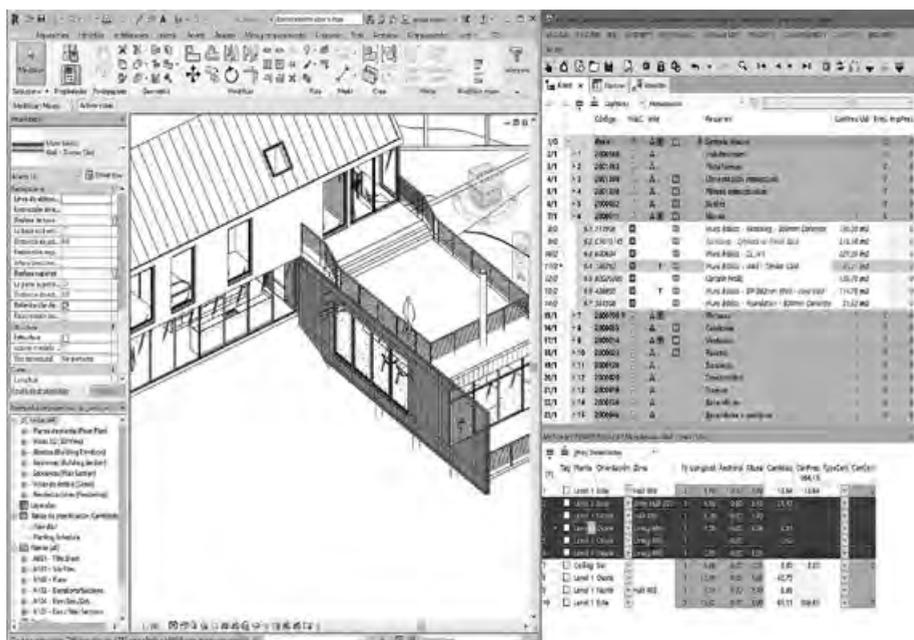


Figura 2: Trazabilidad (Revit 2018, Presto 2018).

De la misma forma, la trazabilidad y el control de la ejecución (Figura 2) se benefician de la posibilidad de mantener líneas independientes para cada elemento, sin refundir las líneas idénticas, a diferencia del sistema tradicional, porque la información desglosada siempre se puede filtrar, analizar y, en último caso, refundir. Manteniéndolas así las líneas de medición son la base de un sistema de información que permite identificar los elementos ya construidos o registrar los que han sufrido algún tipo de incidencia.

Lo que desaparece, en realidad, no son “las mediciones”, sino la rutinaria y pesada tarea de extraer del proyecto una información que se pueden generar automáticamente.

“La civilización avanza en proporción al número de operaciones que la gente puede hacer sin pensar en ellas.”

A. N. Whitehead.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 ¿Cuál es la tarea del profesional?

El aparejador no va a desaparecer por ello. Su verdadero papel es relacionar el modelo ideal generado por el equipo de diseño con los sistemas y productos reales de un entorno geográfico, temporal y cultural determinado.

Es decir, pasar de lo genérico a lo específico, analizando el proyecto, tomando las decisiones necesarias, detectando carencias, resolviendo lagunas y ambigüedades, preguntando al equipo de diseño, sugiriendo cambios: aportando valor.

En términos lingüísticos, sustituir el artículo determinado por el pronombre demostra-

tivo, convirtiendo “el muro” en “un muro” y “la puerta” en “una puerta”.

En términos BIM: asociando los tipos del modelo a las unidades de obra correspondientes.

### 3.2 ¿Qué enseñar en las Escuelas?

Tal vez en otros momentos, con costes unitarios relativamente más altos y edificios más sencillos, era conveniente realizar meticulosamente las mediciones, y por eso es lo que se sigue enseñando en muchas Escuelas.

Si tomamos como ejemplo el ejercicio habitual de la medición de una estructura convencional de hormigón, al alumno se le requiere generar una larga lista de componentes, pieza por pieza y material por material. Pero estas estructuras en la realidad se van a licitar, ofertar y certificar por metro cuadrado; los posibles sobrecostes no van a estar relacionados con errores en las cantidades.

El énfasis en “las mediciones” impide tener en cuenta el resto de las competencias necesarias para realizar una buena gestión del coste. Al liberar el tiempo de lo rutinario, el alumno podrá centrarse en los problemas reales. En el caso de la estructura una posible lista de competencias sería la siguiente:

- Reconocer situaciones no convencionales y riesgos relativos al coste.
- Relacionar la planificación de la estructura, el tiempo y el coste.
- Conocer las cuantías habituales en distintas piezas y tipos de obra.
- Entender sus distintas formas de contratación y abono.
- Manejar los precios por metro cuadrado aproximados de los tipos de estructura más habituales.
- Elegir y aplicar correctamente las unidades de obra de los cuadros de precios.
- Revisar sus textos o redactarlos de nuevo, de acuerdo a las características del proyecto.

Y se puede realizar un análisis similar en muchos otros subsistemas del edificio.

## 4. CONCLUSIONES

“Las mediciones”, ahora realizadas por los ordenadores, han sido un cliché sobre la tarea del aparejador, sobrevalorado en las Escuelas. Su final es una buena noticia. El rol del profesional, el que ha realizado siempre, el que aporta valor al proyecto, no es sustituible por las máquinas: convertir lo abstracto en concreto.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ministerio de Fomento (2013). *Código Técnico de la Edificación CTE*, Parte I. Madrid.
- [2] Mansilla, Fernando (1970). *Apuntes de mediciones, valoraciones y presupuestos de obras*. Ecesa, Sevilla,
- [3] Bowen, Brian (2009). *The Quantity Surveyor: Missing in Action in the USA*. Proceedings of the Third International Congress on Construction History, Cottbus, Mayo 2009.
- [4] Valderrama, Fernando (2019). *Mediciones y presupuestos. Para arquitectos e ingenieros de edificación*. Reverté, Barcelona.

## REPERCUSIÓN DE LOS COSTES INDIRECTOS EN LOS PRESUPUESTOS DE LOS PROYECTOS

ALEDO GUERAO, SALVADOR<sup>1</sup>; PALLARES MARTINEZ, PEDRO ANTONIO<sup>2</sup>.

*<sup>1</sup> Universidad Católica San Antonio de Murcia, Murcia, España*

*E-mail: s.aledo@arrakis.es, Web: www.ucam.edu;*

*<sup>2</sup> Universidad Católica San Antonio de Murcia, Murcia, España*

*E-mail: pedropallares@esatarquitectura.com, Web: www.ucam.edu.*

**PALABRAS CLAVE:** estimar; indirectos; ley; descompuestos; porcentaje.

### RESUMEN

La comunicación parte de la hipótesis de la inadecuada aplicación de los criterios para establecer los Costes Indirectos en los Proyectos de Obras y es por lo que se propone, como objetivo, plantear un método que permita su correcta estimación.

Se ha desarrollado una investigación basada en el estudio de mil doscientos cuarenta y tres (1.243) Proyectos de Obras Oficiales redactados para Organismos Oficiales y después de eliminar los 243 Proyectos considerados como no válidos, se han obtenido los datos suficientes para llegar a la conclusión de que el criterio utilizado para el cálculo de los Costes Indirectos ha sido erróneo.

La decisión de analizar proyectos para obra pública se basa que es obligatorio la incorporación de precios descompuestos en la confección del presupuesto de la obra, situación esta, que en los proyectos privados no es un requisito ni legal ni que habitualmente se exija.

Como consecuencia los Proyectos mencionados aportan un Presupuesto de Ejecución Material que no se corresponde con la realidad de la valoración económica de la obra proyectada ya que este error impide obtener adecuadamente el precio unitario de ejecución material de las partidas de obra que componen el presupuesto.

Se parte de la base de una serie de supuestos entre los que destacan:

- Desconocimiento generalizado de su cálculo por parte de los técnicos proyectistas.
- Uso inadecuado de los criterios de valoración y estimación de los Costes Indirectos en los Proyectos de Obra Oficiales para la Administración Pública y carencia de la justificación de la estimación calculada.
- Falta de concreción, en los criterios establecidos en los documentos legales de obligado cumplimiento, de cómo se deben estimar.

## 1. INTRODUCCIÓN

El cálculo de los Costes Indirectos (de ahora en adelante, CI) en la confección del presupuesto, es una labor que en la mayor parte de los proyectos no es realizada por parte del proyectista debido a la ignorancia y/o al desconocimiento del método más adecuado que se debe utilizar, así como a la falta de disciplina legal. Esta forma de actuar supone un importante error presupuestario en la obra proyectada, ocasionando unas graves consecuencias para el promotor por lo que se pretende definir un método para el cálculo de los CI.

Para realizar el cálculo de los precios unitarios de ejecución material se utiliza una base de precios que se agrupan en cinco tipos:

- Precio de los materiales.
- Precio de la mano de obra.
- Precio de la maquinaria.
- Medios auxiliares.

Y sobre los mismos se calculan los CI sobre los cuales, es muy importante tener claro la diferencia entre los CI que integran el Presupuesto de Ejecución Material (de ahora en adelante, PEM) y los Gastos Generales (de ahora en adelante, GG) que pasan a integrar el Presupuesto de Contrata.

Los CI son la parte de los costes / gastos, que contribuyen a la producción de forma indirecta y que, aun siendo absolutamente necesarios para la ejecución de un proyecto, no se pueden considerar en una unidad de obra concreta sino en el conjunto.

En cambio, los GG engloban todos los costes y gastos que se generan “fuera de la obra”, entendida como concepto físico, ya que todos los costes que se generan de “la puerta de la obra hacia dentro” deberían que estar integrados en el PEM de la obra, bien como Costes Directos (de ahora en adelante, CD), bien como CI.

### 1.1 Antecedentes legislativos y legislación vigente

La legislación vigente es Ley de Contratos del Sector Público 9/2017 y el Texto Refundido de la Ley de Contratos del Sector Público 3/2011, complementada por el Real Decreto 1098/2001 Reglamento General de la Ley de Contratos de las Administraciones Públicas (de ahora en adelante, RGLCAP) en su artículo 130.3, vigente pero no adaptado a la legislación actual. Complementariamente, en algunos proyectos, se utiliza legislación derogada como es el caso de la Orden de 12 de junio de 1968 del Ministerio de Obras Públicas y el Real Decreto 982/1987. De la legislación vigente cabe destacar:

- Artículo 130 del RGLCAP. Cálculo de los precios de las distintas unidades de obra.  
“... 3. Se considerarán Costes Indirectos: Los gastos de instalación de oficinas a pie de obra, comunicaciones, edificación de almacenes, talleres, pabellones temporales

*para obreros, laboratorio, etc., los del personal técnico y administrativo adscrito exclusivamente a la obra y los imprevistos. Todos estos gastos, excepto aquéllos que se reflejen en el presupuesto valorados en unidades de obra o en partidas alzadas, se cifrarán en un porcentaje de los costes directos, igual para todas las unidades de obra, que adoptará, en cada caso, el autor del Proyecto a la vista de la naturaleza de la obra proyectada, de la importancia de su presupuesto y de su previsible plazo de ejecución...”*

Con el repaso del contenido de este articulado se puede comprobar la ausencia de determinados aspectos relevantes que conviene aclarar.

## **1.2 Bancos de precios**

Los más utilizados son, entre otros, los siguientes:

- [1]: los precios incluyen CI y aporta metodología para el cálculo, conceptos de coste a incluir y una tabla de estimación dependiendo de la ratio de coste por metro cuadrado, así como del plazo de ejecución de las obras lo cual “obliga” al proyectista, a realizar el análisis, estudio y cálculo de los CI de la obra que está proyectando.
- [2]: en sus precios no incluye los CI, pero sí aporta un listado de conceptos a tener en cuenta que posibilita al proyectista, al menos, a plantearse el análisis y estudio de los CI de la obra que está proyectando.
- [3]: aporta un listado de conceptos de posibles CI, pero sus precios no incluyen los CI.

## **1.3 Programas informáticos**

Todos los programas informáticos disponibles en el mercado recogen los CD que aplicándoles el porcentaje de CI se obtiene el PEM y por lo tanto, se ajustan cumpliendo lo regulado por el artículo 130:

- Arquímedes: permite al proyectista la introducción de un % arbitrario incorporando, por defecto el 3%, de CI y también un porcentaje justificado de CI calculado dentro del propio programa.
- Presto: ofrece al proyectista la opción de introducir un % arbitrario o usar el predeterminado. Aporta herramientas para su cálculo detallado y correcto.

## **1.4 Estado actual de las investigaciones**

En base a la información existente, las referencias localizadas son muy escasas, careciendo de bibliografía referida y de documentación actualizada y de las mismas se desprende, a modo de resumen, que la estimación de los CI se debería realizar con un método que dé lugar al análisis de todos los posibles costes que genera el proyecto y que tendrán la consideración, a criterio libre del proyectista, si son CD o si son CI.

Para conseguir llevar a buen término el seguimiento económico del expediente, se debe partir de la premisa que cualquier coste que genere la obra proyectada y que el contratista tenga que abonar, obligatoriamente, tiene que estar contemplado en los costes previstos por

el proyectista en el presupuesto del proyecto y dependerá, del proyectista, considerar los costes como CD, CI o bien en su caso, como GG, aunque en ningún caso podrán ser considerados incluidos en el Beneficio Industrial.

## 2. METODOLOGÍA

El proceso seguido ha consistido en:

1º Disponer y analizar proyectos generando una base de datos [4] de 1.000 los cuales, Tabla 1, todos se corresponden con obras oficiales pues es requisito que dispongan de Precios Descompuestos (de ahora en adelante, PD).

Tabla nº 1. Selección o rechazo de Proyecto.

Proyectos	Aceptados / Rechazados	Comentarios
A	aceptados	No incluyen cuadro de PD
B	aceptados	Los PD no incorporan los CI
C	aceptados	CI sin justificación alguna
D	aceptados	Utilizan normativa actualmente derogada
E	aceptados	Calculo justificado superando el 6%.
F	aceptados	Sin justificación alguna, superando el 6%.
G	aceptados	Incluye otros conceptos y no solo los CI
H	aceptados	Es variables el % de CI
I	rechazados	Proyectos incompletos
N	rechazados	Proyectos que contaminan los resultados

2º Investigar si los Proyectos que aportan PD y que incluyen los CI, estos han sido calculados, adecuadamente o no.

3º Analizar el procedimiento utilizado en los proyectos, según se haya realizado la estimación del porcentaje de CI a aplicar en cada precio unitario de ejecución material.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se dispone de Proyectos de Obra Oficiales (de ahora en adelante, POO) con las siguientes características:

- Proyectos redactados por técnicos de distintas titulaciones (Tabla 2).
- De distintas tipologías de obras (Tabla 3).
- Con importes de PEM distintos (Tabla 4).

Tabla nº 2. Clasificación por la titulación.

Proyectos	Número	Porcentaje s/total
Arquitectos	642	64,2%
Ingenieros de Caminos	211	21,1%
Equipos	40	4,0%
Otros Profesionales	107	10,7%

Tabla nº 3. Clasificación tipología de obra.

Proyectos	Número	Porcentaje s/total
Edificación	625	62,5%
Obras Civil	129	12,9%
Urbanizaciones	137	13,7%
Otras Obras	109	10,9%
<b>TOTALES</b>	<b>1.000</b>	<b>100,0%</b>

Tabla nº 4. Clasificación por el importe del PEM.

Proyectos	Número	Porcentaje s/total	Porcentaje acumulado
<300.000 €	299	29,9%	29,9%
300.000,01 - 600.000 €	181	18,1%	48,0%
600.000,01 - 6.000.000 €	435	43,5%	91,5%
>6.000.000 €	85	8,5%	100,0%
<b>TOTALES</b>	<b>1.000</b>	<b>100,0%</b>	

Tabla nº 5. Clasificación por el tipo de CI.

Proyectos	Número	Porcentaje s/total
A	85	8,5%
B	251	25,1%
C	521	52,1%
D	77	7,7%
E	3	0,3%
F	28	2,8%
G	22	2,2%
H	13	1,3%
<b>TOTALES</b>	<b>1.000</b>	<b>100,0%</b>

Tabla nº 6. Clasificación ordenada según el tipo de CI.

Proyectos	Número	Porcentaje s/total	Porcentaje acumulado
C	521	52,1%	
B	251	25,1%	
A	85	8,5%	<b>85,7%</b>
D	77	7,7%	<b>93,4%</b>
F	28	2,8%	
G	22	2,2%	
H	13	1,3%	<b>99,7%</b>
E	3	0,3%	
<b>TOTALES</b>	<b>1.000</b>	<b>100,0%</b>	

Procediendo a ordenar, de mayor a menor el porcentaje de proyectos analizados atendiendo a su casuística, los resultados obtenidos quedan reflejados en las Tabla 5 y 6.

La primera lectura que se realiza en la Tabla 6 es que el 85,7% de los POO de la base de datos [4] se corresponden con los Tipos A, B y C, los cuales no han procedido, correctamente, a incluir los CI ya que carecen de los mismos o simplemente se ha incorporado un porcentaje arbitrario además de erróneo e insuficiente.

En segundo lugar, si a estos tipos que representan el 85,7% se suman los Proyectos que consideran los CI según una legislación o normativa derogada, como son los del tipo D, se obtiene un porcentaje del 93,4%, es decir, casi todos los POO incluyen erróneamente en sus presupuestos los preceptivos CI a aplicar en todos los precios unitarios de ejecución material.

Se observa, Tabla 6, cómo el 99,7% de los Proyectos están mal redactados independiente del tipo de obra, del Órgano de Contratación, de su PEM y de la titulación del proyectista.

Estos resultados confirman que el cálculo de los CI se realiza erróneamente, por lo que procede determinar un método para evitar esta sistemática de errores en la confección de los presupuestos de las obras proyectadas y/o contratadas. Se procede a recordar la clasificación realizada, Tablas 1, 5 y 6, a continuación:

- Tipo “C”: es el caso predominante y se corresponde con los Proyectos que han elegido, de forma arbitraria, el porcentaje de CI a aplicar siendo inferior al 6% (la mayoría aplica el 3% y también, en algunos casos, el 1%).
- Tipo “B”: se corresponde con los Proyectos que no incorporan los CI en los PD.
- Tipo “A”: este tipo se corresponde cuando el Proyecto no aporta los preceptivos PD.
- Tipo “D”: es el caso de Proyectos que erróneamente incluyen la justificación del porcentaje aplicado, pues han utilizado como referencia un Reglamento derogado.
- Tipo “F”, Tipo “G” y Tipo “H”: todos los POO con estas tipologías están mal redactados ya que el porcentaje de CI está incorrectamente estimado.
- Tipo “E”: se corresponde con la tipología con menor cantidad de Proyectos. Curiosamente es el único tipo que, en opinión de los autores de esta comunicación, aporta un porcentaje de CI adecuado a la obra proyectada y que además su estimación queda justificada en el Proyecto.

Del análisis de los Proyectos estudiados para el desarrollo de esta investigación, se observa que en el 52,1% de la muestra utilizada, el porcentaje más utilizado por los Proyectistas para el cálculo del CI está en la banda del 1% al 3%, elegido arbitrariamente.

Además, en la mayor parte de los casos estudiados, la aplicación de este porcentaje no está justificada, debido a que muchos programas informáticos llevan prefijado entre el 1% y el 3% como dato de partida.

Para la aplicación del CI, es vital que el proyectista tenga claro que este concepto de coste es tan importante como cualquier unidad de obra y que su repercusión económica es muy decisiva, puesto que es un porcentaje que se aplica a todas las unidades de obra y por lo tanto, de forma directa, afecta a las desviaciones económicas de la obra y que para ello debe conocer el concepto de lo que son los CI.

Hay que incidir en que se valorarán como CI todos los conceptos necesarios para la ejecución material de la unidad de obra y que NO se hayan incluido, en el cálculo de los CD. Esto se debe a que su no inclusión como CD siempre viene justificada para simplificar, la laboriosa redacción de los PD de cada unidad de obra.

De la toma de datos realizada, se desprende el hecho de que hay Organismos Públicos para los que la aplicación del porcentaje de CI es un número fijo e incluso, en muchos casos, su aplicación es de obligado cumplimiento, a pesar de ser contrario a lo regulado por el artículo 130 del Reglamento de la Ley de Contratos de las Administraciones Públicas.

No se debe suponer nunca que algún tipo de estos costes está incluido en los GG de empresa o bien, en el Beneficio Industrial. Si procediese a su inclusión provocaría la presentación de un presupuesto de obra que, desde el primer momento y antes de su ejecución, ya es erróneo.

No corresponde en ningún caso, aunque así sea interpretado en muchas ocasiones por la Administración Pública y/o por los técnicos proyectistas o directores de obra, que estos costes estén incluidos en los GG de empresa o incluso, lo que es más grave, si cabe, en el Beneficio Industrial. Por todo ello, debe quedar claro que se consideran GG de empresa los gastos que se originan para el funcionamiento y desarrollo de la actividad de la empresa, distribuyéndose de forma porcentual sobre el PEM.

Para los casos en que el propio Órgano de Contratación, aun estando en un error, obligue a incorporar en el proyecto unos CI irreales, se debe conocer realmente el importe de estos y ver los conceptos de coste que se pueden incorporar en el cálculo de los CD. Esto permitirá que las unidades de obra proyectadas y valoradas, a su precio de mercado, puedan ser mermadas por la carencia o infravaloración de los CI. Es decir, se debe evitar que el importe de la disponibilidad económica real para los materiales, maquinaria y mano de obra de cada unidad de obra sea calculado en orden inverso a la realidad y que, por lo tanto, los precios básicos incorporados en el proyecto no se correspondan con los que realmente se puedan utilizar durante el transcurso de la obra.

Podemos afirmar que, a la vista de lo publicado por distintos entes públicos, se incorpora a continuación, la legislación obliga al proyectista a adoptar CI inadecuados:

- “... *estimaré todos los gastos que han de considerarse como «costes indirectos» ...*” y a la vez condiciona a que “... *el valor del porcentaje K será como máximo del 6, 7 u 8 por 100 según se trate de obra terrestre, fluvial o marítima...*” [5]
- “... *el cálculo de porcentaje lo realizan los programas de mediciones y presupuestos, fijándose por tanto los CI dependiendo de la organización de la obra y de tipo-*

*logía constructiva para cada caso y estableciendo para las obras de la Junta de Extremadura en un 4%...” [6]*

Se propone incluir, en la memoria del proyecto, anejo justificativo con el cálculo del porcentaje a aplicar como CI, el cual quedará incorporado a cada uno de los precios descompuestos utilizados en el presupuesto de la obra proyectada.

#### **4. MÉTODO DE ESTIMACIÓN DE LOS COSTES INDIRECTOS**

El Método que se propone es muy sencillo de aplicar ya que el proyectista, perfecto conocedor de las características de la obra que está proyectando, sólo necesitaría disponer del total del CD, del plazo de ejecución de la obra y de un método para calcular correctamente los CI partiendo del cálculo total de los CD antes de la incorporación de los CI. Para su estudio por parte del proyectista, se propone estimarlos con el análisis de los siguientes posibles conceptos a tener en cuenta:

- Mano de obra del personal técnico. Implantación y mantenimiento de obra
- Mano de obra del personal para apoyo a la ejecución de la obra
- Maquinaria y Medios auxiliares para apoyo a la ejecución de la obra
- Tasas, tributos y varios. Otros costes indirectos. Recepción de obra
- Seguridad y Salud. Gestión de Residuos. Asistencia y Control de Calidad
- Costes exigibles al Contratista, incluidos en el Pliego de Condiciones Administrativas Particulares de la obra. Imprevistos

Se definen a continuación cada uno de ellos:

- Costes de mano de obra del personal técnico: son los que se originan con la contratación de aquellos trabajadores que, aunque no participan de una forma directa en la ejecución de la unidad de obra, si participan organizando y dirigiendo los trabajos para ejecutar la obra.
- Costes de implantación y mantenimiento de obra: se producen principalmente por la realización de instalaciones y servicios necesarios para la ejecución de la obra, dependiendo del volumen, naturaleza y dificultades que presente su ejecución, del plazo de ejecución y de la organización de la obra que se establezca. Su inclusión como CI se realiza siempre y cuando no estén incluidos en el preceptivo Estudio de Seguridad y Salud o en el Proyecto de Gestión de Residuos.
- Costes de mano de obra del personal para apoyo a la ejecución de la obra: se corresponde con la mano de obra indirecta, de personal no técnico, que es necesaria para la ejecución de la obra.
- Costes de maquinaria y medios auxiliares para apoyo a la ejecución de la obra: se incluye toda la maquinaria y medios auxiliares, a excepción de los incluidos en el cálculo de los CD considerados en el porcentaje de los medios auxiliares.
- Costes de tasas, tributos y varios: incluyen los costes de avales y seguros de la obra, pólizas de seguros de responsabilidad civil, contra terceros por los daños que puedan causarse a fincas colindantes, viandantes, etc., así como las pólizas de seguros de incendios y daños propios ocasionados por accidentes si son obligaciones impuestas

en el Pliego de Condiciones Administrativas Particulares de la obra.

- Otros costes indirectos: todos los costes que no se recogen en cualquiera de los apartados propuestos.
- Costes de la recepción de obra: costes que se generan cuando la obra se termina y hay que proceder a la entrega de la misma.
- Costes de Seguridad y Salud: todos los costes que genera el cumplimiento de la normativa de Seguridad y Salud en la obra, según el Estudio de Seguridad aprobado por el Coordinador de Seguridad. Habitualmente estos costes se incluyen como unidades de obra por lo que se consideran CD.
- Costes de Gestión de Residuos: se corresponden con el cumplimiento de la normativa que regula la producción y gestión de residuos de construcción y demolición. Estos costes son considerados, en la actualidad, como CD pues son incluidos como unidades de obra.
- Costes de Asistencia Técnica y Control de Calidad: los costes correspondientes al control de calidad de los proyectos, ensayos de materiales, control en la ejecución de la obra y las pruebas finales de las instalaciones. Hay determinados proyectos que, estos costes, los consideran como CD incluyéndolos en el presupuesto como unidades de obra o bien que la Administración contrate directamente estos trabajos.
- Costes exigibles al contratista, incluidos en los Pliego de Condiciones Administrativas Particulares de la obra: cualquier coste que tenga que asumir el contratista, en cumplimiento de lo reflejado en el referido pliego de la obra licitada. Igualmente, cualquier tasa de aplicación de las comunidades autónomas y/o de cualquier organismo oficial, así como los arbitrios municipales (incluso licencia de obras), si procede el abono y no son asumidas según el pliego, tal como corresponde o debería corresponderse, al Órgano de Contratación.
- Imprevistos: el proyectista realiza una previsión, sin justificación del concepto.

En la redacción de los presupuestos es habitual que determinados conceptos como son la seguridad y salud, la gestión de residuos, la asistencia técnica y control calidad, estén considerados como CD o bien, sean contratados por la propia Administración.

El Método que se propone en [4] ofrece las siguientes ventajas:

- Sencillez y rapidez de aplicación en cualquier proyecto de obra oficial o privada, independientemente de las características que contenga, del importe económico y del plazo de ejecución con el que esté proyectada la obra.
- Es muy versátil y adaptable a cualquier tipología de obra.
- No precisa de preparación previa o complementaria del proyectista o de cualquier agente que intervenga en la redacción del proyecto para su aplicación.
- Contempla todos los costes posibles que se pueden considerar como CI.
- Fácil de adaptar a cualquier OC o Normas de redacción de proyectos pues el programa informático, Excel, es fácil de manejar y muy adaptable a cualquier requisito que sea necesario.

## 5. ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

- CI: Costes Indirectos.
- PEM: Presupuesto de Ejecución Material.
- GG: Gastos Generales de Empresa.
- CD: Coste Directo.
- PD: Precios Descompuestos. POO: Proyectos de Obra Oficiales.

## 6. CONCLUSIONES

Como conclusión se considera que el cálculo correcto de los Costes Indirectos, debe ser una parte imprescindible del presupuesto, muy sencilla de realizar por parte del técnico proyectista según la obra proyectada y que, además, es de obligado cumplimiento para los proyectos que se redactan para la Administración Pública y muy aconsejable también en los proyectos de obras privadas.

A la vista de que el Reglamento de la Ley de Contratos de las Administraciones Públicas, actualmente vigente, no deja claramente reflejado el procedimiento correcto a seguir, además que no se corresponde con el Texto Refundido de la Ley de Contratos del Sector Público vigente ni con la nueva Ley de Contratos del Sector Público, de reciente entrada en vigor, para evitar errores sistemáticos y generales, se propone que el contenido al que hace referencia el artículo nº 130 del Reglamento, sea redactado en su punto 3, como sigue:

### *3. Se considerarán Costes Indirectos:*

*La mano de obra que no interviene directamente en la ejecución de la unidad de obra, así como el personal técnico y administrativo adscrito a la obra. En el caso de que no tenga exclusividad para la obra se aplicará el porcentaje que corresponda.*

*Los medios auxiliares y la maquinaria que no queden integrados en la unidad de que se trate.*

*Los gastos de personal, combustible, energía, etc., que tengan lugar por el accionamiento o funcionamiento de la maquinaria e instalaciones consideradas como Costes Indirectos.*

*Los gastos de amortización y conservación de la maquinaria e instalaciones anteriormente citadas.*

*Los gastos de instalación de oficinas a pie de obra, comunicaciones, edificación de almacenes, talleres, pabellones temporales para obreros, laboratorio, etc.*

*Los imprevistos.*

*Todos los gastos necesarios para la ejecución de la obra proyectada, excepto aquellos que se reflejen en los Costes Directos incorporados para valorar el precio de ejecución material de cada unidad de obra o en partidas alzadas, se cifrarán en un porcentaje a aplicar a los Costes Directos, igual para todas las unidades de obra, que adoptará, en cada caso, el autor del Proyecto a la vista de la naturaleza de la obra proyectada, de la importancia de su presupuesto, de su previsible plazo de ejecución y teniendo en cuenta el Pliego de Condiciones Administrativas Particulares de la obra proyectada.*

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Junta de Andalucía, Consejería de Fomento y Vivienda. Base de Costes de la Construcción de Andalucía (BCCA). Accedido el 1 de febrero, 2018 desde <http://www.juntadeandalucia.es>.
- [2] Base de Precios Junta Extremadura. Accedido el 1 de febrero, 2018 desde <http://www.baseprecios-construccion.gobex.es>.
- [3] Instituto de Tecnología de la Construcción de Catalunya. Bases de datos con información de productos de la construcción. Accedido el 1 de febrero, 2018 desde <http://www.itec.es>.
- [4] Aledo Guerao, S.A (2014) “Los Costes Indirectos en los Proyectos de Obras regulados por el Texto Refundido de la Ley de Contratos del Sector Público”. (Tesis no publicada). Universidad Católica San Antonio de Murcia (UCAM).
- [5] Orden de 12 de junio de 1968 del Ministerio de Obras Públicas por la que se dictan normas complementarias de aplicación al Ministerio de Obras Públicas de los artículos 67 y 68 del Reglamento General de Contratación del Estado.
- [6] García Valderrama, F. (2007) Mediciones y presupuestos: y otros DIN-A4 del proyecto según el CTE. Barcelona: Reverte.

## **CONFECCIÓN DEL PRESUPUESTO DE LICITACIÓN ¿INFLUYE EL PLIEGO DE CONDICIONES ADMINISTRATIVAS PARTICULARES?**

ALEDO GUERAO, SALVADOR<sup>1</sup>; PALLARES MARTINEZ, PEDRO ANTONIO<sup>2</sup>

*<sup>1</sup> Universidad Católica San Antonio de Murcia, Murcia, España*

*E-mail: s.aledo@arrakis.es,*

*Web: www.ucam.edu*

*<sup>2</sup> Universidad Católica San Antonio de Murcia, Murcia, España*

*E-mail: pedropallares@esatarquitectura.com,*

*Web: www.ucam.edu*

**PALABRAS CLAVE:** proyecto; indirectos; pliegos; licitación; constructora

### **RESUMEN**

Esta comunicación contempla la propuesta de que en la redacción de los presupuestos de los proyectos, que sirven de base para la licitación de obras para la Administración Pública, debe de tenerse en cuenta que costes incluyen o deben incluirse dependiendo del Órgano de Contratación y de los Pliegos de Condiciones Administrativas Particulares y todo ello, según el Texto Refundido de la Ley de Contratos del Sector Público y la nueva Ley de Contratos del Sector Público, publicada esta recientemente y con entrada en vigor el pasado 9 de marzo de 2018.

Es práctica habitual redactar el presupuesto sin tener en cuenta el Pliego por el que se va a regular el expediente de la obra e incluso, desconociendo el mismo generando, de partida, una desviación económica en la obra que habitualmente y de manera errónea, se achaca más adelante a una desviación producida por la propia dirección de la ejecución de la obra.

La confección de los precios de ejecución material, de cada una de las unidades de obra, deben contemplar todos los conceptos y criterios incluidos en los Pliegos según el Órgano

de Contratación que licita la obra, referentes a las tasas y tributos, pues influyen también en el precio final y no solo los habituales de materiales, maquinaria y mano de obra, así como los medios auxiliares y costes indirectos.

## 1. INTRODUCCIÓN

La fase que se corresponde con la redacción del presupuesto que integra el proyecto, es de las más importantes en el conjunto del desarrollo del proyecto de ejecución, ya que va a servir de “cimiento” a todo el resto de las actuaciones. Los errores o carencias que se cometan en esta fase van a ir condicionado el resto de la ejecución de la obra proyectada.

Se propone, como objetivo principal, generar un modelo o normas a seguir en la redacción de los Pliegos de Condiciones Administrativas Particulares (de ahora en adelante, PCAP).

Como objetivo secundario se plantea que la estimación de los Costes Indirectos (de ahora en adelante, CI) incorpore todos los costes evitando incluir un porcentaje arbitrario sin tener en cuenta las características del proyecto y del proceso de ejecución si no, además, no incluyendo los condicionantes con repercusión en el coste de la obra, incorporados en el PCAP. Se parte de la base de una serie de hipótesis, entre las que destacan:

- Uso inadecuado de los criterios de valoración y estimación de los precios en los proyectos de obras oficiales para la Administración Pública (de ahora en adelante, AP).
- Desconocimiento generalizado de los conceptos a incluir, dependiendo del Órgano de Contratación (de ahora en adelante, OC) y del PCAP, para el cálculo del Presupuesto de Ejecución Material (de ahora en adelante, PEM) por parte de los técnicos proyectistas.
- Falta de concreción en los criterios establecidos en los documentos legales de obligado cumplimiento.

El articulado de la nueva Ley [1] que ampara el Presupuesto de Licitación es “Artículo 100 Presupuesto base de licitación” el cual regula qué es el límite máximo de gasto, incluido IVA, al que deben ajustarse los precios de mercado y se desglosará indicado en el pliego el importe de los costes directos, indirectos y otros eventuales gastos calculados, si proceden. También especificará los costes salariales estimados.

La legislación que ampara la redacción de los presupuestos se corresponde con la que regula los Contratos en las Administraciones Públicas y que arranca con la Ley [2], desarrollada y regulada con posterioridad por diversas Leyes, Reglamentos y Decretos.

Actualmente tenemos vigente el Real Decreto [3] (de ahora en adelante, TR), para obras licitadas antes del 9 de marzo de 2018 y las licitadas posteriormente a esta fecha, reguladas por la Ley [1].

Complementariamente a estas leyes disponemos del Real Decreto [4] (de ahora en adelante, RGLCAP), aunque es preciso dejar constancia que el mismo es el que regulaba la anterior Ley [5] pues ni la Ley anterior ni la actual, disponen del preceptivo Reglamento. Esta legislación vigente hace referencia al proyecto y la redacción del presupuesto cómo se debe adecuar su confección en el siguiente articulado:

- Artículo 101 (nº 88 del TR). Valor estimado.  
*“... 2. En el cálculo del valor estimado deberán tenerse en cuenta, como mínimo, además de los costes derivados de la aplicación de las normativas laborales vigentes, otros costes que se deriven de la ejecución material de los servicios, los gastos generales de estructura y el beneficio industrial...”*
- Artículo 102 (nº 87 del TR). Precio.  
*“... 3. Los órganos de contratación cuidarán de que el precio sea adecuado para el efectivo cumplimiento del contrato mediante la correcta estimación de su importe, atendiendo al precio general de mercado, en el momento de fijar el presupuesto base de licitación...”*
- Artículo 233 (nº 123 del TR). Contenido de los Proyectos y responsabilidad derivada de su elaboración.  
*“... d) Un presupuesto, integrado o no por varios parciales, con expresión de los precios unitarios y de los descompuestos, en su caso, estado de mediciones y los detalles precisos para su valoración...”*
- Artículo 124 del RGLCAP. Instrucciones para la elaboración de Proyectos.  
*“... 1. Los Departamentos ministeriales que tengan a su cargo la realización de obras procederán a la redacción de instrucciones para la elaboración de Proyectos, en las cuales se fijarán debidamente las normas técnicas a que las mismas deban sujetarse...”*
- Artículo 126 del RGLCAP. Contenido mínimo de los Proyectos.  
*“... Los Proyectos a que se refiere el artículo 124.2 de la Ley deberán contener, como requisitos mínimos, un documento que defina con precisión las obras y sus características técnicas y un presupuesto con expresión de los precios unitarios y descompuestos...”*
- Artículo 130 del RGLCAP. Cálculo de los precios de las distintas unidades de obra.  
*“... 1. El cálculo de los precios de las distintas unidades de obra se basará en la determinación de los costes directos e indirectos precisos para su ejecución, sin incorporar, en ningún caso, el importe del Impuesto sobre el Valor Añadido que pueda gravar las entregas de bienes o prestaciones de servicios realizados...”*
- Artículo 131 del RGLCAP. Presupuesto de ejecución material y presupuesto base de licitación.  
*“El presupuesto base de licitación se obtendrá incrementando el de ejecución material en los siguientes conceptos:*  
*1. Gastos generales de estructura que inciden sobre el contrato, cifrados en los siguientes porcentajes aplicados sobre el presupuesto de ejecución material:*  
*Del 13 al 17 %, a fijar por cada Departamento ministerial, a la vista de las circunstancias concurrentes, en concepto de gastos generales de la empresa, gastos financieros, cargas fiscales, Impuesto sobre el Valor Añadido excluido, tasas de la Administración legalmente establecidas, que inciden sobre el costo de las obras y demás*

*derivados de las obligaciones del contrato. Se excluirán asimismo los impuestos que gravan la renta de las personas físicas o jurídicas...”*

En referencia a este último artículo es preciso y muy importante tener en cuenta que, como Gastos Generales (de ahora en adelante, GG), la legislación establece que:

- Matiza que son “... *Gastos generales de estructura...*”, es decir, regula que los GG son de estructura de la empresa y por lo tanto debemos considerar que son costes distintos a los de ejecución material y por lo tanto no integran el PEM.
- Especifica que se incluyen “... *tasas de la Administración legalmente establecidas...*” por lo que, de su lectura, se puede partir de esta consideración y no tener en cuenta las tasas, para el cálculo del PEM, pero este proceder genera un error ya que, desde el momento que los GG están tasados con un intervalo del 4% (intervalo existente entre el 13 y el 17%) y en cambio las cargas fiscales y tasas que gravan la ejecución de una obra pueden suponer un coste superior al diferencial, mencionado, del 4%. Complementariamente, la Orden [6], concreta y fija en el 13%, el porcentaje de GG a aplicar en los proyectos para el Mº de Fomento.

En referencia a los Costes Directos (de ahora en adelante, CD), la legislación no regula su método de cálculo, dejándolo con buen criterio, su cálculo y aplicación, en manos del proyectista por lo que el presupuesto se debe confeccionar en base a la memoria, planos y pliego de condiciones técnicas, redactando los precios unitarios de ejecución material, que son necesarios para la ejecución de la obra, utilizando una base de precios la cuales se agrupan en cinco tipos:

- Precio de los materiales.
- Precio de la mano de obra.
- Precio de la maquinaria.
- Medios auxiliares.

Y sobre los mismos se calculan los CI de los cuales, es muy importante tener claro, la diferencia existente entre los CI que integran el PEM y los GG, que pasan a integrar el Presupuesto de Licitación. Los CI son la parte de los costes / gastos, que contribuyen a la producción de forma indirecta y que, aun siendo absolutamente necesarios para la ejecución de un proyecto, no se pueden considerar en una unidad de obra concreta sino en el conjunto.

En cambio, los GG engloban todos los costes y gastos que se generan “fuera de la obra”, entendida como concepto físico, ya que todos los costes que se generan de “la puerta de la obra hacia dentro” deberían que estar integrados en el PEM de la obra, bien como CD, bien como CI, es decir, son los generados por la propia actividad de la empresa constructora siendo los mismos, entre otros, los siguientes:

- Alquileres o amortización de oficinas y servicios.
- Amortización de mobiliario y equipos.
- Gastos de publicidad comercial y material no inventariable.
- Costes del personal cuyas funciones tengan dedicación, exclusiva o no, en el funcionamiento de la empresa contratista, así como el personal de gerencia y dirección.

- Impuestos de actividades económicas y licencia fiscal.
- Gastos correspondientes a la licitación, formalización del contrato, derechos reales por actos jurídicos documentados, contribuciones e impuestos del Estado, de CC.AA. o municipales y cuantos se devenguen con ocasión de la publicidad, otorgamiento y suscripción del contrato.
- Cualquier gasto del contratista no necesario para la ejecución material de la obra o no imputables a ninguna obra en concreto.

Dependiendo del OC y/o del PCAP, se puede dar el caso que determinados costes estén incorporados, en el presupuesto, como partidas de obra y por lo tanto estén considerados como CD. Esta situación es más habitual que se dé con determinados conceptos como es el caso de la Asistencia Técnica y Control Calidad.

Los Pliegos de Condiciones Técnicas Particulares de la AP carecen, habitualmente, de cláusulas específicas para el cálculo del PEM y se remiten al TR y al RGLCAP. Ello conlleva que la decisión de cómo acometer dicho cálculo queda, así lo especifican los mencionados Pliegos, en manos del proyectista.

Para conseguir llevar a buen término el seguimiento económico del expediente, se debe partir de la premisa que cualquier coste que genere la obra proyectada y que el contratista tenga que abonar, obligatoriamente, tiene que estar contemplado en los costes previstos por el proyectista en el presupuesto del proyecto y dependerá, del proyectista, considerar los costes como CD, CI o bien en su caso, como GG.

## 2. METODOLOGÍA

Se ha procedido a realizar una investigación [7] basada en el estudio de mil (1.000) Proyectos de Obras Oficiales (de ahora en adelante, POO) redactados para Organismos Oficiales de los que se han obtenido los datos suficientes apreciándose como los proyectos mencionados aportan un PEM que no se corresponde con la obra proyectada según sea el OC que las licita y el PCAP que las regula. Esta investigación, permite disponer de proyectos con las siguientes características:

- Diversidad de OC abarcando a todos los tipos posibles, entre otros, Ministerios, Comunidades Autónomas, entidades locales, consorcios, universidades, etc.
- Proyectos redactados por técnicos de distintas titulaciones.
- De distintas tipologías de obras.
- Con importes de PEM distintos.

La planificación de los trabajos realizados ha sido la siguiente:

1º Recopilación de los proyectos: según base de datos [6].

2º Estudio de la legislación vigente a la deberían acogerse los proyectos.

3º Análisis de los proyectos para conocer si incorporan la justificación de los costes exigidos según el OC y el PCAP estudiando la idoneidad del cálculo del PEM.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla nº 1. Análisis comparativo de los 4 CASOS del Proyecto ejemplo.

RESUMEN COMPARATIVO ENTRE PROYECTO ORIGINAL Y PROYECTO INCLUYENDO COSTES INDIRECTOS						
EDIF. PARA ANIMALARIO DEL HOSPITAL UNIVERSITARIO "VIRGEN DE LA ARRIZACA"						
		Según PCAP el proyecto no incluye tasas, licencia de obra ni control calidad	Ayuntamiento y Control Calidad el OC	Ayuntamiento y Control Calidad el Contratista	CCAA, Región de Murcia y Control Calidad el OC	CCAA, Región de Murcia y Control Calidad el Contratista
		3%	3%	6%	10,7%	13,7%
CAPÍTULO	RESUMEN	PROYECTO ORIGINAL	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4
1	TAREAS PREVIAS, DEMOLICIONES, TRASPLA	2.587,27		2.742,51	2.664,11	2.941,73
2	MOVIMIENTO DE TIERRAS	14.387,94		15.251,22	15.927,45	16.359,09
3	CIMENTACIÓN Y CONTENCIONES	73.874,07		78.306,51	81.778,60	83.994,82
4	ESTRUCTURAS	214.914,97		227.809,87	237.910,87	244.358,32
5	ALBAÑILERIA	113.402,35		120.206,49	125.536,40	128.938,47
6	SOLADOS Y ALICATADOS	38.937,57		41.273,82	43.103,69	44.272,02
7	REVESTIMIENTOS INTERIORES Y FALSOS TECI	65.219,71		69.132,89	72.199,22	74.154,81
8	CUBIERTAS, IMPERMEABILIZACIONES	40.711,73		43.154,43	45.067,89	46.289,24
9	CARPINTERÍA EXTERIOR	8.856,07		9.387,43	9.803,67	10.069,35
10	CERRAJERÍA, CELOSÍAS	20.415,18		21.640,09	22.599,60	23.212,06
11	CARPINTERÍA INTERIOR	17.567,92		18.611,40	19.436,62	19.983,36
12	VIDRIOS	2.367,12		2.509,15	2.620,40	2.691,42
13	ACABADOS, PINTURAS, VARIOS	7.351,14		7.792,21	8.137,71	8.358,25
14	INSTALACIÓN DE FONTANERÍA Y SANEAMIENT	27.679,56		29.340,33	30.641,27	31.471,66
15	APARATOS SANITARIOS	4.701,94		4.983,95	5.204,94	5.345,99
16	INSTALACIÓN ELÉCTRICA DE MEDIA TENSIÓN	26.528,26		28.119,96	29.366,78	30.162,63
17	TRANSFORMADOR	52.489,48		55.638,85	58.105,85	59.680,54
18	INSTALACIÓN ELÉCTRICA DE FUERZA, GRUPO	129.696,94		137.478,65	143.574,40	147.466,31
19	INSTALACIÓN DE ILUMINACIÓN	66.886,52		70.899,71	74.043,38	76.049,97
20	INSTALACIÓN DE CLIMATIZACIÓN Y VENTILACI	383.080,60		406.065,44	424.070,22	435.562,64
21	A.C.S Y ENERGÍA SOLAR	7.443,45		7.890,06	8.239,90	8.463,20
22	PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS, SEGURIDA	46.544,19		49.336,84	51.524,42	52.920,74
23	VOZ Y DATOS, MEGAFONÍA	29.888,13		31.681,42	33.086,16	33.982,80
24	INSTALACIÓN DE GASES MEDICINALES	23.856,86		25.268,06	26.409,32	27.125,02
25	INSTALACIÓN DE AIRE COMPRIMIDO	12.665,54		13.425,47	14.020,75	14.400,72
26	INSTALACIÓN DE TRANSPORTE	23.912,12		25.346,85	26.470,72	27.188,08
27	URGANIZACIÓN	10.476,18		11.104,75	11.597,13	11.911,42
28	ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD	35.919,60		38.074,78	39.763,00	40.840,59
29	CONTROL DE CALIDAD	4.272,12		4.529,45	4.729,24	4.857,40
<b>TOTAL PRESUPUESTO EJECUCION MATERIAL</b>		<b>1.506.624,13</b>	<b>1.506.624,13</b>	<b>1.597.021,58</b>	<b>1.667.832,91</b>	<b>1.713.031,64</b>
14% GASTOS GENERALES		210.927,38	210.927,38	223.583,02	233.496,61	239.824,43
6% BENEFICIO INDUSTRIAL		90.397,45	90.397,45	95.821,29	100.069,97	102.781,90
<b>SUMA PRESUPUESTO DE CONTRATA (PC)</b>		<b>1.807.948,96</b>	<b>1.807.948,96</b>	<b>1.916.425,89</b>	<b>2.001.399,49</b>	<b>2.055.637,97</b>
16% IVA		289.271,83	289.271,83	306.628,14	320.223,92	328.902,07
<b>TOTAL PRESUPUESTO CONTRATA CON IVA</b>		<b>2.097.220,79</b>	<b>2.097.220,79</b>	<b>2.223.054,03</b>	<b>2.321.623,41</b>	<b>2.384.540,04</b>
				<b>Desviación presupuestaria</b>	<b>6,00%</b>	<b>10,70%</b>
						<b>13,70%</b>

A la vista que ningún proyecto hace referencia al PCAP por el cual se va a regir el expediente de la obra, se ha procedido a realizar un análisis comparativo, tomando como ejemplo el Proyecto nº 60 [7] de los 1.000 disponibles en [7], para conocer y analizar qué diferencias se producen cuando el OC es un ente dependiente de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia (CARM) o bien, una Entidad Local como es un Ayuntamiento e incorporando, como variable, si el Control de Calidad (de ahora en adelante, CC) lo contrata el OC o el contratista. Los CASOS que se adoptan para su análisis comparativo son:

- CASO 1. OC Ayuntamiento.
- CASO 2. OC Ayuntamiento y el CC por cuenta del contratista.
- CASO 3. OC Comunidad Autónoma de la región de Murcia.
- CASO 4. OC Comunidad Autónoma y el CC por cuenta del contratista.

Para realizar el estudio de los 4 CASOS propuestos se parte de la suposición que la estimación del 3% de CI que el Proyecto aporta está bien realizada pues, esta comunicación, no tiene por objeto el análisis si el porcentaje es correcto o no. Se supone que la licencia de obras, cuando es de aplicación, representa un 3,7%.

- CASO 1: al ser el OC un Ayuntamiento no procede la aplicación de tasas y tributos ni la licencia de obra. El CC lo asume el OC en contratación independiente.
- CASO 2: al ser el OC un Ayuntamiento no procede la aplicación de tasas ni la licencia de obra. El CC, según el PCAP lo asume la empresa adjudicataria de la obra.
- CASO 3: al ser el OC la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia procede la aplicación de tasas y de licencia de obras. El CC lo asume el OC en contratación independiente.
- CASO 4: al ser el OC la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia procede la aplicación de tasas y de licencia de obras. El CC, según el PCAP, lo asume la empresa adjudicataria de la obra.

A la vista de la Tabla nº 1, se aprecia como se ve afectado el importe del Presupuesto de Licitación de las obras a pesar de que las mismas no ven modificada ni en su naturaleza, importe de ejecución a coste directo ni en su plazo y en cambio, el importe se ve afectado tanto por el OC que licita la obra y las condiciones que refleja el PCAP que rige la licitación de la obra.

Dejar constancia que la desviación puede llegar a ser del 13,70% para la misma obra proyectada cuando el expediente tiene que asumir costes como es el caso de la licencia de obras (en el entorno del 3.5% al 4.4% según Ayuntamiento, aunque para el ejemplo se ha tomado el 3,7%), las tasas y tributos (en el caso de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia está tipificado por la legislación vigente en un 4%) así como el CC (1% mínimo al 3% máximo).

Las desviaciones provocadas por presupuestos mal confeccionados quedan reflejadas en el desarrollo de la obra y es práctica habitual que, aun siendo responsabilidad del proyectista, se traslade la responsabilidad de estas desviaciones al resto de agentes que intervienen en la obra, como son el OC como promotor de la obra, al técnico director de obra (en muchos casos coincide con el proyectista) y al contratista pues es cuando el presupuesto previsto incluido en el proyecto de las obras sufre ajustes que conllevan a redactar, entre

otros, precios contradictorios, proyectos modificados o proyecto de obras complementarias, para proceder a corregir las desviaciones presupuestarias.

Por lo tanto, el técnico proyectista tiene siempre la obligación de conocer e incorporar todos los costes necesarios para ejecutar la obra en el cálculo del presupuesto de la obra. De esta forma evitará que, en el propio arranque del expediente de una obra, se incluyan errores de planificación económica, que originan unas desviaciones económicas no siempre asumibles por el OC.

El proyectista tiene la obligación de confeccionar el presupuesto de la obra respetando siempre la legislación vigente y al PCAP del contrato que recibe del OC que le ha encargado el proyecto.

No corresponde, en ningún caso, aunque así sea interpretado en muchas ocasiones por la AP y/o por los técnicos proyectistas o directores de obra, que estos costes estén incluidos en los GG de empresa o incluso, lo que es más grave, si cabe, en el BI. Si se procediese a suponerlo provocaría la presentación de un presupuesto de obra que, desde el primer momento y antes de su ejecución, ya es erróneo. Esta circunstancia tendría consecuencias para la AP, ya que va a influir en las empresas constructoras que licitan la obra, así como en el contratista que la ejecute.

Por todo ello, debe quedar claro que se consideran GG de empresa los gastos que se originan para el funcionamiento y desarrollo de la actividad de la empresa, distribuyéndose de forma porcentual sobre el PEM.

Para evitar estas circunstancias se propone valorar como CI todos los conceptos necesarios para la ejecución material de la unidad de obra y que NO se hayan incluido, en el cálculo de los CD.

En referencia a las instrucciones de determinados OC se observa, en varios casos, como condicionan el cálculo de los CI permitiendo “elegir” entre una horquilla sin tener en cuenta que el cálculo depende de las características de la obra en cuanto a su importe, medios necesarios y plazo tal como regula el RGLCAP. Para estos casos que la propia AP, aun estando en un error, obligue a incorporar en el proyecto unos CI irreales, se debe conocer realmente el importe de estos y ver los conceptos de coste que se pueden incorporar en el cálculo de los CD. Esto permitirá que, las unidades de obra proyectadas y valoradas a su precio de mercado puedan ser mermadas por la carencia o infravaloración de los CI. Es decir, se debe evitar que el importe de la disponibilidad económica real para los materiales, maquinaria y mano de obra de cada unidad de obra sea calculado en orden inverso a la realidad y que, por lo tanto, los precios básicos incorporados en el proyecto no se correspondan con los que realmente se puedan utilizar durante el transcurso de la obra.

Esta propuesta de actuación, para tener en cuenta en la redacción del presupuesto, ayudará en el desarrollo de la obra a evitar que la responsabilidad de las desviaciones económicas recaiga en los agentes que intervienen en la ejecución de la obra, aunque la responsabilidad de estas desviaciones, deberían recaer en el proyectista y en el propio OC que ha permitido que no sea cumplida la legislación.

Para la aplicación del CI, es importantísimo que el proyectista tenga claro que este concepto de coste es tan importante como cualquier unidad de obra y que su repercusión económica es muy decisiva, puesto que es un porcentaje que se aplica a todas las unidades de obra y por lo tanto, de forma directa, afecta a las desviaciones económicas de la obra.

#### **4. CONSIDERACIONES A TENER EN CUENTA: MÉTODO PARA EL CÁLCULO DE LOS PRECIOS DE EJECUCIÓN MATERIAL**

Se propone el estudio y valoración de todos los costes exigibles al contratista incluidos en el PCAP de la obra y según el OC que licita la obra. Especial atención también a la Asistencia Técnica y CC, coste este que debería ser asumido y abonado directamente por parte del OC a la empresa que lo realiza y no utilizar al contratista, como es muy habitual, para que proceda a su abono. En la memoria del proyecto se propone que se especifiquen los datos de la obra, incluyendo:

- Los datos básicos del expediente como son:
  - Órgano de contratación.
  - PCAP por el que se va a regir la licitación.
  - El programa de trabajo o cronograma, definiendo la duración de la obra y valorado.
- El cálculo total de los CD antes de la incorporación de los CI.
  - Cualquier dato para tener en cuenta para el cálculo de los costes definiendo claramente los condicionantes que genera la obra como son:
    - Asistencia Técnica y CC.
    - Tasas de aplicación.
    - Costes exigibles al contratista incluidos en el PCAP.

El método que se propone es muy sencillo de aplicar ya que el proyectista, perfecto conocedor de las características de la obra que está proyectando, sólo necesitaría disponer del total del CD antes de estimar e incorporar los CI.

#### **5. ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS**

- PCAP: Pliegos de Condiciones Administrativas Particulares.
- CI: Costes Indirectos.
- AP: Administración Pública.
- OC: Órgano de Contratación.
- PEM: Presupuesto de Ejecución Material.
- TR: Texto Refundido de la Ley de Contratos del Sector Público.
- RGLCAP: Reglamento de la Ley de Contratos de las Administraciones Públicas.
- GG: Gastos Generales de Empresa.
- CD: Costes Directos.
- POO: Proyectos de Obas Oficiales.

#### **6. CONCLUSIONES**

Como consecuencia de esta investigación, se llega a la conclusión que en la redacción de los Proyectos de Obas Oficiales para la AP se comete, de forma sistemática, el error de no adicionar correctamente la estimación de los costes impidiendo obtener, adecuadamente, el precio unitario de ejecución material de las partidas de obra que componen el presupuesto, que es una de las partes que integra el proceso de redacción de un Proyectos de Obas Ofi-

ciales para la Administración Pública.

Por otra parte, se podría hablar incluso de una mala praxis por parte del proyectista quien, de forma habitual y aun siendo responsabilidad suya, realiza un proyecto que da lugar a desviaciones económicas en la gestión de las obras.

Como conclusión de esta comunicación se considera que el cálculo correcto del presupuesto de licitación, es condición imprescindible para que la obra pueda ser licitada y para ello debe proceder a conocer, valorar e incluir todos los costes que requiere el expediente de la obra que se está proyectando.

Complementariamente el Órgano de Contratación, en la redacción del Pliegos de Condiciones Administrativas Particulares, debe reflejar claramente y valorados todos los conceptos que han sido incluidos en la redacción del presupuesto y que, las empresas licitadoras, tienen que tener en cuenta en su estudio económico.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ley 9/2017, de 8 de noviembre, de Contratos del Sector Público, por la que se transponen al ordenamiento jurídico español las Directivas del Parlamento Europeo y del Consejo 2014/23/UE y 2014/24/UE, de 26 de febrero de 2014
- [2] Decreto 923/1965, de 8 de abril, por el que se aprueba el texto articulado de la Ley de Contratos del Estado.
- [3] Real Decreto Legislativo 3/2011, de 14 de noviembre, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Contratos del Sector Público.
- [4] Real Decreto 1098/2001, de 12 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento General de la Ley de Contratos de las Administraciones Públicas.
- [5] Real Decreto Legislativo 2/2000, de 16 de junio, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Contratos de las Administraciones Públicas.
- [6] Orden FOM/1824/2013, de 30 de septiembre, por la que se fija el porcentaje a que se refiere el artículo 131 del Reglamento General de la Ley de Contratos de las Administraciones Públicas, aprobado por Real Decreto 1098/2001, de 12 de octubre, a aplicar por el Ministerio de Fomento.
- [7] Aledo Guerao, S.A (2014) “Los Costes Indirectos en los Proyectos de Obras regulados por el Texto Refundido de la Ley de Contratos del Sector Público”. (Tesis no publicada). Universidad Católica San Antonio de Murcia (UCAM).

## REFERENCIAS LEGALES VIGENTES

- España. Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación. BOE (1999): 38925-38934. Web.
- España. Real Decreto 1098/2001, de 12 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento General de la Ley de Contratos de las Administraciones Públicas. BOE (2001): 39252-39371. Web.
- España. Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. BOE (2006): 11816-11831. Web.
- España. Ley 30/2007, de 30 de octubre, de Contratos del Sector Público. BOE (2007): 44336-44436. Web.
- España. Real Decreto 1515/2007, de 16 de noviembre, Plan General de Contabilidad de Pequeñas Medianas Empresas y los criterios contables específicos para microempresas. BOE 279: 47560-47566. Web.
- España. Ley 2/2011, de 4 de marzo, de Economía Sostenible. BOE 118: 41253-41360. Web.
- España, Real Decreto Legislativo 3/2011, de 14 de noviembre, por el que se aprueba el Texto Refun-

dido de la Ley de Contratos del Sector Público. BOE 276: 117729-117917. Web.

España. Orden FOM/1824/2013, de 30 de septiembre, por la que se fija el porcentaje a que se refiere el artículo 131 del Reglamento General de la Ley de Contratos de las Administraciones Públicas, aprobado por Real Decreto 1098/2001, de 12 de octubre, a aplicar por el Ministerio de Fomento. BOE 243: 82629-89630. Web.

España. Ley 9/2017, de 8 de noviembre, de Contratos del Sector Público, por la que se transponen al ordenamiento jurídico español las Directivas del Parlamento Europeo y del Consejo 2014/23/UE y 2014/24/UE, de 26 de febrero de 2014

NORMATIVA CEE.

## **LIBROS**

ESCRIHUELA MORALES, F. J. Guía práctica de la contratación del Sector Público. Madrid: La Ley-Actualidad, 2012.

MANSILLA SAIZ, F. Apuntes de mediciones, valoraciones y presupuestos de obras. Sevilla: ECESA, 1973.

RIBERA ROGET, A. Presupuestos de Proyecto y Ofertas Económicas de Obra. Como tratar de evaluar los costes de producción. Madrid: Manuscritos, 2011.

GARCÍA VALDERRAMA, F. Mediciones y presupuestos: y otros DIN-A4 del proyecto según el CTE. Barcelona: Reverte, 2007.

## **PLIEGOS DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS GENERALES**

Pliego de Condiciones Técnicas de la Dirección General de Arquitectura de 4 de junio de 1973. Comprende el conjunto de características que han de cumplir los materiales empleados en la construcción de un edificio, así como las técnicas de su colocación en obra, y las que han de regir la ejecución de toda clase de instalaciones y de las obras accesorias y dependientes. Orden de 4/6/1973.

Pliego General de Condiciones Técnicas en la Edificación. Instituto Valenciano de la Edificación 2010. Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España. Consejo General de los Colegios Oficiales de Aparejadores y Arquitectos Técnicos.

## **CONSULTAS VINCULANTES, SENTENCIAS Y OTROS**

Resolución 78/1991, de 31 de octubre, de la Secretaria de Estado de la Defensa, por la que se aprueba la Instrucción para la Elaboración de Proyectos de Obras en el ámbito del Ministerio de Defensa.

Informe 10/94, de 28 de julio de 1994, de la Junta Consultiva de Contratación Administrativa del Estado “Evaluación de costes indirectos en proyectos de obras e inclusión de partidas alzadas a justificar en conceptos de imprevistos”.

## **NORMATIVAS, INSTRUCCIONES TÉCNICAS Y NORMAS VARIAS**

Propuesta de Normativa para Proyectos de Obras del Ministerio de Cultura, Oficina de Supervisión de Proyectos, Subdirección General de Recursos y Supervisión, Ministerio de Cultura, Madrid, 1981.

Instrucción Técnica para la Redacción de Proyectos de Obras I.T./01, Servicio de Proyectos del Gabinete Técnico, Junta de Construcciones, Instalaciones y Equipo Escolar, Ministerio de Educación y Ciencia, Madrid, 1982.

Orden de 27 de marzo de 1991, por la que se dictan normas complementarias para el cálculo de los

- precios unitarios en los proyectos de obras de la Consejería de Obras Públicas y Transportes de la Comunidad Autónoma de Andalucía.
- Orden circular nº 7/2001. Instrucciones sobre los aspectos a examinar por las oficinas de supervisión de proyectos en la Dirección General de Carreteras, Secretaría de Estado de Infraestructuras, Ministerio de Fomento.
- Instrucciones para la elaboración de proyectos de obras en el ámbito del Ministerio de Defensa. Madrid: Ed. Dirección General de Infraestructura, Ministerio de Defensa, 2002.
- Norma UNE 157001:2002: Criterios generales para la elaboración de proyectos. AENOR
- Orden de 23 de enero de 2003 de la Consejería de Educación y Ciencia, por la que se aprueban las “Instrucciones para la redacción de proyectos y documentación técnica para obras de la Consejería de Educación y Ciencia”.
- Documentación mínima exigible en la presentación de proyectos de ejecución de obra nueva, adecuación, reforma y ampliación de edificios docentes, Dirección General de Régimen Económico, Área de Infraestructuras, Servicio de Proyectos y Construcciones Educativas, Valencia, 2004.
- Nota de servicio 1/2010 sobre presentación y edición de proyectos tramitados por la Subdirección General de Proyectos de la Dirección General de Carreteras.
- Nota de Servicio 4/2012. Cuadro de precios de referencia de la Dirección General de Carreteras, Secretaria de Estado de Infraestructuras, Transporte y Vivienda, Ministerio de Fomento.
- Orden de 5 de febrero de 2013 de la Consejería de Economía y Hacienda, Agencia Tributaria de la Región de Murcia, por la que se publican las tarifas de las tasas y precios públicos aplicables en el 2013.

## **PUBLICACIONES, TESIS, TRABAJOS FIN DE MASTER, TRABAJOS FIN DE GRADO, ARTÍCULOS, PONENCIAS Y COMUNICACIONES**

- [XX] ALEDO GUERAO, S.A.: tesis doctoral denominada “Los Costes Indirectos en los Proyectos de Obras regulados por el Texto Refundido de la Ley de Contratos del Sector Público”
- GARCÍA VALDERRAMA, F: ¿De verdad necesitamos precios descompuestos? Ponencia. XI Congreso de profesores de mediciones, presupuestos y valoraciones y Comunicación. CONTART 09. Albacete, 2009.
- , Costes indirectos con un presupuesto dinámico. Comunicación. Madrid, marzo 2011.
- , Costes Indirectos, generales y otros costes confusos del proyecto. Comunicación. fecha.

## **WEBS**

**PREDIMENSIONADO COSTES DE CONSTRUCCIÓN: OBRA NUEVA Y  
REHABILITACIÓN RESIDENCIAL (APLICACIÓN PRÁCTICA DEL MODELO  
PCR.5N / TESIS DOCTORAL)**

PINA RUIZ, PEDRO

*ECUM / Pinacoteca, Murcia, España*

*E-mail: valoraciones@precioscostesconstruccion.com, Web: www.pinacoteca.es*

**PALABRAS CLAVE:** costes; construcción; predimensionado; modelo; estimación.

**RESUMEN**

El objetivo de la presente comunicación, es la aplicación práctica del Modelo Pcr.5n de cálculo rápido y cierto de los costes finales de construcción de obras de edificación, mediante la “técnica” del predimensionado de costes.

Aplicando el modelo, se estima el coste de contrata, incluyendo en dicha estimación los gastos generales y el beneficio de la empresa constructora, y ello, mediante el modelo referenciado (**Predimensionado costes de referencia con 5 niveles de cálculo**), núcleo básico y motivo principal de la Tesis doctoral “Desarrollo de un modelo de predimensionado de costes de construcción en el proyecto arquitectónico”, en la cual, se estiman los costes de obra implementando y calculando dichos costes, en base a parámetros tridimensionales (metros cúbicos edificados), y parámetros bidimensionales (metros cuadrados construidos y superficies de la envolvente), y todo ello, vinculado y en relación directa con la calidad y prestaciones de las diversas partidas de obra y sistemas constructivos de que se compone la edificación evaluada.

En cada uno de los cinco niveles de cálculo, el modelo va ajustando y perfeccionando la estimación del coste, mediante aproximaciones sucesivas en intervalos finitos, siendo el

objetivo principal e hipótesis básica del modelo, conseguir desviaciones inferiores al 10% sobre el coste final de las obras de edificación evaluadas, obteniendo como resultado de los cálculos, el referido coste de construcción por contrata final de obra, evitando así los sobrecostes que habitualmente se producen en el sector de la construcción.

El Modelo Pcr.5n, es de aplicación práctica en obra nueva, restauración, rehabilitación, urbanización,...desarrollando el Modelo a modo de ejemplos prácticos, a un equipamiento singular de obra nueva, (Museo Guggenheim de Bilbao), y a la rehabilitación de un edificio residencial afectado por una catástrofe natural (Viviendas en Lorca-Murcia- afectadas por terremotos del año 2011).

## 1. INTRODUCCIÓN al Modelo de predimensionado Pcr.5n

En España en los últimos 45 años apenas se han publicado tratados sobre el predimensionado de costes de construcción, únicamente dos publicaciones de los profesores I. Paricio y E. Carvajal [1] y [2], han abordado con metodología científica el problema. Desde principio de siglo, se han desarrollado seis programas informáticos de estimación de costes [3], que han sustituido a los módulos de referencia de los Colegios profesionales, por quedar estos costes colegiales obsoletos desde la liberalización de las tarifas de honorarios profesionales.

La hipótesis del modelo Pcr.5n, es conseguir una precisión “razonable” en el predimensionado de los costes de construcción finales de la obra proyectada, es decir que los resultados de las desviaciones finales de obra, sean inferiores al 10% sobre el presupuesto de la obra inicialmente presupuestada. Esta desviación también puede considerarse como la máxima razonable desde la perspectiva de la seguridad económica y de viabilidad de la promoción inmobiliaria.

Las fases o niveles de cálculos previstos en el Modelo Pcr.5n, previo al presupuesto de ejecución, son los cinco siguientes:

1. Valoración promoción inicial: cálculo basado en el precio de venta inicial del bien inmueble.
2. Coste estudios previos: estimación de coste de construcción basado en metros cúbicos totales.
3. Coste anteproyecto: estimación de costes de construcción basado en envolvente exterior, el volumen interior y la huella del edificio sobre el terreno.
4. Coste proyecto básico: estimación de coste de construcción basado en metros cuadrados construidos, ponderados con los parámetros de gestión, proyecto y ejecución.
5. Valoración promoción básica: cálculo basado en el precio de venta del bien inmueble.

Como antecedentes de la “estimación de costes”, citar que en la introducción del libro décimo “De Arquitectura”, Marco Vitruvio Polion [4], hace referencia a una vieja ley promulgada en la ciudad de Éfeso, según la cual el arquitecto estaba obligado a calcular el “presupuesto cierto” del coste final de obra. Cuando el presupuesto había sido aceptado y aprobado, todas las propiedades del arquitecto quedaban hipotecadas por la administración pública, hasta la liquidación económica final de la obra.

Por tanto, en el siglo I antes de Cristo, ya se tenían conocimientos sobre métodos de estimación de los costes finales de la obra, estando penado, el arquitecto que tuviese des-

viaciones económicas superiores al 25% del presupuesto previsto inicialmente para la obra proyectada.

Como referencia histórica, se transcribe por su interés y actualidad, extracto de la carta enviada el 17 de julio de 1683 del por entonces Ministro de la guerra, el ingeniero militar francés Sébastien le Prestre de Vauban (1633-1707), a su Majestad Louis XIV:

*Monseñor:*

*“...Hay algunos trabajos, en los últimos años, que no se han terminado y que no se terminaran, y todo ello, Monseñor, por la confusión que causan las frecuentes rebajas que se hacen en sus obras, lo que no sirve más que para atraer como contratistas de las Reales Obras, a los más miserables, pillos o ignorantes, y ahuyentar a aquellos que son capaces de conducir una empresa. Y yo, ingeniero de Su Majestad, a su persona Reverendísima digo algo más, y digo que ellos retrasan y encarecen considerablemente las obras, porque esas economías y rebajas tan buscadas son imaginarias, y que un contratista que pierde hace lo mismo que un naufrago que se ahoga: agarrarse a todo lo que puede; y agarrarse a todo, en el oficio de contratista, es no pagar a los suministradores, dar salarios bajos, tener los peores obreros, engañar a todos sobre todas las cosas y, siempre, ir pidiendo misericordia contra esto y aquello.”*

*“...Y de ahí, bastante, Monseñor, para hacerle ver la imperfección de esa conducta; abandónela su Señoría Reverendísima pues, y, en nombre de Dios, restablezca la buena fe: encargar las obras a un contratista que cumpla con su deber será siempre la solución más barata que podréis encontrar para conducir bien y presto las Reales Obras de Su Majestad.”*

Para evitar, o cuanto menos minimizar los efectos anteriormente “expuestos”, como objetivo finalista de la Tesis doctoral referenciada, se pretende facilitar una herramienta útil de trabajo para estudiantes, técnicos y profesionales del sector de la construcción, que permita calcular los costes finales y ciertos de la obra proyectada, mediante un asequible y razonable cálculo técnico. Este objetivo se considera logrado, dado que como a continuación se describe y desarrolla, el Modelo Pcr.5n, es de fácil manejo y sencilla implementación práctica.

También se proponía como objetivo de la Tesis, fomentar el uso cotidiano del predimensionado de costes en el sector de la construcción en nuestro país, para evitar, o minimizar los sobrecostes “finales” de obra que habitualmente se producen en el sector de la construcción, y ello mediante el cálculo aproximado “inicial” basado en parámetros bidimensionales ( $m^2$ ) y en parámetros tridimensionales ( $M^3$ ), siendo el “predimensionado de costes” una práctica habitual en otros países como Estados Unidos [5], Alemania [6], Nigeria [7], y Australia [8].

Por último, hacemos especial referencia por su importancia, a que el vigente Código Técnico de la Edificación exige que el proyecto básico contenga al menos un presupuesto aproximado por capítulos (Anejo I.2.V). Esta estimación presupuestaria se ha de calcular necesariamente con modelos experimentados de predimensionado de costes, y ello, por no disponer en dicha fase del Proyecto básico de los documentos ejecutivos, cálculos pormenorizados, detalles constructivos y planos de estructuras e instalaciones, correspondientes al posterior nivel de desarrollo del proyecto de ejecución.

**2. METODOLOGÍA del Modelo de predimensionado Pcr.5n**

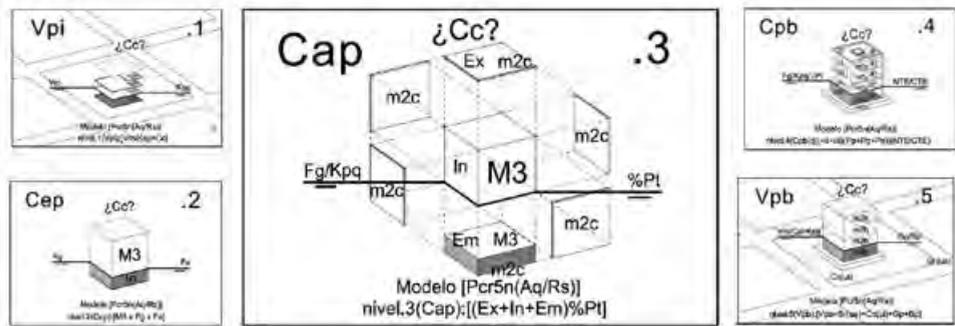


Figura 1–Niveles de cálculo del Modelo Pcr.5n: Predimensionado costes de referencia 5 niveles. Fuente: elaboración propia del autor.

Según se hace referencia en la Figura 1, durante los trabajos de investigación de la Tesis doctoral “Desarrollo de un Modelo de predimensionado de costes de construcción en el proyecto arquitectónico” [3], partiendo del nivel .3, (núcleo central del Modelo Pcr.5n), durante el referido proceso de desarrollo del Modelo, se amplió dos niveles más de cálculo (.1 y .2) correspondientes a Valoración inicial y Estudios previos, es decir, dos niveles con menor definición grafica y literal que el nivel .3, base conceptual del modelo de aplicación práctica en la fase de anteproyecto. También, durante el proceso de investigación se ampliaron otros dos niveles más de cálculo (.4 y .5) correspondientes a la fase proyectual de Proyecto básico y Valoración básica, ambos con mayor definición gráfica y literal que el nivel .3 de anteproyecto.

La idea básica formulada para el Modelo Pcr.5n, en su nivel .3, consiste en considerar el edificio a valorar conceptualmente compuesto por los tres elementos que según Vitruvio son la base sobre la que se fundamenta la técnica arquitectónica: (1) Belleza (envolvente exterior), (2) Utilidad (volumetría funcional interior) y (3) Firmeza (huella superficial del edificio sobre el terreno), hipótesis conceptual representada gráficamente en la Figura 2 : “Síntesis conceptual del Modelo: Vitrubio .3/Modelo Pcr”.

La estimación del coste de predimensionado con el Modelo Pcr.5n, se calcula mediante parámetros métricos exteriores “bidimensionales”, y mediante parámetros cúbicos interiores “tridimensionales”, y ello para siete diferentes niveles de prestaciones/calidad de los sistemas constructivos y unidades funcionales, desde sencilla a Excepcional: [sencilla/Normal/Buena/Alta/Excelente/Lujo/Excepcional]

Se consideran parámetros bidimensionales ( $m^2$ ), la superficie del sistema constructivo de las envolventes de cubierta / fachada y los metros cuadrados de la huella en planta del edificio sobre el terreno.

Los parámetros tridimensionales ( $M^3$ ), son los volúmenes edificados según usos funcionales de los espacios internos, equivalentes a la edificabilidad o aprovechamiento urbanístico, medidos en metros cúbicos.

Los cálculos internos del modelo para la estimación de los costes “sintéticos” bidimensionales y tridimensionales, se realizan mediante el método tradicional “analítico” de presupuestación de obras, sumatorio de las mediciones de todas las unidades de obra, multi-

placadas por sus costes unitarios de construcción, [9-10-11], mostrando a modo de ejemplo, los resultados de costes de los baños según su calidad/prestaciones en la Figura 2: Baños (N/B/E)=(Normal/Buena/Excelente).

A partir de los cálculos analíticos, se obtienen los costes sintéticos por m<sup>2</sup> (envolventes) y por M<sup>3</sup> (espacio interior), que posibilitan calcular de forma rápida y con una razonable precisión los costes de construcción a nuevo, en cuanto a desviaciones “finales”, y ello, según se representa gráficamente en la Figura 2.”Síntesis/Objetivo/Cálculo /Validación”, estando las desviaciones finales en el ámbito grafiado en la referida Figura 2 en color verde entre la línea horizontal del 100% y la del 110%.

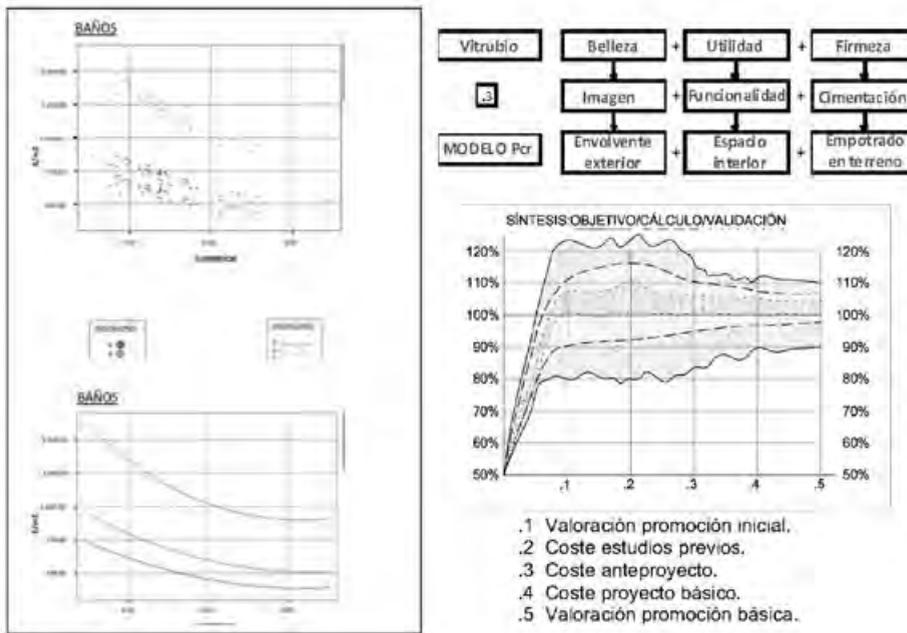


Figura 2 - Representación grafica de cálculos analíticos internos (baños), síntesis conceptual del Modelo y desviaciones porcentuales según niveles de cálculo.

Fuente: elaboración propia del autor.

Para los cálculos externos del modelo, el procedimiento de cálculo empleado como metodología ha sido el método “sintético”, que consiste básicamente en multiplicar las mediciones bidimensionales/tridimensionales globales de obra ( $\sum m^2 / \sum M^3$ ) por el factor geográfico (Fg) y por el factor de actualización (Fa). Del sumatorio de este cálculo, ponderado por el parámetro temático de gestión, proyecto y ejecución:  $Pt = \sum (Pg + Pp + Pe)$ , se obtiene como resultado el coste de construcción por contrata. (IVA no incluido).

El Modelo Pcr.5n, en su concepción original estaba orientado para su aplicación en edificios de uso residencial, pero durante el desarrollo del trabajo y como líneas abiertas de investigación, además del uso residencial, el modelo es de aplicación al predimensionado de costes de viviendas, equipamientos públicos, restauración, rehabilitación, parques y jardines, obras de urbanización....., y también es de aplicación a valoraciones urbanísticas y tasaciones inmobiliarias [12].

### 3. RESULTADOS / APLICACIÓN PRACTICA del Modelo de predimensionado Pcr.5n

Los resultados sobre las desviaciones del coste real/final de las obras, fluctúa habitualmente en los siguientes intervalos de menor a mayor nivel de definición del proyecto: en el nivel .1 valoración promoción inicial (+/- 25%, cuarta parte según libro décimo de Vitruvio), en el nivel.2 correspondiente a estudios previos (+/- 20%, máximo error permitido por la Ley española 3/2011 de Contratos del Sector Público), en el nivel .3 anteproyecto (+/- 15% de error máximo admisible) y en los niveles .4 y .5, correspondientes al proyecto básico con desviaciones inferiores al 10%, siendo este el porcentaje legalmente admitido como liquidación por incremento de la medición final de obra, respecto al estado inicial de mediciones del proyecto de ejecución.

#### 3.1.- APLICACIÓN PRÁCTICA del Modelo Pcr.5n (nivel .3) A OBRA NUEVA: MUSEO GUGGENHEIM DE BILBAO (ESPAÑA)

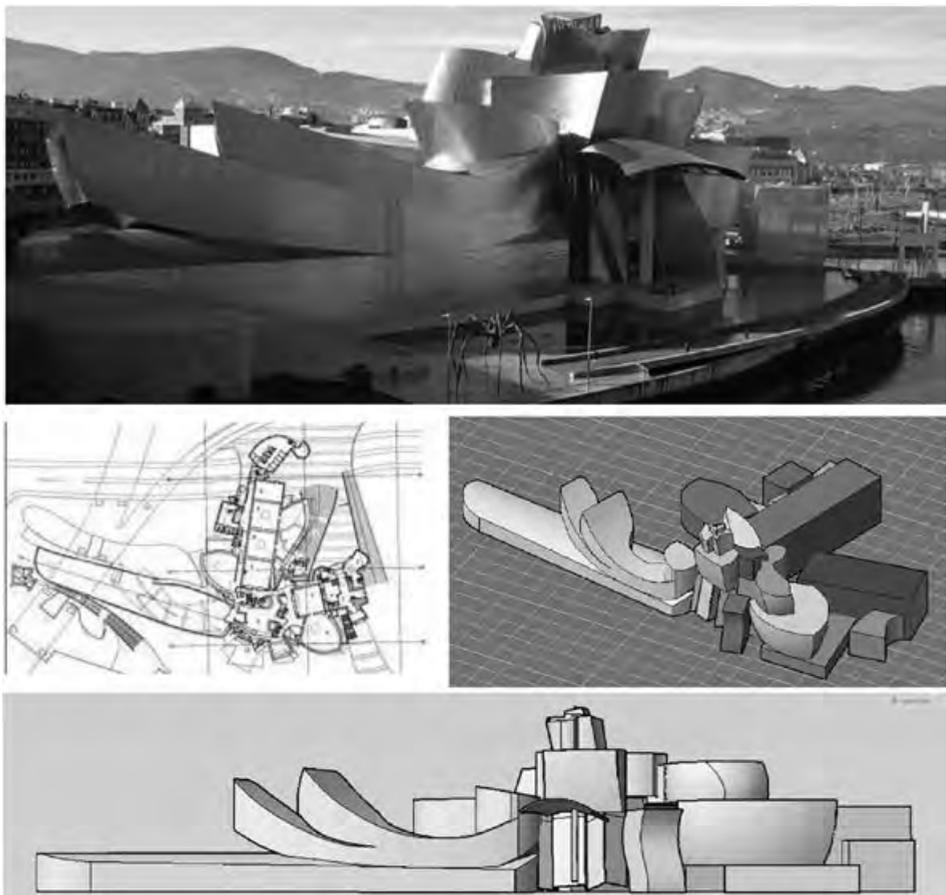


Figura 3 – Guggenheim de Bilbao (España): representación gráfica.  
Fuente: wikiarquitectura. Referencias: [13].

**Fórmula aplicación NIVEL.3: Cc.3 = [(Exterior + Interior + Empotrado) x % parámetro Pt x Fa]**

Denominación del proyecto/obra: Museo Guggenheim.

Situación de la obra: Bilbao (España).

Años previstos inicio / final de obra: 2016 / 2020

(Kpq) Coeficiente de prestaciones/calidad: EXCEPCIONAL (X)

**(I- EXTERIOR)** Envolverte:

13.442 m2 de impermeabilización.....	x 86 €/m2 (2016 /X) = 1.156.012 €
25.200 m2 de titanio .....	x 116 €/m2 (2016 /X)= 2.923.200 €
6.200 m2 de muro cortina.....	x 341 €/m2 (2016 /X) = 2.114.200 €
34.300 m2 de cierres piedra.....	x 220 €/m2 (2016 /X)= 7.546.000 €

(I)- PREDIMENSIONADO COSTE ENVOLVENTE **EXTERIOR**..... 13.739.412 €

**(II- INTERIOR)** Espacios funcionales:

193.377M3 Exposición y espacios públicos x 149 €/M3 (2016 /X)= 28.813.173 €	
7.950M3 Oficinas .....	x 127 €/M3 (2016 /X)= 1.009.650 €
49.375M3 Almacenes y servicios técnicos x 104 €/M3 (2016 /X)= 5.135.000 €	

(II)- PREDIMENSIONADO COSTE ESPACIO **INTERIOR**.....34.957.823€

**(III- EMPOTRADO)** Cimentación/huella:

13.442m2 huella/cimentación.....	x 142 €/m2 (2016 /X)= 1.908.764 €
----------------------------------	-----------------------------------

(III)- PREDIMENSIONADO COSTE **EMPOTRADO/CIMENTACIÓN**.....1.908.764 €  
 SUMA COSTE EJECUCION MATERIAL “DESLOCALIZADO” (I+II+III)=.....50.605.999 €

(Fg) Factor geográfico provincial: Bilbao = 1,101.....x 1,101

COSTE EJECUCIÓN MATERIAL “GEOREFERENCIADO” (2016.....= 55.717.205 €

(%Pt) Parámetro temático:  $\sum(Pg + Pp + Pe) = (29\%) \dots\dots\dots = 16.157.989 €$

Cc.3 = TOTAL COSTE DE CONTRATA A NUEVO (2016 /X).....71.875.194 €  
 (IVA no)

(Fa) Factor de actualización =2020/2016= 1,858/1,718=1,081= +8,1 %.....= 5.821.891 €

**Cc.3 = TOTAL COSTE DE CONTRATA A NUEVO (2020 /X). 77.697.085 € (IVA no)**

Estimación porcentaje desviación =  $\frac{\text{Predimensionado de coste}}{\text{Coste de contrata}} = \frac{77.697.085 €}{72.765.234 €} = 1,0678 = \underline{\underline{+6,78\%}}$

**3.2 APLICACIÓN PRÁCTICA del Modelo Pcr.5n (nivel .2) A REHABILITACIÓN RESIDENCIAL: EDIFICIO DE VIVIENDAS EN LORCA (ESPAÑA), AFECTADO POR LOS TERREMOTOS DEL 11 DE MAYO 2011**

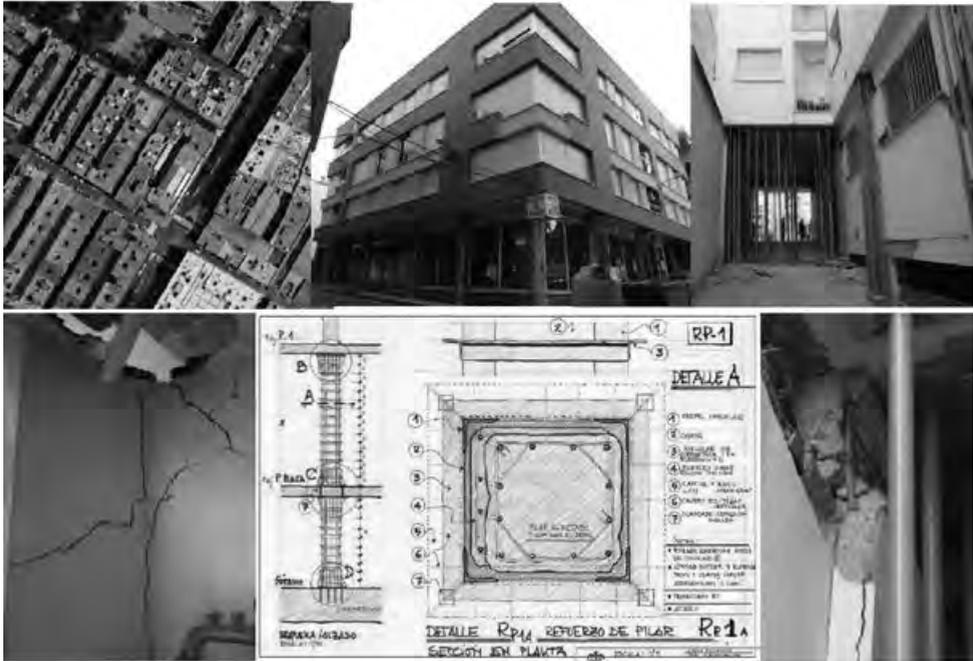


Figura 4 – Edificio Venecia (Lorca/España) : representación gráfica.

Fuente: Juan Antonio Santa Cruz Alemán (Informe de reparación) y Juan Roldan Ruiz (Detalle constructivo Rp1A). Referencias: [14], [15], [16] y [17].

**Formula aplicación NIVEL.2:.....Cc.2= M3 [ Mgi €/M3 x Fg x Fa ]**

Denominación del proyecto/obra: Rehabilitación estructural Edificio Venecia

Situación de la obra: Lorca (Murcia/España)

Años previstos inicio / final de obra: 2011 / 2020

(Mgi) Modulo grado intervención = medio/intenso = m/i = 22,10 €/M3

(Fg) Factor geográfico Fg Lorca : Fg (Murcia) = 1,000 : 1,000 = 1,000

(Fa) Factor actualización Fa (2020) : Fa (2011) = 1,858 : 1,724 = 1,078

TOTAL M3 (sobre y bajo rasante): **8.055 M3** (Grado de intervención = 4 (medio/intenso))

PREDIMENSIONADO DE COSTE nivel .2 (Tabla síntesis costes 2011 - grado de intervención):

- Grado 1 (blando): pilares con daños leves (sin desplazamientos)
- Grado 3 (medio): pilares con daños medios (con desplazamientos irrelevantes)
- Grado 5 (intenso): pilares muy dañados (con desplazamientos considerables)

**TABLA MÓDULOS grado de intervención / 2011**  
**(Mgi en €/M3 coste de contrata –(IVA no):**

	Grado 1	Grado 2	Grado 3	<b>Grado 4</b>	Grado 5
(A) Coste rehabilitación estructural =	0,40	0,70	2,70	<b>4,70</b>	12,10
(B) Costes albañilería y acabados =	3,00	7,00	11,00	<b>17,40</b>	21,50
SUMA COSTES (A) más (B) =	3,40	7,70	13,70	<b>22,10</b>	33,60
	blando	b/m	medio	<b>m/i</b>	intenso

- Estimación costes €/M3 rehabilitación estructural (2011-m/i).....**4,70 €/**
- Estimación costes €/M3 obras albañilería y acabados (2011-m/i).....**17,40 €/M3**
- (Cc.2) SUMA costes €/M3 de contrata (2011-m/i) (no IVA).....**22,10 €/M3**

Cc.2(2020)=M3 x [Mgi €/M3 x Fg x Fa]=8.055M3 x [**22,10€/M3** x 1,000 x 1,078]=191.901€(IVA no)

Cc.2(2020) (estructura-m/i)....= 8.055M3 x [**4,70 €/M3** x 1,000 x 1,078] = 40.812 € (IVA no)

Cc.2(2020)(albañilería y acabados-m/i).=8.055M3 x [**17,40€/M3** x 1,000 x 1,078]=151.089 €(IVA no)

**Cc.2 TOTAL COSTE DE CONTRATA (2020-m/i)..... = 191.901 € (IVA no)**

Estimación porcentaje desviación =  $\frac{\text{Predimensionado de coste}}{\text{Coste de contrata}} = \frac{191.901 \text{ €}}{175.498 \text{ €}} = 1,0935 = \underline{\underline{+9,35\%}}$

#### 4. CONCLUSIONES

En síntesis, el interés del Modelo Pcr.5n, radica en la importancia del desarrollo y aplicación práctica de modelos de predimensionado de costes, como herramienta útil para la estimación de los costes de construcción, dado que actualmente en España los sistemas de predimensionado de costes están poco desarrolladas, no siendo por tanto utilizados habitualmente por técnicos y profesionales del sector.

El marco normativo español (Código Técnico de la Edificación: CTE), prescribe la obligación de especificar un coste “aproximado por capítulos” de obra en la fase de proyecto básico, siendo la técnica del predimensionado de costes, la única posible de implementar en esta fase “inicial” de estimación del costes de contrata “final” de las obras de edificación proyectadas.

También, según el marco jurídico español está penado por la Ley 3/2011, las desviaciones superiores al 20% sobre el presupuesto inicialmente evaluado.

Según se ha descrito, el Modelo Pcr.5n esta conceptualmente basado en los tres pilares a los que Vitruvio hace referencia en su libro decimo “De Arquitectura”: belleza (envolvente exterior) + utilidad (espacio funcional interior) + firmeza (huella del edificio sobre el terreno).

El Modelo, también incorpora como innovación el cálculo volumétrico/espacial, no utilizado en España, pero cuya aplicación práctica es habitual en otros países como Estados

Unidos, Alemania, Nigeria y Australia,

La aplicación práctica del Modelo Pcr.5n, es rápida y sencilla en sus cinco niveles de aplicación, siendo la utilización de modelos de predimensionado de costes de gran interés para reducir desde la fase de proyecto, los sobrecostes de obra y los márgenes de error en la correcta estimación del coste final de obras, y ello tanto para costes de edificación de obra nueva, como en obras de rehabilitación, siendo dichos costes de contrata en los ejemplos de aplicación práctica referenciados en la presente comunicación los siguientes:

- OBRA NUEVA (Museo Guggenheim de Bilbao).....**77.697.085 € (2020)**  
iva no incluido
- REHABILITACIÓN (Edificio de viviendas en Lorca).....**191.901 € (2020)**  
iva no incluido

Por último, en cuanto a la aplicación práctica del Modelo Pcr.5n (Predimensionado costes referencia . 5 niveles), se concluye que cumple tanto los objetivos previstos, como la hipótesis inicialmente formulada, ya que se logra una fiabilidad en la precisión del cálculo estimativo superior al 90%, en concreto se obtienen desviaciones inferiores al 10%:  
(+ **6,78 %** Museo Guggenheim y + **9,35%** Rehabilitación viviendas).

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Paricio, I. (1971). *Predimensionado de costos en la vivienda*. Colegio Oficial de Arquitectos de Cataluña y Baleares.
- [2] Carvajal, E. (1992). *El predimensionado de Coste en Arquitectura*. Consejería de Obras Públicas y Transportes de Andalucía.
- [3] Pina, P. (2014). Tesis doctoral *Desarrollo de un modelo de predimensionado de costes de construcción en el proyecto arquitectónico*. (Tesis publicada en formato digital. <http://oa.upm.es/32782/> ). Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas. Madrid: España.
- [4] Vitruvio, M. (1787). *Los diez libros de Arquitectura* – Joseph Ortiz – Imprenta Real de Madrid.
- [5] Cox, J & William, F. (1996). “*Square Foot Estimating Methods*”. R.S. Means Company, Inc.
- [6] BKI Baukosten Gebäude (2012). *Baukosteninformationszentrum*. Stuttgart.
- [7] Olusegun, E., Olusola, S. and Opawole, A. (2011). *Comparative accuracy of area, storey enclosure and cubic methods in preparing preliminary estimate in Nigeria*. Macmillan Publishers.
- [8] Cheung, F. (2005). *Development and Testing of a Method for Forecasting Prices of Multi-Storey Buildings during the Early Desing Stage: the Storey Enclosure Method Revisited*. PhD Thesis. Queensland University of Technology (Australia)
- [9] Pina, P. (1989). *Banco de costos en obras de Arquitectura y Urbanismo.1989/90: obra nueva, restauración, rehabilitación y urbanismo*. (Publicación declarada de interés profesional por el Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España) COAMU, Murcia.
- [10] Pina, P. (1991). *Banco de costos en obras de Arquitectura y Urbanismo 1991/92: obra nueva, restauración, rehabilitación y urbanismo*. (Publicación declarada de interés profesional por el Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España) COAMU, Murcia.
- [11] Pina, P. (2004). *Base de precios/costes de construcción de la Región de Murcia: Edificación y urbanización*. COAMU, COOATMU, FRECOM y UCAM, Murcia.
- [12] Pina, P. (2013). “*Valoraciones urbanísticas y tasaciones inmobiliarias*”. Diego Marín – Librero/ Editor.
- [13] Idom. (1997). “*Historia de un sueño: 1992/1997 Guggenheim Bilbao Museo*”. Edita Idom.
- [14] de la Hoz, J.de D. (2012). *Terremoto en Lorca: consecuencias y actuaciones sobre el Patrimonio*

- Religioso. Patrimonio Cultural de España – n° 6/año 2012*. Madrid: España (páginas 107 – 121).
- [15] García, F.; Ramírez, G.; Pina, P.; Armengol, J. (2013). *La valoración de inmuebles del Patrimonio Histórico y los riesgos sísmicos en el contrato de seguro. El caso de Lorca*. Mapfre : España.
- [16] Roldan, J. y otros. (2012). *Experiencia para un protocolo técnico de actuación tras terremotos. Los movimientos sísmicos de Lorca del 11 de mayo de 2011*. Ucam Murcia: España.
- [17] VVAA, (2011). *Plan director para la recuperación del Patrimonio Cultural de Lorca (Murcia)* Ministerio de Cultura. Dirección General de Bellas Artes y Bienes Culturales. Madrid: España. Página 8 de 8

## PROYECTOS, GESTIÓN Y PARTICIPACIÓN DEL ARQUITECTO TÉCNICO

GONZÁLEZ GRAÑEDA, FÉLIX J.<sup>1</sup>; MAYORGA ROMERO, MANUEL<sup>2</sup>;  
PAHESA MÍNGUEZ, NATALIA<sup>3</sup>

*<sup>1</sup>Ingennus Urban Consulting, Zaragoza, España*

*E-mail: ffgonzalez@ingennus.com, Web: www.ingennus.com*

*<sup>2</sup>Ingennus Urban Consulting, Zaragoza, España*

*E-mail: mmayorga@ingennus.com, Web: www.ingennus.com*

*<sup>3</sup>Ingennus Urban Consulting, Zaragoza, España*

*E-mail: npahesa@ingennus.com, Web: www.ingennus.com*

**PALABRAS CLAVE:** PROYECTO; GESTIÓN; PROJECT MANAGER; BIM.

### RESUMEN

Un proyecto genera un producto, un servicio o un resultado único. Gestionar un proyecto es aplicar conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas a las actividades para cumplir con sus requisitos. Fundamentalmente deben equilibrarse las restricciones: -- alcance (que) -- plazo (cuando) -- presupuesto (cuanto) -- calidad (como) -- recursos (quien) -- riesgos (negativos y positivos)... Es decir, debe conseguirse que haya orden. Para ello a nuestro alrededor encontramos guías, como la del Project Manager Institut (PMI), que contiene un estándar, reconocido a nivel mundial, para el desarrollo de la gestión de proyectos. Disponemos de metodologías como el Building Information Modeling (BIM) para llevar a cabo una modelización y construcción virtual de los proyectos a desarrollar. Y nosotros, los arquitectos técnicos, tenemos conocimientos y habilidades que se antojan fundamentales en el desarrollo de cualquier proyecto de construcción, independientemente de donde sea obligatoria por ley nuestra figura. Debemos focalizar nuestros esfuerzos, no sólo en mantener nuestras atribuciones, sino también en aumentar la profesionalización en cuanto a gestión

de proyectos se refiere dentro del sector, ya que lo deseable es que nos necesiten no que seamos una imposición. No es un camino fácil, pero es una traza a nuestra medida, debemos redoblar esfuerzos en aportar valor a nuestras ya citadas aptitudes que nos permitan abrirnos fronteras donde somos desconocidos, hablando un lenguaje internacional, siendo Quantity Surveyors (QS), Project Managers Profesionales (PMP) y ayudándonos de BIM para mejorar nuestro desempeño gestionando las restricciones de los proyectos que encaremos, anticipando la toma de decisiones y respondiendo a los problemas y oportunidades que surjan durante su vida.

## 1. INTRODUCCIÓN

Para desarrollar un proyecto se debe realizar un trabajo, que supone un esfuerzo en el tiempo que se acomete para alcanzar un resultado único; que puede ser parecido a otros pero que por sus diferencias resulta único. Y uno de los indicadores más importantes, si no el que más, para determinar si se ha alcanzado un resultado exitoso es el económico; es decir que el coste final se ajuste a la previsión inicial. En este momento final es cuando más miradas se fijan sobre el arquitecto técnico, por lo que debemos hacer un esfuerzo para que estas miradas sean menos y más amigables, por ello emplear desde fases muy tempranas la herramienta fundamental que resulta ser la gestión de proyectos es clave para nuestro desarrollo profesional.

Si además, pretendemos preparar la posibilidad de trabajar fuera de nuestras fronteras sin que nos acucie ninguna crisis económica, descubrimos la figura del QS (Quantity Surveyor), que a través de la acreditación por el RICS (Royal Institution of Chartered Surveyors), “asociación profesional del Reino Unido que agrupa a más de 125.000 profesionales de diferentes especialidades, todas relacionadas con el mundo inmobiliario ...” [1], dibuja al profesional encargado de la medición y presupuesto de los proyectos de construcción; y que a medida que asume responsabilidades también se ocupa de gestionar los costes de la obra con el objetivo de controlarlos y monitorizarlos para que se reduzcan en la medida de lo posible o si hubiera oportunidad mejorar la relación entre calidad y precio durante el desarrollo de la misma. Cabe señalar que debe reportar al Project Manager, pero es evidente que estamos ante una figura muy parecida al Arquitecto Técnico, aunque como nuestras atribuciones en España son más amplias se nos abre la puerta, para ejercer como Project Manager liderando la gestión de proyectos. Ahora bien, es necesario el empleo de un estándar internacional reconocido por sus buenas prácticas para que adaptándolo a cada proyecto en concreto podamos realizar un trabajo que pueda reconocerse tanto nacional como internacionalmente.

En gestión de proyectos, laLa guía a la que me refiero es el PMBOK (Project Management Body of Knowledge – Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos), editada por el El PMI (Project Manager Institute) que es una organización internacional sin ánimo de lucro que asocia a profesionales relacionados con la Gestión de Proyectos y que cuenta con más de 400.000 miembros en cerca de 170 países siendo sus objetivos:

- Formular estándares profesionales en Gestión de Proyectos.
- Generar conocimiento a través de la investigación.
- Promover la Gestión de Proyectos como profesión a través de sus programas de certificación.

Para ello promueve la acreditación como PMP (Project Manager Professionals), que es una certificación oficial otorgada por el PMI a título personal a profesionales en la dirección de proyectos. En la actualidad hay más de 600.000 certificados PMP en el mundo para lo que han debido cumplir una serie de pre-requisitos y además superar un examen para poder disponer del certificado.

Si a esta guía añadimos nuestros conocimientos profesionales como arquitectos técnicos, los que nos evitarán comenzar de cero, y el BIM (Building Information Modeling), que nos servirá para implementar una metodología de trabajo que centralice toda la información del proyecto en un modelo de información digital, se nos facilitará extraordinariamente nuestra meta, que no es otra que liderar proyectos aquí y fuera.

Existen otras formas de gestionar proyectos, pero entendemos que una gestión en gran parte predictiva, basada en experiencias anteriores, lecciones aprendidas... se ajusta más a las necesidades para desarrollar proyectos de edificación.

## **2. DESARROLLO**

### **2.1 ¿Qué debemos entender por PROYECTO y por qué debemos cambiar nuestra participación en ellos?**

Repetiremos una vez más que “un Proyecto supone un esfuerzo en el tiempo que se acomete para alcanzar un resultado único” [2]; en nuestro caso un edificio, bien sea mediante nueva construcción, ampliación, modificación, reforma o rehabilitación, abarcando sus instalaciones, equipamiento y urbanización adscritos al mismo.

Si bien podríamos extender el proyecto, por ejemplo, desde la fase misma en la que una persona tiene un suelo en el que existe la posibilidad de desarrollar un edificio hasta que se produce la entrega de llaves a los nuevos propietarios, en esta ponencia centraremos el análisis del Proyecto desde el momento en el que esta persona tiene la intención de emprender la construcción y necesita un proyecto de arquitectura, gestionar los permisos administrativos, contratar los trabajos de la obra y realizar un adecuado postventa.

El debut del QS dentro de la construcción es hacer listados de mediciones y a medida que adquiere experiencia gestionar el control de costes. Esta experiencia y el continuo desarrollo de habilidades de comunicación, sin que sea la única a desarrollar, al pasar gran parte de su tiempo hablando y negociando, administrando órdenes y negociando presupuestos, le permitirá como ocurre en el mundo anglosajón adquirir nuevas responsabilidades asumiendo la gestión de proyectos como PMP en construcción, donde gran parte de ellos previamente han sido QS.

Aquí, nuestra labor no debería limitarse a ser un agente más que interviene en función de sus atribuciones, y los usos y costumbres más habituales, es decir intervenir para confeccionar las mediciones del proyecto de ejecución, el Estudio de Seguridad y Salud, o para desarrollar la Dirección de Ejecución de Obra y/o la Coordinación de Seguridad y Salud. ¿Por qué? Pues la respuesta es bien sencilla, por egoísmo ajeno y propio; dicho de otra manera para que no seamos simplemente otra firma necesaria, para que nuestra labor como técnicos sea valorada por lo que desarrollamos y no tanto por la necesidad de contar con ella en el primero de los casos, y para mitigar posibles planteamientos o definiciones de proyecto que puedan generar tanto costes nuevos como problemas durante y posteriores a la ejecución en ambos supuestos.

No se trata de reivindicar que podamos firmar proyectos para los que la LOE no lo contempla. Se trata de que gerenciamos el desarrollo del Proyecto, huyendo de la idea en la que se entiende como Proyecto el entregable, es decir el conjunto de documentos mediante los que se definen y determinan las exigencias técnicas de la obra para completar la edificación conforme a los requisitos legales existentes, o sea el proyecto de arquitectura. El Proyecto es el desarrollo del todo, es conducir este por el mejor camino, es conseguir realizar una construcción única, por su localización, por su diseño, circunstancias, interesados...

### 2.1 ¿Qué es gestionar un Proyecto?

Si miramos al PMBOK, este nos dice que “un Proyecto puede generar un producto, que puede ser un componente de otro elemento, una mejora de un elemento o un elemento final en sí mismo” [3], en nuestro caso la construcción de un edificio; y que “la dirección de proyectos consiste en la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas a las actividades del proyecto para cumplir con los requisitos del mismo; y que se logra aplicando integrada y adecuadamente una serie de procesos agrupados en cinco grupos lógicos” [4] “Figura 1”: Inicio, Planificación, Ejecución, Monitoreo y Control, y Cierre; para atender a diez áreas de gestión “Figura 2”: Integración, Alcance, Plazo, Coste, Calidad, Recursos humanos, Comunicación, Riesgos, Adquisiciones, e Interesados.



Figura 1: Procesos



Figura 2: Áreas de gestión

“La responsabilidad del Gestor del Proyecto es satisfacer necesidades” [5], es saber ejercer de nexo de unión entre la estrategia y el equipo, desarrollando liderazgo, trabajo en equipo, motivación, negociación, gestión de conflictos, etc. Debe ser capaz de hacer desempeñar a todos los miembros del equipo el papel que les toque. “Un proyecto grande puede comprender muchos miembros de equipo y cada uno puede jugar un papel diferente (diseño, fabricación, montaje, compras, venta, gestión de instalaciones...). Y estos miembros tan diferentes forman parte del equipo del líder, el Project manager. Este es responsable de que su orquesta suene afinada, es responsable de lo que producen sus equipos, del resultado del proyecto. Y para ello, y éste es un aspecto clave, deben adoptar una visión holística, una visión global e integradora. Empezando por revisar el porqué y el para qué del proyecto, revisando la visión, misión y objetivos de sus respectivas organizaciones para así asegurarse de que el proyecto no se desencamina sino que avanza alineado con los objetivos estratégicos de la organización.” [6]. El Project Manager debe tener un conocimiento transversal de cada uno de los roles, con nociones técnicas, y experiencia y formación en gestión de proyectos. Es cierto que no siempre los técnicos son buenos gestores de proyectos, pero fomentando la planificación, la coordinación y la comunicación dentro del equipo el camino resultará en cierta medida previsible y caso de encontrarse con sorpresas facilitará la adaptación a las nuevas situaciones.

La dinámica en la forma de gestionar un proyecto ha evolucionado, y con ella debe hacerlo el perfil de un Project Manager, siendo capaz de manejar un proyecto de forma estratégica y adaptándose a los cambios presentes y futuros del sector. [7].

Adentrémonos en la misión del Project Manager, ahora que estamos decididos a asumir la responsabilidad de guiar al Proyecto para obtener el éxito del mismo. ¿Pero que es el éxito? Podemos pensar que es cumplir con los objetivos de alcance, tiempo, coste y calidad esperados pero no estaríamos del todo acertados ya que nuestra relación con los demás es de vital importancia, el trato que les damos resulta fundamental, debemos además asegurarnos de que los interesados, internos y externos, en el proyecto se han sentido bien a nuestro lado, han estado debidamente informados y estarán dispuestos a trabajar juntos nuevamente.

Un proyecto está condicionado por:

Las partes interesadas que abarcan desde el Promotor y todas las personas que trabajan en su organización, hasta los usuarios finales del edificio, pasando por los arquitectos, las ingenierías, la constructora, la administración local, la autonómica, los subcontratistas, etc, y, cada una de ellas con un nivel de influencia en el Proyecto.

Los factores ambientales que, sin ánimo de ser exhaustivo, podríamos establecer en la demanda del mercado, la competencia, el gobierno, los proveedores, el medio social y la normalización.

La estructura organizativa, y las plantillas, instrucciones de trabajo, procedimientos, etc, que vayan a utilizarse.

Y las restricciones de proyecto, que se establecen en alcance, tiempo, calidad, y coste.

Si somos capaces de controlar las condiciones del Proyecto, especialmente sobre el triángulo de hierro, estaremos en el buen camino. Este triángulo de hierro, Alcance + Tiempo + Coste, no necesariamente será equilátero pero casi y siempre ha de estar equilibrado. Recordemos aquello de “bueno + bonito + barato = elija dos”. Y el área de este triángulo se debe identificar con la Calidad. Podríamos añadir a modo de satélites otros dos espacios destinados a los Riesgos y a los Recursos con los que contamos.

El Alcance definirá lo que SI hay que hacer y lo que NO hay que hacer, y deberá estar

siempre registrado y actualizado, recogiendo requisitos y expectativas, y controlando los cambios que se generen a lo largo de la vida del Proyecto. Este registro actualizado nos permitirá dividir el proyecto en partes más pequeñas que nos ayudarán a evitar olvidos y a hacer un seguimiento, control y validación de los trabajos adecuados.

El Tiempo ha de ser gestionado adecuadamente, es decir, calificando cada asunto de manera correcta, diferenciando entre importante y urgente para así establecer y secuenciar las actividades a realizar, estimando los recursos y el tiempo necesarios para completarlas de manera que podamos plasmar toda esta información en un cronograma que en ningún caso debe ser algo impuesto y si establecido con la participación del equipo incorporando ítems manejables y medibles para su monitoreo e información.

El Coste, acordados de aquellas miradas inquisitoriales que recibe el aparejador cuando los costes se pasan de la raya, ha de planificarse mediante una estimación económica que debe incluir además de los gastos previsible, los riesgos o contingencias que nos podamos encontrar y las correcciones que sean necesarias llevar a cabo el Proyecto; de manera que puedan asociarse al cronograma. Esta asociación nos permite establecer un seguimiento y control de manera que establezcamos una línea base (contrato), a la que vigilarémos para evitar que la planificación no la supere y que el coste incurrido no supere a esta. Esto no es nada nuevo, las constructoras lo hacen sistemáticamente con la certificación, la planificación, y la producción; y así pueden saber tanto si se están produciendo retrasos o adelantos, como desviaciones de coste, o predecir las tendencias del proyecto.

La Calidad que es cumplir con el Alcance, satisfacer los requisitos del cliente, ser preciso y exacto, y establecer mecanismos que garanticen resultados homogéneos, predecibles y satisfactorios.

Aunque nunca hay que perder de vista que la aplicación de estos estándares no garantiza que no exista incertidumbre, volatilidad, complejidad y ambigüedad en el desarrollo del Proyecto, pero si nos ayudan a convivir con ellas, a manejar los riesgos negativos o positivos (oportunidades), a actualizar la planificación que siempre está expuesta a múltiples detalles que nos empujarán a ello, a encarar la complejidad reduciendo cada situación a otras más pequeñas y manejables...

### **2.3 ¿BIM como herramienta que nos ayudará a gestionar las restricciones?**

Existen herramientas, o mejor dicho, metodologías que nos harán la gerencia de proyectos más sencilla, BIM (Building Information Modeling) es una de ellas. Podremos modelar el edificio de manera que se pueda construir tal y como se ha modelado. En este modelado es esencial la participación ordenada de todos los agentes, ya que de una correcta colaboración obtendrán beneficio todos ellos. “El uso de BIM va más allá de las fases de diseño, abarcando la ejecución del proyecto y extendiéndose a lo largo del ciclo de vida del edificio, permitiendo la gestión del mismo y reduciendo los costes de operación.” [7].

### **2.4 ¿Cómo debemos trabajar con BIM?**

BIM necesita saber el alcance del proyecto, es decir nos fuerza a comenzar recogiendo requisitos y restricciones, y a medida que avanza el modelado validar el trabajo realizado. No es una herramienta para “dibujar” en 3D, es una herramienta de modelado. Imaginemos que en lugar de hacer un modelado, una construcción virtual, hiciésemos directamente una

construcción real. No sería muy lógico iniciar un proyecto para 12 viviendas adosadas y, si las restricciones normativas lo permitieran, casi terminado, derribarlo para levantar 12 viviendas en bloque. Tampoco sería muy cabal proyectar con tabiquería de yeso laminado y a una semana de la entrega tener que demoler las tabiquerías, porque se quieren hacer en ladrillo hueco doble revestido de yeso. BIM requiere de una gestión de proyecto tipo PMP. Se necesita planificar el proyecto, se necesita hacer seguimiento de esta planificación, se necesita validar cada periódicamente el trabajo realizado. ¿Esto significa que no habrá cambios? Evidentemente la respuesta es no. La volatilidad siempre está ahí. No importa lo mucho que se haya trabajado la planificación, una vez que se inicia la ejecución, aparecerán múltiples detalles que harán necesario modificar el plan original. Pero con una adecuada monitorización y control de lo que sucede en la vida del proyecto al compararla con la prevista, y aplicando las medidas necesarias podremos manejar nuestro proyecto. No obstante debemos sopesar siempre el impacto de los cambios, ya que en mayor o menor medida tendrán efecto o sobre el alcance, el tiempo, el coste o la calidad.

## 2.5 ¿Cómo debe desarrollarse un Proyecto en BIM y en que nos ayuda?

Modelando como se construye y gestionando los cambios.

A continuación, se planteará la interacción existente entre aparejador y tecnología y como ésta, readapta las tareas clásicas de seguimiento de obra, a nuevos conceptos de control y gestión.

BIM se convierte en la herramienta principal para llevar a cabo una sinergia que no existía en el sector. El modelo BIM recoge todo el proyecto, desde enlaces a documentación, pasando por la geometría del mismo y llegando a las mediciones. Todos ellos agrupados en un mismo archivo, el cual tiene la capacidad de enlazar incluso, con las fichas técnicas de los elementos que lo componen.

Podemos decir que el modelo BIM es una base de datos que puede ser moldeada y transformada, según los requisitos preestablecidos de cada empresa y adaptada a las tareas necesarias que vayan a llevarse a cabo.

El modelado se realiza tal y como se construye, es decir, todos los elementos que componen el modelo son una simulación de nuestra futura ejecución. Esto nos permite gestionar e identificar todos los elementos que componen el proyecto y medirlos adecuadamente. Por ejemplo, la medición de pilares podremos obtenerla de manera inmediata evitando incluirla como parte proporcional de la estructura lo que además, de mejorar el control de costes, nos facilitará la confección del Plan de Control de Calidad. De esta manera iremos obteniendo partidas más limpias, menos compuestas, reduciendo el concepto de “parte proporcional” porque ya podremos extraer mediciones reales proporcionadas por el modelo.

Pongamos un ejemplo extremo aunque fácilmente calculable. Una bañera en el modelo BIM es un elemento 3D, que se coloca virtualmente en su posición. Cada bañera tiene sus medidas propias de altura, longitud y fondo, las cuales corresponden con su volumetría real en el modelo, y son posicionadas según sus distribuciones. Gracias al tipo de bañera y a su colocación dentro del baño obtenemos automáticamente el metro lineal de cordón de silicona necesario para su instalación. El propio programa nos dice la cantidad de bañeras que hay colocadas e inmediatamente podemos obtener los metros lineales de sellado que se deben ejecutar. Otro ejemplo sería el cálculo en metro lineal de los berenjenos en los pilares o el del número de los cartuchos embutidos posicionados en el perímetro del forjado para

las barandillas provisionales de seguridad, o los recercados de ventana, el vidrio, ..., es extrapolable a cualquier unidad de obra siempre que la tengamos definida. Esto permite ser rápido y preciso a la hora de obtener mediciones, rendimientos...

En cuanto a las mediciones, existen sistemas de gestión de cambios basados en Dynamo y Excel que nos permiten identificar las diferencias entre versiones de modelo y cuantificar los cambios entre ellos, además de identificar ágilmente los elementos que han sido modificados en relación con las versiones anteriores, modificando su visibilidad o colocándolos en un color preestablecido, debido a que cada elemento del modelo posee un identificador propio que nos permite acceder a él desde su línea de medición correspondiente. Resultando un proceso cómodo de gestión y principalmente previendo posibles fallos en obra, es decir identificando riesgos futuros.

Con un proyecto modelado mecanizar la medición de partidas o capítulos es una de sus grandes ventajas, lo que abunda en la labor del QS sea más precisa. Empleando las denominadas “tablas de planificación” obtenemos la información y las diferentes propiedades de cada elemento del proyecto. Estas tablas requieren de una preparación previa para obtener la información deseada. Veamos como ejemplo la medición de falsos techos. En el modelado, a cada falso techo le asignaremos un nombre, por ejemplo “Falso techo de yeso laminado”, le insertaremos un parámetro de localización (planta, vivienda, habitación...) y tras el modelado generaremos una tabla de planificación, exportable a una hoja de cálculo con la medición del elemento, donde podríamos ver todos los falsos techos del proyecto sabiendo en que nivel están situados y que área ocupan, y por lo tanto, teniendo la oportunidad de llevar a cabo un filtrado tan pormenorizado como parámetros hayamos incluido a la partida durante el modelado. Ni que decir tiene que desde esta hoja de cálculo podríamos trasvasar la medición al programa que para la confección de mediciones empleemos.

En cuanto a la confección de certificaciones, la labor también se simplifica, como en el caso de la medición tanto en precisión como en rapidez y control, haciendo esta tarea mucho más intuitiva. Parametrizando adecuadamente cada elemento la certificación se desarrollará mejor, y con el empleo del programa Navisworks que potencia las capacidades de BIM. Imaginemos que vamos a certificar m<sup>2</sup> de forjado. Introduzcamos, por ejemplo, tres parámetros distintos, como puede ser el entablado, el armado y el hormigonado, que nosotros podremos validar con un simple clic, en el momento de realizar la visita a la obra con la ayuda de una Tablet. Con este click en el parámetro correspondiente dentro del elemento, y si a cada parámetro le hemos asignado un porcentaje de participación sobre el total de la partida completada (entablado 25%, armado 35% y hormigonado 40%), podremos tener una tabla que nos calcule la cantidad ejecutada hasta la fecha de forjado.

Con un poco más de ambición, si parametrizamos la planificación temporal, estaríamos como PMP en disposición de conocer como va nuestro proyecto, y estimar como discurrirá hasta la fecha de conclusión del mismo.

La parametrización es la clave del éxito ya que el modelo cargado de información nos asiste para gestionar Alcance, Tiempo, Coste, Calidad, Recursos..., es decir, nos da soporte para realizar una Gestión integrada del proyecto.

### 3. CONCLUSIONES

El mundo de la arquitectura muestra una tendencia clara a que los proyectos sean planificados, secuenciando tareas tanto temporal como económicamente. El hecho de que cada vez el desarrollo de metodologías y herramientas encaminadas a facilitar esta labor esté más evolucionado lo hace evidente. Todos los clientes preguntan siempre lo mismo: ¿Se puede hacer? ¿Para cuando lo podría tener? y ¿Cuánto cuesta?; darles una respuesta sin una planificación porque ¿para que planificar si mañana ya no vale?, cuando menos nos aboca a un camino repleto de sorpresas, lleno de contingencias, es decir, caro.

La metodología BIM nos obliga a gestionar a los agentes del mismo, a sus interesados, el alcance; nos permite organizar la secuencia de información, es decir, planificarnos integrando el que hay que hacer. Así mismo, auxiliado de otras herramientas nos da la posibilidad de controlar y monitorizar la evolución del mismo tanto en su fase de diseño como de ejecución, además de gestionar compras y cambios.

Dada la visión transversal del proceso que tiene un Arquitecto Técnico, y su especialización en labores de Quantity Surveyor; si implementamos habilidades de PMP, nuestra figura está destinada a convertirse en un agente omnipresente en todas las fases del proyecto.

Obtener una acreditación reconocida internacionalmente, QS o PMP, favorece la circulación profesional alrededor de todo el mundo, sin necesidad de tener que tratar de explicar que es un aparejador, arquitecto técnico o ingeniero de la edificación fuera de nuestras fronteras.

Quién no quiera verlo, y quién no quiera aprovecharse del servicio que podemos dar, está condenado a seguir haciendo las cosas como siempre, pero todos sabemos que para que algo cambie, para que algo mejore, hay que hacer algo diferente. Está en nuestras manos actualizarnos, mostrar nuestro potencial y divulgar este paso hacia delante en aras de una mayor profesionalización de un sector que en numerosas ocasiones carece de gestores de proyectos que conozcan e integren todas las áreas que los componen.

### 4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS (Y CITAS EN EL TEXTO)

- [1] CGATE. (2017, julio 18). Solicitud de ingreso como miembro AssocRICS [<http://www.arquitectura-tecnica.com/pagina3.asp?Pagina=127>].
- [2] [3] [4] [5] © 2013 Project Management Institut. Guía de los fundamentos para dirección de proyectos (Guía del PMBOK® 5ª EDICIÓN)
- [6] Daniel Echeverría. (2018, enero 13). El futuro es de los Project Managers... pero ¿Qué es espera de ellos? [<https://www.danielecheverria.com/2018/01/13/futuro-los-project-managers-espera/>].
- [7] Carlos J. Pampliega. (2018, enero 8). Hacia un modelo en el desarrollo de carrera del Director de Proyectos. [[http://salineropampliega.com/2018/01/desarrollo-de-carrera-del-director-de-proyectos.html?utm\\_content=buffer40c61&utm\\_medium=social&utm\\_source=linkedin.com&utm\\_campaign=-buffer](http://salineropampliega.com/2018/01/desarrollo-de-carrera-del-director-de-proyectos.html?utm_content=buffer40c61&utm_medium=social&utm_source=linkedin.com&utm_campaign=-buffer)].
- [8] Building Smart Spain es una asociación sin ánimo de lucro para el fomento de la eficacia en el sector de la construcción a través del uso de estándares abiertos de interoperabilidad sobre BIM (Building Information Modeling) Accedido el 8 de enero, 2018, desde <https://www.buildingsmart.es>.

## LA GESTIÓN ECONÓMICA DEL DIRECTOR DE EJECUCIÓN DE LA OBRA DENTRO DEL MARCO DE LA NUEVA LEY DE CONTRATOS DEL SECTOR PÚBLICO

ALEDO GUERAO, SALVADOR<sup>1</sup>; PALLARES MARTÍNEZ, PEDRO ANTONIO<sup>2</sup>

*<sup>1</sup> Universidad Católica San Antonio de Murcia, Murcia, España*

*E-mail: s.aledo@arrakis.es, Web: www.ucam.edu*

*<sup>2</sup> Universidad Católica San Antonio de Murcia, Murcia, España*

*E-mail: pedropallares@esatarquitectura.com, Web: www.ucam.edu*

**PALABRAS CLAVE:** gestión; economía; sector; público; ley.

### RESUMEN

La publicación de la nueva Ley 9/17 de Contratos de Sector Público, el pasado 9 de noviembre, implica que la Gestión Económica del Director de Ejecución de la Obra, va a sufrir cambios que conllevan que los procedimientos a seguir tengan que ser modificados y adaptados a la nueva legislación.

Estos cambios afectan a todas las fases del expediente administrativo de una obra como son:

1. Confección del presupuesto que integra el Proyecto y que servirá de base para la Licitación.
2. Criterios a tener en cuenta en el procedimiento de Licitación, Adjudicación y Contratación de la obra con la empresa adjudicataria.
3. Seguimiento de la Ejecución de la Obra.
4. Procedimiento para seguir en la Recepción, período de Garantía y posterior Liquidación de la obra.

El objetivo de la comunicación es informar y facilitar, al Director de la Ejecución de la Obra, de los pasos que debe seguir, teniendo en cuenta, tanto el cumplimiento del todavía vigente Texto Refundido de la Ley de Contratos del Sector Público, así como lo estipulado en la nueva Ley.

Se realiza mención especial a los procedimientos que se han visto modificados, por la nueva Ley y que tienen repercusión en la labor que desarrolla el Director de la Ejecución de la Obra cuando el promotor es la Administración.

Las principales novedades que aporta la Ley, desde un punto de vista jurídico, además de su adaptación a la directiva europea, son:

1. Régimen jurídico de los medios propios de la administración.
2. Prohibiciones de contratar.
3. Exigencia de subgrupos de clasificación.
4. Límites a las garantías exigibles por las empresas públicas.
5. Criterios de adjudicación, mejoras y cláusulas sociales y medioambientales.
6. Respeto a las normas de calidad, medioambientales y sociales y a los convenios colectivos.
7. Bajas anormales o desproporcionadas.
8. Plazos de presentación de proposiciones.
9. Régimen de pagos.
10. Modificaciones del contrato.

## 1. INTRODUCCIÓN

Con esta comunicación se va a proceder a analizar la nueva Ley [1] (de ahora en adelante LCSP), desde el punto de vista de la labor que desarrolla el Director de Ejecución de la Obra (de ahora en adelante, DEO), con el objetivo de conocer los aspectos que regula la nueva legislación y que se deban tener en cuenta en el transcurso del expediente de la obra y no solo desde el punto de vista de la ejecución de la misma. Para ello se va a proceder a analizar las 4 fases en las que el técnico se puede ver involucrado:

- Proyecto.
- Licitación, Adjudicación y Contratación.
- Ejecución.
- Recepción y Liquidación.

Antes de proceder a este desarrollo, es preciso realizar unos comentarios desde un punto global y para ello nos vamos a ayudar de un solo artículo que, además, es el primero de la Ley:

Artículo 1: Objeto y finalidad.

*“En toda contratación pública se incorporarán de manera transversal y preceptiva criterios sociales y medioambientales siempre que guarde relación con el objeto del contrato, en la convicción de que su inclusión proporciona una mejor relación calidad-precio en la prestación contractual, así como una mayor y mejor eficiencia en la utilización de los fondos públicos. Igualmente se facilitará el acceso a la contratación pública de las pequeñas y medianas empresas, así como de las empresas de economía social”.*

De la lectura de la Ley podemos sintetizar la filosofía que la rodea basado en:

1º Refuerza los criterios sociales y medioambientales.

2º Mejorar la relación calidad-precio.

3º Eficiencia fondos públicos.

4º Facilitar el acceso a las PYMES.

Y un 5º, de importancia y consecuencias especiales, la Publicidad de todos los actos que genera la Administración con el objetivo de conseguir la igualdad para todos los posibles licitadores por lo que, incide y legisla con mucho detalle, el uso de la herramienta Perfil del Contratante (de ahora en adelante, PC) y complementariamente, el Pliego de Condiciones Administrativas Particulares debe contemplar y por lo tanto de amparar y regular, toda la casuística que se puede generar en el desarrollo del procedimiento que regula el expediente administrativo.

Se aprecia también del articulado que la nueva Ley está más ordenada y coincidente con el procedimiento a seguir y en especial, los artículos que regulan la ejecución están agrupados y su orden de codificación se asemeja a la propia obra en contra de la dispersión que contenía el [2] (de ahora en adelante, TRLCSP).

Ahora queda esperar la publicación del Reglamento que regule la aplicación de la nueva Ley y confiar que no suceda lo mismo que con la Ley [3], pues durante sus más de los 10 años de vigencia, ha carecido del su reglamento propio y ha tenido que convivir con el Reglamento [4] caduco del año 2001 referido a la Ley [5].

## 2. ANÁLISIS DE LA LEGISLACIÓN VIGENTE

Complementariamente se procede a analizar, desde un prisma comparativo, la LCSP con el TRLCSP que sigue vigente para expedientes anteriores a la entrada en vigor de la LCSP, el pasado 9 de marzo.

Este análisis comparativo se realiza agrupando la legislación en los siguientes apartados:

- Artículos que aun siendo novedosos en la nueva Ley no influyen, de una manera determinante y directa, en el día a día de la gestión del Director de Ejecución de la Obra, pues contienen una orientación jurista y no técnica.
- Articulado que aporta modificaciones o perfeccionamiento sobre lo contemplado en el TRLCSP conllevando una legislación que implica una modificación sustancial.
- Articulado de nueva regulación pero que no influye, de una manera determinante, en la gestión del Director de Ejecución de la Obra.

### **2.1 Artículos que aun siendo novedosos en la nueva Ley no influyen, de una manera determinante y directa, en el día a día de la gestión del Director de Ejecución de la Obra, pues contienen una orientación jurista y no técnica**

Se procede a su enumeración, aportando comentarios a los mismos:

✓ El articulado que regula el acceso al expediente se corresponde con los nº 52, 53 y 54.

Los citados artículos y en especial el nº 54, regula y obliga que en los recursos se utilicen medios electrónicos.

✓ Artículo 64. Lucha contra la corrupción y prevención de los conflictos de intereses.

Incide en la lucha contra el fraude, el favoritismo y la corrupción además de prevenir, detectar y solucionar de modo efectivo los conflictos de intereses. Es muy importante dejar constancia que contempla, este artículo, que cuando se dé el caso de que un interviniente en el procedimiento "... pudiera parecer..." que compromete su independencia, deberá ser excluido.

✓ Artículo 115. Consultas preliminares del mercado.

Con la idea de preparar la licitación e informar también, el Órgano de Contratación (de ahora en adelante, OC), puede realizar un estudio de mercado y consultas a operadores económicos, siempre y cuando sea publicado en el PC razonando los motivos. El OC debe planificar el procedimiento de licitación siempre y cuando no tenga el efecto de falsear la competencia o de vulnerar los principios de discriminación y transparencia. De este procedimiento no podrá resultar un objeto contractual tan concreto y delimitado que únicamente se ajuste a las capacidades técnicas de uno de los consultados, por lo que debe incluir características genéricas y exigencias generales o fórmulas abstractas, pero en ningún caso comportar ventajas respecto de la adjudicación. El OC presentará un informe de las actuaciones realizadas el cual tiene que estar motivado y publicado y no puede revelar las propuestas o soluciones de otros participantes procediendo, con los resultados, a tenerlos en cuenta o bien motivar el por qué no. Los participantes pueden intervenir en el procedimiento de contratación.

✓ Artículo 148. Definición y cálculo del ciclo de vida.

En una obra en la que todas sus fases sean consecutivas o interrelacionadas, incluido el desmantelamiento al final de la utilización. Para el cálculo del coste se debe tener en cuenta todos los ciclos, como son fabricación, utilización, mantenimiento, recogida y reciclado además de los imputados por condiciones medio ambientales. Cuando el OC evalúe los costes, especificará en el pliego, el método a utilizar basándose en criterios verificables objetivamente y no discriminatorios, que sean accesibles a todos los posibles licitadores los cuales tienen que disponer de la información completa.

✓ Artículo 159. Procedimiento Abierto Simplificado.

El procedimiento a seguir en la adjudicación se rige por los artículos 156 y siguientes hasta el nº 187. La novedad está en el nº 159, que es de aplicación en el caso de que el valor estimado sea como máximo de 2 millones de euros y 100.000 € para servicios, siempre y cuando el juicio de valor no supere el 25% o el 45% respectivamente, aunque no es válido en el caso de que el objeto posea carácter intelectual. Tiene que publicarse en el PC con toda la documentación y estar disponible por medios electrónicos. La presentación no será inferior a 15 días y en obras 20 días. Para la tramitación se tendrá en cuenta el registro de licitadores y sin garantía provisional pudiéndose realizar la presentación de las proposiciones únicamente en el registro del OC que ha publicado el anuncio. Se tiene que aportar: declaración responsable de representación, solvencia económica, financiera y técnica o la clasificación, autorización para ejercer la actividad y no estar incurso en prohibición de contratar y existencia del compromiso. Se presenta en sobre único o dos, y la apertura de los criterios por fórmula será pública. El informe del juicio de valor, realizado por los servicios técnicos del OC, se realizará en siete días máximo. Apertura del sobre económico con informe técnico previo y en dicho acto se procede a: la exclusión si procede, propuesta de adjudicación, comprobación del registro de licitadores y comunicación electrónica para la garantía definitiva y aportación del compromiso. En 7 días hábiles petición a los licitadores con oferta anormalmente baja, 5 días para garantía definitiva y 5 días para la adjudicación.

En caso de declaración de urgencia no se produce reducción de plazos. Cuando el valor sea 80.000 € / 35.000 €, obras y servicios salvo para el carácter intelectual, el plazo se reduce a 5 días y no se precisa de solvencia. Se presenta un único sobre mediante dispositivo electrónico y todo es accesible por medios informáticos, no procediendo garantía. La formalización se realiza con la propia aceptación a la adjudicación.

✓ Artículo 201. Obligaciones en materia medioambiental, social o laboral.

Siguiendo directrices de la UE, en el procedimiento de licitación, se tiene que comprobar el cumplimiento en el pago de los salarios y que se cumplan las condiciones salariales de los convenios.

## **2.2 Articulado que aporta modificaciones o perfeccionamiento sobre lo contemplado en el TRLCSP conllevando una legislación que implica una modificación sustancial**

Se relaciona enumeración (entre paréntesis se refleja el nº del articulado que se corresponde con el TRLCSP) del articulado y se procede a continuación, en los Capítulos 3, 4, 5 y 6 de esta comunicación, a realizar los comentarios pertinentes, según en el capítulo a que correspondan:

- Artículo 13 (nº6). Contratos de obras. Artículo 63 (nº53). Perfil del contratante. Artículo 99 (nº86). Objeto del contrato. Artículo 100 (--). Presupuesto base de licitación.
- Articulado 103 al 105 (nº89, 93 y 94). Revisiones de precios. Artículo 118 (nº113 y 138.3). Expediente de contratación en contratos menores. Artículo 125 (--). Definición de determinadas prescripciones técnicas.
- Artículo 126 (nº117). Reglas para el establecimiento de prescripciones técnicas. Artículo 131 (nº138 y DA 24ª). Procedimiento de adjudicación. Artículo 149 (nº152). Ofertas anormalmente bajas.
- Artículo 168 (nº170ª, 175 y 177). Supuestos de aplicación del procedimiento negociado sin publicidad. Artículo 198 (nº216). Pago del precio. Artículo 203 (nº105 y 219). Potestad de modificación del contrato.
- Artículo 204 (nº106). Modificaciones previstas en el pliego de cláusulas administrativas particulares. Artículo 205 (nº107 y 171.b). Modificaciones no previstas en el pliego de cláusulas administrativas particulares.
- Artículo 206 (nº219). Obligatoriedad de las modificaciones del contrato. Artículo 207 (nº108). Especialidades en los procedimientos. Artículo 208 (nº220). Suspensión de los contratos.
- Artículo 210 (nº222). Cumplimiento de los contratos y recepción de la prestación. Artículo 212 (nº224). Aplicación de las causas de resolución. Artículo 214 (nº226). Cesión de los contratos. Artículo 215 (nº227). Subcontratación. Artículo 216 (nº228). Pagos a subcontratistas y suministradores. Artículo 217 (nº228 bis). Comprobación de los pagos a los subcontratistas y suministradores. Artículo 233 (nº123). Contenido de los proyectos y responsabilidad derivada de su elaboración. Artículo 235 (nº125). Supervisión de proyecto. Artículo 236 (nº126). Replanteo del proyecto.
- Artículo 242 (nº234). Modificación del contrato de obras. Artículo 243 (nº235). Recepción y plazo de garantía. Artículo 244 (nº236). Responsabilidad por vicios ocultos. Artículo 245 (nº237). Causas de resolución. Artículo 246 (nº238 y 239). Efectos de la resolución.

### **2.3 Articulado de nueva regulación pero que no influye, de una manera determinante, en la gestión del Director de Ejecución de la Obra.**

Para el objetivo de esta comunicación, hay determinados artículos que cumplen con el carácter de ser novedosos con relación al TRLCSP, pero no procede su análisis pues se refieren a campos que no se corresponden con la actuación del DEO. Estos artículos son: nº 15 / 31 / 33 / 60 / 170 / 171 / 177 al 182 / 201 / 222 / 251 / 297 / 312 / 319 / 320 / 322.

Como resumen a este capítulo de la comunicación denominado “Análisis de la legislación vigente”, de la nueva Ley [1], la comunicación se diseña y se presenta, a continuación, por capítulos aportando una enumeración y síntesis de las novedades que aporta cada articulado y cuál es su correspondencia con las distintas 4 fases que se generan en un expediente de una obra, para la Administración, desde su inicio hasta su liquidación.

## **3. PROYECTO**

El articulado que hace referencia a la redacción del Proyecto que incluye novedades a tener en cuenta es el siguiente:

- Artículo 13. Contratos de obras. Contempla la posibilidad de realizar proyectos independientes siempre referidos a una obra completa.
- Artículo 99. Objeto del contrato. No se puede fraccionar con el objetivo de disminuir la cuantía y por lo tanto simplificar el procedimiento de adjudicación.
- Artículo 100. Presupuesto base de licitación. Es el límite máximo de gasto, incluido IVA, al que deben ajustarse los precios de mercado y se desglosará indicado en el pliego el importe de los costes directos, indirectos y otros eventuales gastos calculados, si proceden. También especificará los costes salariales estimados.
- Artículo 125. Definición de determinadas prescripciones técnicas. La prescripción o especificación técnica son condicionantes de carácter técnico que el poder adjudicador pueda prescribir por medio de reglamentación general o específica. También por medio de una norma de especificación técnica cuyo cumplimiento no sea obligatorio.
- Artículo 126. Reglas para el establecimiento de prescripciones técnicas. Mantiene la prohibición de hacer referencia a un producto determinado, y en el caso que el objeto del contrato lo impida, irá acompañada de la descripción “o equivalente”.
- Artículo 233. Contenido de los proyectos y responsabilidad derivada de su elaboración.

Este artículo no varía salvo que la simplificación del proyecto en la nueva Ley se amplía a 500.000 € sobre los 350.000 € anteriores. Hace referencia al caso de que el proyecto incluya el estudio geotécnico y no se adecué al mismo especificando como se aplica la indemnización a aplicar al proyectista.

- Artículo 235. Supervisión de proyecto. El importe mínimo se amplía de los 350.000 € del TRLCSP a los 500.000 €.
- Artículo 236. Replanteo del proyecto. La nueva Ley amplía y matiza los términos a cumplir y restringe el comienzo de la ejecución de la obra en el caso de que no se haya formalizado la ocupación en virtud de la vigente Ley de Expropiación Forzosa.

- Artículos nº 314, 315 y 316. Regulan la subsanación de errores, indemnizaciones y responsabilidades en el contrato de elaboración de proyectos de obras y se mantiene lo regulado anteriormente, por el TRLCSP, en la nueva Ley y sin modificaciones a comentar.

#### 4. LICITACIÓN, ADJUDICACIÓN Y CONTRATACIÓN

La nueva Ley [1] regula el procedimiento a seguir, previo a la contratación de la empresa contratista, incluyendo entre otras, las siguientes determinaciones:

- Artículo 63. Perfil del contratante. Refuerza y obliga el uso del PC, pues en los pliegos se determinará como se accede al perfil siendo optativo utilizar, complementariamente, otros medios de publicidad. El acceso tiene que ser libre, durante 5 años, a cualquier dato y /o documento, así como cualquier información general y/o particular tiene que estar disponible. La información mínima es: memoria, procedimiento de adjudicación, pliego y aprobación del expediente. El objeto estará totalmente detallado con su duración, su presupuesto y el importe de adjudicación y la información previa a la adjudicación, la formalización de contrato, modificaciones y su justificación. Igualmente, los resultados que se obtengan durante el procedimiento como son la identidad de los licitadores, las actas, las resoluciones, el informe de valoración y la presunción de anormalidad. También estará disponible la decisión de no adjudicar o no celebrar el contrato y el desistimiento del procedimiento de adjudicación. Igualmente tiene que incorporar los posibles recursos y suspensiones. En el caso de los contratos menores la información será trimestral y al menos incluirá el objeto, duración, importe de adjudicación y la identidad de la empresa, ordenándose por este último dato informativo. La publicación en el PC no es obligatoria cuando el importe sea inferior a 5.000 €.

Serán publicados los procedimientos anulados, la composición de la mesa de contratación y comité de expertos y los organismos técnicos especializados. Tendrá que publicarse el cargo de los miembros de la mesa de contratación y de los comités de expertos, no permitiéndose alusiones genéricas de los cargos.

- Artículo 118. Expediente de contratación en contratos menores. El valor estimado pasa a ser de 40.000 € en obras y de 15.000 € en servicios.
- Artículo 131. Procedimiento de adjudicación. Se utilizará la pluralidad de criterios basados en el principio de mejor relación calidad-precio.
- Artículo 149. Ofertas anormalmente bajas. El articulado clarifica y amplía, considerablemente, los criterios-valores a tener en cuenta sobre las condiciones de la oferta que sean susceptibles de determinar el bajo precio o coste propuesto por las empresas licitadoras. Se vigilará la vulneración de la normativa sobre subcontratación, materia medioambiental, social o laboral, incluido el incumplimiento de los convenios colectivos.
- Artículo 168. Supuestos de aplicación del procedimiento negociado sin publicidad.

En el caso de que no se haya presentado ninguna oferta bien que tenga que ser un empresario determinado o, en el caso, de que el expediente tenga carácter de secreto o reservado. También es de aplicación cuando surja una urgencia resultante de acontecimientos impre-

visibles, cuando todas las ofertas recibidas sean irregulares o inaceptables y en el caso de repetición de otros procedimientos similares adjudicados, al mismo contratista, durante un plazo de tres años siempre cuando el proyecto lo contemple.

## 5. EJECUCIÓN

La Ley [1] regula, durante la Ejecución, los procedimientos a seguir en cada caso según el articulado siguiente:

- Artículo 212. Aplicación de las causas de resolución. Es potestativo de la administración y del contratista, cuando la alteración exceda del 20%.  
En caso de declaración de concurso de acreedores por parte del contratista, el OC decidirá si continuar o no con el mismo contratista, exigiendo en este caso una garantía complementaria de, al menos, el 5%, o de una cantidad en concepto de fianza. Los expedientes serán resueltos en un plazo máximo de ocho meses.
- Artículo 214. Cesión de los contratos. Los pliegos establecerán las condiciones, dependiendo de las cualidades técnicas o personales del cedente, que no hayan sido razón determinante para la adjudicación. Cuando se dé el caso que una sociedad se haya creado específicamente para la ejecución de un contrato, el OC en el pliego preverá qué mecanismos de control de cesión de participaciones debe realizarse. Para que la cesión se produzca, el OC la tiene que autorizar disponiendo de dos meses de plazo y la obra ejecutada, tiene que ser al menos de un 20%.
- Artículo 215. Subcontratación. La nueva Ley aumenta el control del cumplimiento de los requisitos que contemplan los pliegos y su incumplimiento penaliza, hasta un 50%, el importe subcontratado, pudiendo el OC acordar la resolución del contrato.
- Artículo 216. Pagos a subcontratistas y suministradores. Se aumenta el control de los pagos y requiere la utilización de la factura electrónica para facilitar el control por el OC.
- Artículo 217. Comprobación de los pagos a los subcontratistas y suministradores. El OC podrá comprobar el estricto cumplimiento de los pagos para lo cual requiere, de los contratistas adjudicatarios, la información detallada de toda la facturación que se genera.
- Artículo 245. Causas de resolución y Artículo 246. Efectos de la resolución. La demora injustificada del acta de replanteo o la suspensión de la iniciación, en un plazo superior a cuatro meses (anteriormente eran seis), o la suspensión de las obras en un plazo superior a ocho meses.

El articulado mantiene lo previsto en el TRLCSP, según el cual el lucro cesante se tasa en el 2%, si se da el caso de no realizar el acta de replanteo, antes del inicio de la obra en un 3% y por último, en un 6% si se encuentra en fase de ejecución.

A continuación, en esta fase de Ejecución, se analiza el articulado, según los 5 actos más habituales que genera la ejecución de una obra: Certificaciones y abonos, Modificados y Obras Complementarias, Expedientes de Daños, Certificación Final de Obra y Revisión de Precios.

## 5.1 Certificaciones y abonos

El articulado que regula las certificaciones y el abono con alguna modificación es el siguiente:

- Artículo 198. Pago del precio. La demora de cuatro meses permite la suspensión y la demora, de seis meses en lugar de los ocho del TRLCSP, puede dar lugar a la resolución del contrato.

## 5.2 Modificados y Obras Complementarias

En referencia a los modificados y a los proyectos de obras complementarias nos encontramos la regulación de mayor calado en la nueva Ley [1], a tener en cuenta, es la siguiente:

- Artículo 203. Potestad de modificación del contrato. Además de por las razones de sucesión de la persona del contratista, cesión del contrato, revisión de precios y ampliación del plazo, la modificación tiene que ser por interés público siempre y cuando esté previsto en el pliego. En el caso de que sea preciso ejecutarlo de una forma distinta a la pactada se debe proceder a su resolución.
- Artículo 204. Modificaciones previstas en el pliego de cláusulas administrativas particulares.

Durante la vigencia del expediente, se puede modificar hasta un 20% del precio inicial, siempre y cuando el pliego lo contemple, pero con el condicionante que no podrá suponer el establecimiento de nuevos precios unitarios no previstos en el contrato. La cláusula del pliego, que permita la modificación, tiene que estar formulada y su contenido tiene que comprender el alcance exacto de la posible modificación. En ningún caso se puede alterar la naturaleza global del contrato inicial o ampliar de forma importante el ámbito del contrato: 15 % del precio inicial en obras y 10 % en servicios o que se supere el umbral permitido en las modificaciones.

- Artículo 205. Modificaciones no previstas en el pliego de cláusulas administrativas particulares.

En el caso de que se den prestaciones adicionales por circunstancias imprevisibles y modificaciones no sustanciales y las variaciones sean estrictamente indispensables. Cuando sea preciso añadir obras y siempre y cuando el cambio de contratista no fuera posible, por razones de tipo económico o técnico y no será inconveniente el precisar de una nueva licitación.

La modificación del contrato no puede superar el 50% del precio inicial y tiene que darse por circunstancias sobre venidas y que fuesen imprevisibles y además, tiene que demostrarse que una Administración diligente no hubiera podido prever.

No puede alterar la naturaleza global del contrato. Cuando las modificaciones no sean sustanciales es preciso justificar, especialmente, la necesidad de estas. Se considera sustancial cuando la modificación implica que hubiera habido, en el procedimiento inicial, candidatos distintos o una oferta distinta o más participantes o que la clasificación fuese diferente. También que altere el equilibrio económico del contrato en beneficio del contratista representando más del 50% del presupuesto de adjudicación o que se amplíe de forma importante el ámbito del contrato.

- Artículo 206. Obligatoriedad de las modificaciones del contrato. Cuando la cuantía no exceda del 20%, aislada o conjuntamente, la modificación será obligatoria para el contratista, siendo acordada por el OC.
- Artículo 207. Especialidades en los procedimientos. Cuando se produce la modificación del proyecto se deberá darse audiencia al redactor del proyecto y es obligatoria la publicación, de la modificación, en el PC.
- Artículo 242. Modificación del contrato de obras. La nueva Ley [1] complementa el articulado del TRLCSP [2] con aclaraciones y limitaciones varias, siendo la más significativa que en el caso de que las obras que van a sufrir modificación fuesen a quedar ocultas, el contratista lo comunicará a la intervención con un plazo previo mínimo de cinco días.

No se considera modificación el incremento en un 10% de las mediciones, lo cual mantiene lo legislado anteriormente. Ahora bien, tampoco se puede considerar como una modificación cuando los precios nuevos representen más de un 3% del presupuesto primitivo.

En el caso de que sea preciso realizar una suspensión temporal total de las obras y esto ocasione un grave perjuicio al interés público, se podrá acordar la continuación provisional de las mismas siempre y cuando no supere el 20% y en este caso, se dispondrá de seis meses para la aprobación técnica y ocho para la modificación del contrato.

### 5.3 Expedientes de Daños

En referencia a los expedientes de daños, el TRLCSP [2] era muy parco en su regulación y la nueva Ley [1] aporta poco más según el siguiente articulado: Artículo 208. Suspensión de los contratos.

Es preciso levantar un acta de oficio o a solicitud del contratista, reflejando las circunstancias de paralización que la motiva y la situación real de la obra.

Salvo que el pliego lo regule en contra, para el abono de los daños y perjuicios al contratista, se tendrá que acreditar los gastos fehacientemente: de la garantía definitiva, de los contratos de trabajo, los gastos salariales, los alquileres o costes de mantenimiento y un 3% de lo que se debería de haber ejecutado en el periodo de la suspensión, así como los gastos de la póliza de seguros.

Solo se abonarán de los períodos de suspensión, acreditados en acta y el derecho a reclamar prescribe en un año desde la orden de reanudar.

### 5.4 Certificación Final de Obra

La certificación final de obra no recoge novedades salvo en el Artículo 243. Recepción y plazo de garantía. La novedad más importante para las obras reside en que el valor estimado supere los 12 millones, y que la medición fuese compleja. El pliego puede contemplar ampliar el plazo de los tres meses desde la recepción a cinco meses para su aprobación por parte del OC.

## 5.5 Revisión de Precios

Su articulado se corresponde con el nº 103 al 106 y no aporta novedades importantes, salvo la de incrementar la obra ejecutada sin derecho a revisión, del primer año hasta ahora legislado a dos años. El resto se sigue rigiendo por la vigente Ley [6].

## 6. RECEPCIÓN Y LIQUIDACIÓN

En esta fase posterior a la terminación de las obras, la nueva Ley [1] legisla cambios sobre el TRLCSP [2]:

- Artículo 210. Cumplimiento de los contratos y recepción de la prestación. Se mantiene el plazo de un mes desde la terminación y es opcional que la intervención asista fijando en este acto el plazo de garantía.
- Artículo 244. Responsabilidad por vicios ocultos. El artículo define en 15 años el periodo de responsabilidad por daños estructurales y concreta que prescriben a los dos años desde que se manifiestan.

## 7. ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

- LCSP: Ley de Contratos del Sector Público.
- DEO: Director de Ejecución de la Obra.
- PC: Perfil del Contratante.
- TRLCSP: Texto Refundido de la Ley de Contratos del Sector Público.
- OC: Órgano de Contratación.

## 8. CONCLUSIONES

La Ley 9/2017, de 8 de noviembre, de Contratos del Sector Público, por la que se transponen al ordenamiento jurídico español las Directivas del Parlamento Europeo y del Consejo 2014/23/UE y 2014/24/UE, de 26 de febrero de 2014, salvo en los cinco puntos expresados en la Introducción, no contiene grandes novedades sobre la anterior legislación vigente quedando pendiente la publicación del Reglamento que debe regular su aplicación, con la duda de si va a implicar modificaciones sustanciales, o se va a mantener en el planteamiento que actualmente tiene.

Del análisis de la nueva Ley se desprende que la misma contempla y pone los medios para solucionar las practicas relacionadas con la corrupción pues obliga a que toda la tramitación del expediente sea publicada en el Perfil del Contratante del Órgano de Contratación.

Se aprecia como la nueva Ley ha incorporado la legislación impuesta por la Comunidad Europea con el objetivo de evitar las prácticas fraudulentas.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ley 9/2017, de 8 de noviembre, de Contratos del Sector Público, por la que se transponen al ordenamiento jurídico español las Directivas del Parlamento Europeo y del Consejo 2014/23/UE y 2014/24/UE, de 26 de febrero de 2014
- [2] Real Decreto Legislativo 3/2011, de 14 de noviembre, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Contratos del Sector Público.
- [3] Ley 30/2007, de 30 de octubre, de Contratos del Sector Público.
- [4] Real Decreto 1098/2001, de 12 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento General de la Ley de Contratos de las Administraciones Públicas.
- [5] Real Decreto Legislativo 2/2000, de 16 de junio, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Contratos de las Administraciones Públicas.
- [6] Ley 2/2015, de 30 de marzo, de desindexación de la economía española.

**PRIMERA PLATAFORMA DE CALIFICACIÓN DE ACTIVOS INMOBILIARIOS  
LA NUEVA FORMA DE ENTENDER EL SECTOR INMOBILIARIO A TRAVÉS  
DEL RIESGO SMART DATA REAL ESTATE RATING**

ANTUÑA GARCÍA, RICARDO

*Veltis Rating, S.L, Madrid, España*

*E-mail: presidente@veltisrating.com, Web: www.veltisrating.com*

**PALABRAS CLAVE:** Rating Inmobiliario, Gestión Riesgo, Análisis Riesgos.

**RESUMEN**

Un rating o calificación inmobiliaria es una opinión relacionada con la capacidad de generar rendimiento inmobiliario que tiene un territorio, un desarrollo o un activo inmobiliario. Esta opinión es emitida empleando un sistema y terminología aceptados internacionalmente, siendo así entendible para operadores nacionales e internacionales y aportando transparencia y confianza. El mercado inmobiliario debe ser eficiente y equitativo para todos los agentes que interviene en él. Una agencia de calificación de riesgos inmobiliarios juega un rol informativo importante en este mercado logrando aportar independencia y transparencia.

Las opiniones independientes en forma de calificaciones inmobiliarias, relacionadas con la confianza que puede aportar el sector inmobiliario como inversión a nivel país, comunidad autónoma, provincia, ciudad, distrito, barrio, vivienda, local, etc. Un activo con Rating AAA tiene 99,94% de probabilidad de generar la rentabilidad esperada y un activo con Rating CC un 18,4%.

Hoy en día es una realidad contar con novedosas metodologías fundamentadas en la teoría general del riesgo, aplicado al análisis masivo de datos como claves para la gestión del territorio y la toma de decisiones. La integración de la información en un sistema de ges-

tión y análisis del riesgo al servicio de los operadores del sector inmobiliario, facilitará que las herramientas de planificación incorporen una visión más realista del escenario actual y futuro, alejada de la mera especulación o intuición infundada.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las herramientas tradicionalmente empleadas en el análisis de inversiones en el sector inmobiliario son la due dilligence, la tasación y el análisis económico. La crisis ha puesto de manifiesto deficiencias en los métodos tradicionales de valoración, que deben estar abiertos a los avances que se producen en las finanzas (Gómez-Bezares, Gómez-Bezares y Jiménez, 2015). El rating inmobiliario es una nueva herramienta adicional a las ya existentes y proporciona, a diferencia de las anteriores, un exhaustivo análisis cualitativo y cuantitativo de los riesgos que afectan o pueden afectar a un activo inmobiliario, permitiendo además actuar a nivel de escalas geográficas más amplias, como barrio, ciudad, comunidad autónoma o país.

En el sector financiero el análisis de riesgos es llevado a cabo por agencias de rating. Estas agencias desempeñan un papel importante en los mercados financieros, ayudando a reducir uno de sus principales fallos: la información imperfecta (López, 2009). Su ámbito de actuación es el de las finanzas, aunque en los últimos años ha irrumpido en el mercado un tipo de agencia que desarrolla una actuación, el rating inmobiliario, hasta ahora inédita en la actividad de los agentes que intervienen en el proceso de gestión económica de las inversiones inmobiliarias.

En el sector financiero, las agencias de rating son suministradoras de información. Su labor consiste en emitir, a través de sistemas basados en la valoración de expertos, opiniones sobre la calidad crediticia de títulos, empresas o incluso de Estados (Polo, 2011). En el sector inmobiliario la calificación del activo resultado de un rating, aporta un indicador en función de su capacidad de proporcionar la rentabilidad exigida a la inversión. A otras escalas geográficas superiores a la de activo concreto: barrio, ciudad, comunidad y país, el proceso de calificación de rating inmobiliario tiene como objetivo aportar transparencia, conocimiento, fiabilidad y confianza. La aportación de estas cualidades se basa en el suministro de información independiente relativa a las fortalezas, debilidades, amenazas y oportunidades de cada ámbito analizado. La finalidad es minorar los riesgos que pueden llegar a asumir cualquier agente que opere en el sector, como la banca, fondos de inversión, promotores, socimis, o una administración pública en su proceso de acometer una mejora de barrios o el desarrollo de una ciudad o territorio a través de un plan general o parcial.

El rating inmobiliario proporciona una metodología de análisis basada en la teoría general de gestión del riesgo, que persigue identificar, cuantificar y optimizar la estructura de riesgos vinculada a un activo inmobiliario o a ámbitos territoriales de escalas más amplias.

### 1.1 Diferencia entre un Rating Inmobiliario y un Rating Crediticio

**Rating crediticio:** Determina la capacidad que tiene una empresa o un país de generar rentabilidad para poder hacer frente a su deuda emitida, teniendo en cuenta los riesgos vinculados al balance, cuenta de resultados, etc.

**Rating inmobiliario:** Determina la capacidad que tiene un activo inmobiliario de generar rentabilidad para hacer frente a los beneficios esperados, teniendo en cuenta sus riesgos inmobiliarios vinculados.

## 2. METODOLOGÍA DEL PROCESO DE GESTIÓN DE RIESGOS Y EL RATING INMOBILIARIO

El concepto de riesgo tiene diferentes acepciones. Según la norma UNE-ISO 31000:2010 Gestión del riesgo - Principios y directrices, es el efecto de la incertidumbre sobre la consecución de los objetivos. El efecto se refiere a una desviación respecto a lo previsto y los objetivos pueden considerarse desde diferentes puntos de vista como el financiero, la calidad o la seguridad y salud, siendo posible aplicarlo a diferentes niveles: una organización completa o un proyecto, producto o proceso. Para el Project Manager Institute (2013) riesgo es todo evento o condición incierta que, si sucede, tiene un efecto sobre, al menos, un objetivo del proyecto. El concepto de riesgo en el contexto del rating inmobiliario se define como aquel evento incierto que puede afectar al rendimiento de la inversión inmobiliaria. En ámbitos territoriales más amplios que el de activo objeto de inversión, riesgo es todo evento incierto que puede afectar a los objetivos que se han previsto para ese ámbito. La concepción tradicional de los riesgos como algo negativo es actualmente diferente, por lo que estos pueden ser igualmente positivos, de tal manera que la labor del gestor será reducir los negativos y potenciar los positivos.

En la fase de identificación se trata de localizar y registrar aquellos eventos que puedan tener afección en los objetivos; en la de análisis se comprenden los riesgos y se valoran; en la evaluación se compara el nivel de riesgo con un estándar definido previamente y se plantea la necesidad de llevar a cabo acciones para modificar el nivel de riesgo; con el tratamiento se seleccionan las acciones a emprender y se ponen en práctica; en la etapa de seguimiento se vigila cómo marcha el proceso y la efectividad de las acciones. A estas cinco fases del proceso global de gestión del riesgo, la norma UNE-ISO 31000:2010 Gestión del riesgo - Principios y directrices, antepone una fase previa, el establecimiento del contexto. En ella se establecen entre otras cuestiones, los criterios de riesgo que permitirán en la fase posterior de evaluación, determinar si es necesario llevar a cabo acciones para modificar el nivel de riesgo.

Para la fase de valoración del riesgo se emplean diferentes opciones. La forma más habitualmente empleada para el modelado del riesgo es el producto de su probabilidad de ocurrencia (P) por el impacto (I) o consecuencias del riesgo. De esta manera el valor total del riesgo (R) es:

$$R = P \times I \quad (1)$$

Los diferentes modelos proponen igualmente diferentes escalas para la graduación de la probabilidad e impacto.

El rating inmobiliario es un proceso de análisis basado en la teoría general de gestión de riesgos, que obtiene como uno de sus resultados una opinión sobre la fiabilidad de un activo inmobiliario como inversión, es decir, un indicador de la capacidad que tiene el activo analizado de satisfacer el rendimiento que espera obtenerse de la inversión. Esta opinión se basa en una investigación de los diferentes riesgos que tienen vinculados los activos. Los objetivos de dicha investigación son: identificar y comprender las variables que

pueden impactar en el activo, definir aquellas que suponen un riesgo y valorarlas en base a su probabilidad de ocurrencia e impacto, con la finalidad de determinar las repercusiones en la rentabilidad de la inversión. Complementariamente la labor de la agencia de rating inmobiliario es: determinar el uso o usos óptimos a implantar en el activo, proponer acciones de mejora para reducir los riesgos negativos y potenciar los positivos; monitorizar el proceso de transformación del estado de riesgos inicial al optimizado, estado este último, en el que se han implementado las acciones de mejora; determinar un valor del activo analizado como inversión en base a sus riesgos vinculados, lo que se define como Valor en riesgo (VaR).

### **3. RESULTADOS E INFORMACIÓN QUE SE OBTIENE CON UN RATING INMOBILIARIO**

El primer paso consiste en identificar todas las variables susceptibles de afectar al rendimiento esperado de la inversión inmobiliaria. Estas variables determinarán la estructura de riesgos inmobiliarios asociada al activo, pudiendo ser sistemáticas y específicas. Las sistemáticas son aquellas externas al activo y que afectan a su entorno de influencia. Las variables específicas son aquellas propias del activo que se analiza.

Entre las variables sistemáticas se encuentran:

- Relativas a la comercialización: capacidad de absorción de la demanda suficiente para la oferta existente y futura, capacidad de captación de demanda, etc.
- Políticas: índice de estabilidad política a diferentes escalas geográficas, existencia de líderes de opinión que puedan tener influencia sobre el desarrollo del activo para su posterior comercialización, etc.
- Socioeconómicas: tipo de interés, inflación, tipo de cambio, evolución de la tasa de ahorro, etc.
- Legislativas y fiscales, aquí se tienen en cuenta las posibles afecciones sobre el activo relativas a estos conceptos.
- Administrativas: plazos de tramitación de licencias, autorizaciones de compañías suministradoras, etc.
- Del entorno: existencia de dotaciones adecuadas en el entorno o de afecciones como la existencia de antenas de telefonía, zonas de malos olores, etc.

Entre las específicas están:

- Relativas al activo: si las edificabilidades consideradas por el agente que promueve un inmueble están bien determinadas y se corresponden con las óptimas, o si las condiciones geotécnicas del terreno pueden afectar al activo, etc.
- Relativas a la adquisición: si existen problemas relacionados con la estructura de la propiedad del activo o hay limitaciones de uso.
- Relativas a la idoneidad de los agentes que intervienen en la gestión, diseño o materialización del proyecto: equipo de gestión del proyecto, proyectista, dirección facultativa, empresas constructoras, etc.

Para el desarrollo de esta etapa de identificación de la estructura de riesgos, se parte de una matriz en la que se consideran en torno a cien variables de riesgo. No obstante, esta

estructura de riesgos no es única y fija, sino que ha de adaptarse a las particularidades de cada activo y zona analizada. La metodología prevé que puedan introducirse en la operativa de trabajo otras posibles variables que pudieran identificarse.

Los datos obtenidos para los análisis se basan en el empleo de sistemas de big data, informaciones previas existentes sobre el activo y la operación analizada, así como otras provenientes de instituciones públicas y privadas, fuentes bibliográficas específicas, datos tomados a pie de calle, etc. Toda esta información es procesada y filtrada por analistas locales expertos formados específicamente en el análisis de riesgos inmobiliarios, al objeto de extraer aquella que sea sensible, exacta y necesaria para el análisis de las variables. A su vez la información es contrastada por la agencia de calificación que verifica su exactitud y establece un margen de error asociado a la misma.

### 3.1 Análisis y evaluación de riesgos

El primer análisis de esta etapa consiste en determinar si las variables identificadas son características del activo o riesgos. Las características son aquellas variables que se pueden cuantificar económicamente y pasar a formar parte de la operación inmobiliaria analizada como un gasto o ingreso más. Los riesgos son variables que no han podido ser cuantificadas económicamente de forma concreta y sus afecciones en el activo se traducen en un porcentaje de la rentabilidad exigible a la inversión. Cuanto mayor sea la cantidad y nivel de los riesgos, más rentabilidad habrá de ser exigida a la inversión y por tanto menor será el valor del activo.

Para desarrollar la etapa de análisis se parte de un modelo de inversión de referencia, que describe un conjunto de variables normales, tradicionales y estándar, representativas del ámbito de afección del activo. Es decir, el modelo es un conjunto de variables habituales que se darían en una inversión inmobiliaria determinada en un ámbito concreto. En esencia, la comparación de las variables del activo analizado con el modelo determinará si suponen riesgo, en función de si son distintas al modelo y no se puede determinar de forma precisa la cuantía de su repercusión económica en el activo. Por ejemplo, en la variable *plazo de concesión de licencia de obra*, si el modelo establece que el plazo medio es de cuatro meses, y en la localidad del activo analizado dicho plazo es mayor, y este se puede definir de forma precisa, la variable será una característica negativa. Este aumento del plazo se traducirá en unos mayores costos. En caso de que no se pueda definir de forma concreta el plazo de concesión, la variable será un riesgo negativo, ya que hay incertidumbre sobre la cuantía del incremento de coste que supondrá.

Una vez se determine si las variables identificadas son riesgos o características, se procede a clasificar los riesgos en función de si su afección es relativa a gastos, ingresos y/o al tiempo. De igual forma se clasifican los riesgos en función de si son sistemáticos y positivos: oportunidades; sistemáticos y negativos: amenazas; específicos y positivos: fortalezas; o específicos y negativos: debilidades. Una vez clasificados los riesgos se analizan cualitativa y cuantitativamente.

El análisis cualitativo determina su probabilidad de ocurrencia e impacto. En ambos casos la escala de valoración tiene cinco niveles que oscilan entre muy bajo y muy alto. El impacto del riesgo representa su afección a la rentabilidad de la inversión. El nivel final de cada riesgo analizado es el producto de su probabilidad e impacto (ecuación 1) y determina si el riesgo es alto, moderado o bajo.

Este tipo de modelado del riesgo probabilidad-impacto es el que se ha impuesto en los últimos años (Tauron, 2014). A pesar de ser el modelo tradicional, en los años recientes han surgido otras tendencias en el análisis de riesgos, como la basada en las organizaciones de alta confiabilidad. Uno de los fundamentos de estas tendencias es el concepto de la resistencia a simplificar, que hace referencia a que los resultados del análisis no pueden ser solo interpretados en base a simples números resultado de un producto de probabilidad por impacto, sino que además hay que tener en cuenta otras consideraciones. Este fundamento trata de evitar que haya riesgos de alto impacto y muy baja probabilidad que queden sin gestionar, debido a que el producto de ambas magnitudes refleje un valor muy bajo que implique no ser gestionado en base a un criterio fijo preestablecido. Para tener en consideración esta cuestión el rating inmobiliario introduce controles adicionales, como considerar unos rangos parciales de ambas magnitudes, además de los valores totales del producto de  $P \times I$ . El rebasarlos en algún factor de riesgo analizado, implica situar fuera de rango el nivel de riesgo total, por lo que la calificación del activo inmobiliario analizado implicaría que no dispone de capacidad de generar rendimiento inmobiliario.

El siguiente análisis de riesgos de esta etapa es el cuantitativo. Este implica una evaluación o valoración de sus afecciones sobre la rentabilidad de la operación. El valor final de cada riesgo analizado: alto, moderado o bajo, se corresponde con una rentabilidad media a exigir a la operación en función del tipo de negocio: promoción, patrimonio o urbanismo. La rentabilidad agregada de todos los riesgos, es la que habría que exigir a la operación y se obtiene mediante una matriz de comportamiento del activo, en la que se vuelcan todos los datos de los análisis. En esta matriz se automatizan los cálculos a través de una herramienta informatizada mediante algoritmos, en los que se tienen en cuenta diversos factores como la ponderación de los riesgos, las relaciones entre ellos, el área de negocio en el que nos movamos o el uso al que se vaya a destinar el inmueble. La metodología de trabajo implica monitorizar continuamente las tendencias del mercado y las exigencias de los agentes a los capitales invertidos, pudiendo ajustar las correspondencias *valor final de riesgo-rentabilidad a exigir* y las ponderaciones de los riesgos.

El resultado de esta fase, además de una tasa porcentual de rentabilidad exigible a la operación, es la estructura de riesgo asociada al activo: ADN-Inmobiliario, cuya representación gráfica se indica en la figura 1.

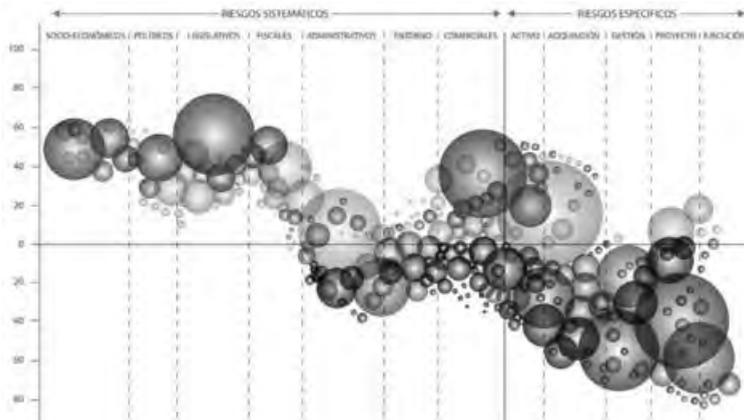


Figura 1: ADN - Inmobiliario.

Esta representación gráfica de los riesgos permite un control visual de la influencia de cada uno de ellos sobre el activo. El eje horizontal representa todos los riesgos, divididos por categorías. El eje vertical representa la probabilidad de ocurrencia del riesgo, que se divide en cinco opciones que equivalen a muy baja, baja, media, alta y muy alta. Este eje vertical está dividido en dos zonas por un eje correspondiente al nivel cero. La zona superior se corresponde con los riesgos negativos y la inferior con los positivos. Cuanto más alejada esté una esfera del nivel central cero, más elevada será su probabilidad. El color de las esferas representa el impacto del riesgo, los colores más intensos indican más impacto y viceversa. El diámetro de las esferas equivale al nivel de riesgo total, producto de  $P \times I$ . Esta operativa de trabajo permite controlar visualmente y en tiempo real la estructura de riesgos asociada al activo.

### 3.2 Tratamiento del Riesgo

Esta etapa del rating inmobiliario tiene por objetivo optimizar el activo objeto de análisis. Optimizar un activo inmobiliario consiste en minimizar su estructura de riesgos vinculados y determinar el uso que tiene una mejor proporcionalidad entre rentabilidad y riesgo en función al perfil del inversor (Antuña, 2017). Para llevar a cabo la optimización del activo se determina, en base a la estructura de riesgos que tiene vinculada, el Proyecto Económico Óptimo, que es aquel cuyo uso o usos proporcionan una mejor rentabilidad según el tipo de inversor. También se establecen y aplican acciones de mejora respecto a los diferentes riesgos vinculados al activo. Estas acciones producen una transformación del ADN-Inmobiliario inicial en optimizado, al modificarse la probabilidad e impacto de los riesgos. A su vez se produce una reducción de la rentabilidad exigible a la operación, ya que es más segura como consecuencia de la reducción de los riesgos.

### 3.3 Monitorización del Riesgo

En esta fase se lleva a cabo un control dinámico de los riesgos asociados al activo. Se monitoriza la transformación del ADN-Inmobiliario inicial en ADN-Inmobiliario optimizado, permitiendo un control visual en tiempo real de la estructura de riesgos conforme se van implementando las acciones de mejora. En el estado final ya se han implementado todas las acciones. Las figuras 2 y 3 representan ejemplos del estado inicial y optimizado de un ADN-Inmobiliario.

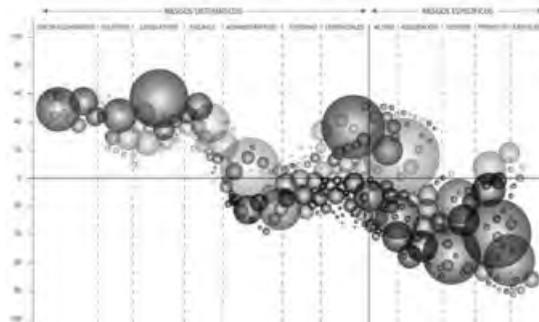


Figura 2: ADN – Inmobiliario inicial

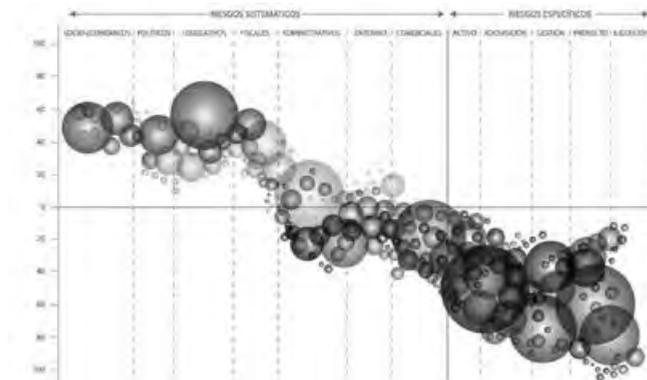


Figura 3: ADN – Inmobiliario Optimizado

Este proceso de rating inmobiliario también implica la determinación del valor en riesgo del activo y su calificación. El valor en riesgo es el valor que puede tener el activo considerando la estructura de riesgos que lleve vinculada. Este valor se establece en base a la tasa de rentabilidad exigible a la inversión inmobiliaria, obtenida en el proceso de análisis y evaluación de riesgos. El máximo valor en riesgo es el obtenido con la tasa de rentabilidad optimizada, en la que se han implementado las acciones de mejora. La diferencia entre este valor máximo y el obtenido con la rentabilidad inicial, es decir sin optimizar, es el margen de mejora del valor del activo en base a una estructura de riesgos a la que se han aplicado acciones para modificar el nivel de los riesgos.

### 3.4 Valor en riesgo del activo y calificación inmobiliaria

Este proceso de rating inmobiliario también implica la determinación del valor en riesgo del activo y su calificación. El valor en riesgo es el valor que puede tener el activo considerando la estructura de riesgos que lleve vinculada. Este valor se establece en base a la tasa de rentabilidad exigible a la inversión inmobiliaria, obtenida en el proceso de análisis y evaluación de riesgos. El máximo valor en riesgo es el obtenido con la tasa de rentabilidad optimizada, en la que se han implementado las acciones de mejora. La diferencia entre este valor máximo y el obtenido con la rentabilidad inicial, es decir sin optimizar, es el margen de mejora del valor del activo en base a una estructura de riesgos a la que se han aplicado acciones para modificar el nivel de los riesgos.

El cálculo del valor en riesgo se lleva a cabo a través de una cuenta de resultados o balance económico de una operación en un período temporal determinado. El valor en riesgo se determina de forma residual como un gasto más en base a una estructura de gastos, ingresos y un beneficio de la operación. El caso más sencillo de una cuenta de resultados parte de los diferentes ingresos y gastos, y obtiene el beneficio positivo o negativo, como diferencia entre ambos. Este beneficio dividido entre los costes da como resultado la rentabilidad de la operación, cuya cuantía en porcentaje, se corresponde con la tasa de rentabilidad calculada en base a los riesgos durante el proceso descrito anteriormente.

Cuando este desarrollo inmobiliario implica operaciones dilatadas en el tiempo, es necesario hacer los cálculos de valor en riesgo del activo a través de una cuenta de resultados dinámica. Este valor en riesgo se obtiene de forma residual como valor actual neto de los

flujos de caja de los diferentes períodos de tiempo que comprende el desarrollo inmobiliario. Los flujos de caja se actualizan a una tasa de actualización equivalente a la tasa de rentabilidad obtenida en el proceso de análisis en base al riesgo, obteniendo así el valor en riesgo del activo.

El proceso de rating aporta además una calificación inmobiliaria. La calificación es un indicador de la capacidad del activo para la obtención de la rentabilidad exigible a la inversión. Las opciones de calificación empleadas en el rating inmobiliario son similares a las utilizadas en el sector financiero. En la tabla 2 se indican estas equivalencias.

Tabla 1: Opciones de calificación en el rating inmobiliario.

Calificación	Significado
AAA	Capacidad extremadamente fuerte de proporcionar la rentabilidad exigida
AA+ AA AA-	Muy fuerte capacidad de proporcionar la rentabilidad exigida
A+ A A-	Fuerte capacidad de proporcionar la rentabilidad exigida
BBB+ BBB BBB-	Adecuada capacidad de proporcionar la rentabilidad exigida
BB+ BB BB-	Expuesto a factores que pueden deteriorar su capacidad para proporcionar la rentabilidad exigida
B+ B B-	Expuesto a factores que lo llevarán a un deterioro de su capacidad para proporcionar la rentabilidad exigida
C	Sin capacidad para proporcionar la rentabilidad exigida

#### 4. CONCLUSIONES

Tras el estudio realizado del rating inmobiliario y las posibilidades de la plataforma tecnológica como técnica adicional a las ya existentes para el análisis de las inversiones inmobiliarias, se concluye que se configura como una prometedora herramienta y metodología de trabajo, aportando ventajas significativas entre las que se incluyen:

Un exhaustivo análisis cualitativo y cuantitativo de los múltiples riesgos sistemáticos y específicos que pueden afectar a un activo inmobiliario. Permite actuar además a diferentes escalas geográficas, como solar o inmueble, barrio, ciudad, comunidad autónoma o país.

Una calificación del activo inmobiliario en base a su capacidad para generar la rentabilidad exigida a la inversión. A una escala geográfica de análisis superior a la de inmueble, el rating inmobiliario es un mecanismo para detectar debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades de los ámbitos analizados. Por lo tanto, es una herramienta de utilidad tanto para los agentes involucrados en negocio inmobiliario, como para las administraciones públicas. Aporta además un valor del activo objeto de inversión en base a la estructura de riesgos que tenga asociada.

Acciones de mejora sobre la estructura inicial de riesgos asociada al inmueble o ámbito analizado, que la transforma en una estructura optimizada. En esta última se obtiene la mejor relación entre rentabilidad y riesgo en función del perfil del inversor. Esta estructura de riesgos, ADN-Inmobiliario, se representa además de forma gráfica permitiendo controlar

visualmente y en tiempo real el estado de los riesgos durante la monitorización del proceso de transformación de estado inicial al optimizado.

## 5. REFERENCIAS

- AIRMIC, ALARM & IRM. (2003). Estándares de Gerencia de Riesgos. Brussels: Federation of European Risk Management Associations. Obtenido el 21 de noviembre de 2014 desde <http://www.ferma.eu/app/uploads/2011/11/a-risk-management-standard-spanishversion.pdf>
- Antuña, R. (2017). Guía de los fundamentos para la gestión de riesgos inmobiliarios. A Coruña: Eirisk Eupean Institute Real State Risk Management.
- Asociación Española de Normalización y Certificación. (2010). UNE-ISO 31000. Gestión del riesgo. Principios y directrices. Madrid.
- Association for Project Management. (2000). Project Risk Analysis and Management., Buckinghamshire: Association for Project Management. Obtenido el 21 de noviembre de 2014 desde [http://www.fep.up.pt/disciplinas/PGI914/Ref\\_topico3/ProjectRAM\\_APM.pdf](http://www.fep.up.pt/disciplinas/PGI914/Ref_topico3/ProjectRAM_APM.pdf)
- Taroun, A. (2014, Enero). Towards a better modelling and assessment of construction risk: Insights from a literature review. International Journal of Project Management, 32, 101-115.



## ÁREA VI.

REHABILITACIÓN DE EDIFICIOS. EFICIENCIA  
ENERGÉTICA, ACCESIBILIDAD, CONSERVACIÓN Y  
RESTAURACIÓN

**LAS TERMAS ROMANAS DE MURA EN LLÍRIA (VALENCIA). UN DOBLE  
COMPLEJO TERMAL Y UN SANTUARIO ORACULAR ÚNICO  
EN LA *HISPANIA CITERIOR***

TORMO ESTEVE, SANTIAGO

*Universitat Politècnica de València, Valencia, España*  
*E-mail: santores@arq.upv.es, Web: santores@arq.upv.es*

**PALABRAS CLAVE:** Funcionalidad, comportamiento térmico, termas romanas, Lliria.

**RESUMEN**

Las termas romanas de Mura, localizadas en la ciudad romana de *Edeta* (Lliria), conjuntamente con el santuario oracular colindante y diversas dependencias como tabernas, hospicios y tiendas, constituyen uno de los ejemplos más interesantes de la arquitectura termal de la *Hispania Citerior*, dentro del *Conventus Tarraconensis*. Estas termas forman parte de uno de los complejos termales más grandes documentados hasta la fecha en toda la península, distribuyendo en un total de 3.600 m<sup>2</sup>, un espacio polifuncional con unas termas dobles con palestra porticada siguiendo los modelos pompeyanos. En estos edificios termales el agua y el fuego son utilizados con una gran destreza y pericia constructiva para desarrollar un complejo sistema de calefacción mediante espacios entre los muros y conductos entre las bóvedas, consiguiendo un óptimo y eficiente uso de los materiales y de la energía calorífica que se transmite a través de los mismos. Los materiales y sistemas constructivos se han podido estudiar con detalle gracias a las distintas campañas de excavaciones arqueológicas iniciadas en 1971 y sobre todo a la última intervención arquitectónica finalizada en el año 2014, cuyo objetivo ha sido conservar y consolidar los restos arquitectónicos del edificio y adecuarlos para una puesta en valor digna, acorde con la envergadura del yacimiento. Durante los años 2014-2017, los trabajos de investigación desarrollados

para obtener la tesis doctoral dentro del programa de doctorado en arquitectura, edificación, urbanística y paisaje de la UPV [1], han permitido ampliar los conocimientos técnicos y adaptar su arquitectura a modelos informáticos capaces de simular el funcionamiento y el comportamiento térmico de todo el edificio. Las conclusiones son sorprendentes ya que estipulan por primera vez, la apertura secuencial de los sistemas de comunicación entre las salas y sus conductos de comunicación entre los hornos y el exterior para un correcto funcionamiento de la instalación.

## 1. INTRODUCCIÓN

*Edeta* es el nombre de la antigua ciudad romana ubicada en la actual ciudad de Lliria. Se encuentra al norte de la provincia de Valencia. Capital de la comarca del Camp de Turia con uno de los términos municipales más grandes de la Comunidad Valenciana y con un gran patrimonio histórico cultural y musical. Dio nombre a un territorio muy amplio en época ibera. Sus habitantes se conocieron como edetanos. Posteriormente tras la conquista por parte del imperio romano, *Edeta* mantuvo su nombre y paso a ser un municipio de derecho latino dentro del *Conventus Tarraconensis*. Muy vinculada con las ciudades de *Saguntum*, *Valentia* y *Saetabis* (*Xàtiva*).



Figura 1 y 2: Ubicación y situación de la comarca y ciudad de *Edeta*.

Esta población tuvo una extensión considerable teniendo una posición predominante en el comercio que circulaba desde el mar al interior de la península. A mediados del siglo II d.C y gracias a la figura del General Marco Cornelio Nigrino, pretendiente al trono de Emperador de Roma, la ciudad vivió su máximo esplendor tanto a nivel social como a nivel arquitectónico, construyendo edificios de gran porte y envergadura del que tan solo nos queda el testimonio del complejo termal y santuario oracular de Mura. Ubicado en la vía de acceso noreste de la ciudad, este gran complejo termal y religioso se extiende sobre más de 3.500 m<sup>2</sup> a pocos metros del centro de la ciudad. Estaba compuesto por unas termas dobles, una gran palestra, y un conjunto de edificios alrededor del santuario oracular.

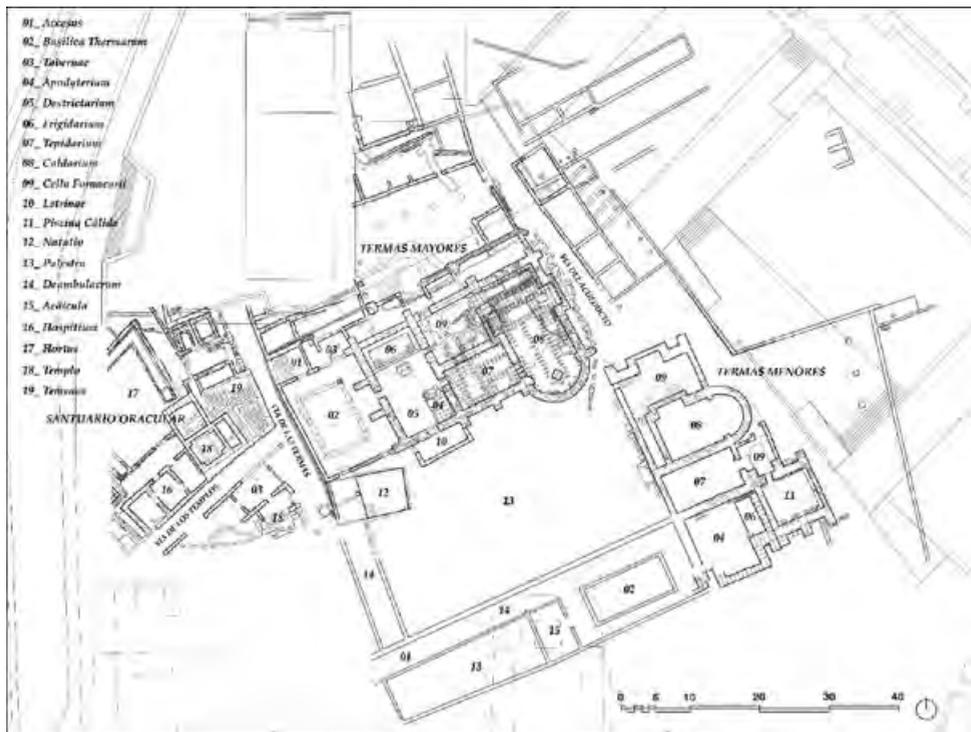


Figura 3: Planta del complejo de Mura.



Figura 4: Reconstrucción del complejo termal de las termas mayores de Mura a partir del modelo arquitectónico de Julián Esteban y Elisa Moliner.

Autor: Global Mediterránea, S. L. [2]

## 2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

El objetivo principal de esta investigación se ha centrado en poder averiguar cual es el mecanismo de encendido de una terma romana determinando el protocolo de aperturas de conductos de ventilación, tiempos de encendido del fuego, cantidades de combustible y determinar la eficiencia energética al comprobar las temperaturas en cada una de las salas.

La metodología seguida se basa en la aplicación de los programas informáticos FDS (*fire dynamic simulator*) y *Smokeview*, los cuales simulan y calculan sobre un modelo introducido las ecuaciones que definen la dinámica de fluidos computacional (CFD) resolviendo las situaciones generadas por conducción, convección y radiación dentro de las termas romanas.

## 3. TERMAS MAYORES

Las termas mayores son una construcción que cierra el conjunto termal por el noroeste y ocupa una superficie aproximada de 2.100 m<sup>2</sup>, de los cuales 1.200 m<sup>2</sup> pertenecen al edificio termal propiamente dicho y los 900 m<sup>2</sup> restantes a dependencias para el mantenimiento del conjunto y la palestra. El edificio termal compositivamente consta de dos cuerpos: las estancias de baño y servicio (*caldarium, tepidarium, frigidarium, apoditerium, cella fornacarii* y letrinas) y el cuerpo de entrada y palestra (*basilica thermarum, tabernae, natatio, palestra*). La entrada del público estaba situada en la calle de las Termas por donde se ingresaba a la primera estancia de las termas, una especie de vestíbulo, que se podría denominar también *accessus* o *ingresus*, cuenta con una escalinata de siete escalones que permite salvar el desnivel del edificio con respecto a la calle. Este vestíbulo con pavimento de losetas cerámicas romboidales es una sala de planta rectangular (4,67 m de largo por 3,73 o 3,84 m de ancho), situada entre la puerta de la calle (*porta thermarum*), de doble hoja y una luz de 2,07 m, y la puerta interior (*ostium*), definida por un umbral de piedra caliza que muestra aún las marcas de haber tenido una puerta de doble hoja con una luz de 1,40 m a través de la cual se accedía a la *basilica thermarum* [3].



Figura 5: Distribución y recorrido de las termas mayores.

Constructivamente los paramentos que definen las salas están realizados con técnicas diversas. El muro norte es de *opus quadratum*, confeccionado a base de sillares de piedra caliza (150 cm de soga por 65 cm de tizón y 50 cm de espesor) de procedencia local trabados en seco, dispuestos en hiladas horizontales que asientan directamente sobre el terreno natural. El muro sur es un *opus incertum*, con bloques de piedra pequeños, irregulares, trabados con mortero de cal. A su vez el muro este es de obra mixta, la hilada inferior está realizada *opus quadratus* con tres grandes sillares de piedra dolomítica azulada de Alcublas (120 cm de soga, 55 cm de tizón y 40 cm de espesor), la segunda hilada es *opus vittatum* compuesta de sillarejo que alterna la piedra azul con la caliza local (23/24 cm de alto por 31/32 cm de largo y 17 cm de grosor) mientras que la tercera fila vuelve a ser a base de sillares de piedra caliza del lugar. En ocasiones aparecen sillares de piedra arenisca silícea de rodeno.

La gran tipología de material cerámico aparece perfectamente justificada según su funcionalidad y uso. Del total de las 12 tipologías encontradas las más singulares por su forma son las piezas *cunneati*, piezas en forma de cuña que superponiéndolas una sobre la otra, generaban los arcos con los que se construían la *suspensura* del *hypocaustum*.

Hay que destacar también, los sistemas constructivos que permiten la calefacción de las salas tanto del *caldarium* como del *tepidarium*. La principal característica radica en la necesidad de permitir circular el aire caliente para calefactar por conducción los materiales que componen el *hypocaustum* y las paredes, aportando una mayor temperatura en dichas salas. El sistema es sencillo y basado en los principios que rigen la termodinámica. Desde los distintos hornos situados en los extremos de las salas, se genera la circulación de aire gracias a la convección del aire caliente que fluye por los espacios diseñados en las paredes y por los conductos de ventilación dispuestos en los muros de cada sala.

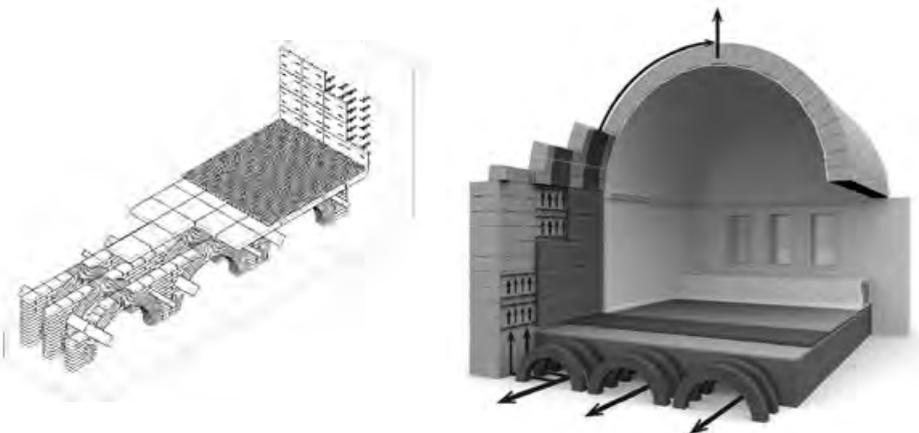


Figura 6 y 7: Esquema constructivo del *hypocaustum* del *caldarium* y de la circulación por la *concameratio*.

#### 4. COMPORTAMIENTO TÉRMICO E HÍDRICO

Para poder averiguar los comportamientos térmicos de los materiales se hicieron varios experimentos. El primero consistió en medir la conductividad térmica real de un resto del pavimento del suelo del *caldarium*. Se fabricó una caja de poliestireno con una resistencia eléctrica que le diera la potencia equivalente de calor para conseguir una temperatura superficial de 40°C. Con ello conseguimos elaborar un balance de energía que permitía saber la cantidad de pérdidas de energía que se producían en todas las caras la caja y la cantidad de calor que tenía la muestra. Con este dato y despejando los valores en la ecuación de la ley de Fourier se pudo obtener el valor de la  $k$ , conductividad térmica real del pavimento de la sala caliente.

Otro experimento permitió comparar el comportamiento térmico de distintos pétreos utilizados en la construcción del edificio. Se pudo constatar que los materiales pétreos utilizados en las zonas más próximas al fuego eran lo que mejor resistían el choque térmico y aquellos con gran inercia térmica eran utilizados para las zonas de las paredes de los muros.

Con estos dos ensayos se pudo concluir cuales eran los valores reales, tanto de materiales en particular como de sistemas constructivos y con los datos obtenidos poder utilizarlos posteriormente en la simulación informática que nos determina su funcionalidad.



Figura 8 y 9: Experimento realizado para averiguar el valor de “ $k$ ” del pavimento de la sala del *caldarium*.

En cuanto al comportamiento hídrico de la instalación, las investigaciones realizadas pudieron determinar el recorrido de entrada y salida que realiza el agua desde el punto de abastecimiento hasta el punto de desagüe que conecta con la red de alcantarillado realizado por los romanos. Debido a la necesidad de distribuir el agua en distintas alturas se pudo constatar la existencia de una noria que elevaba un determinado caudal en las tuberías de que tenían una mayor altura. Dicho mecanismo se situaba en la zona de servicio y estaba compuesto por dos grandes depósitos y una noria vertical que mediante un movimiento de giro elevaba la cantidad de agua a distribuir.

La investigación también se ha centrado en asegurar el punto de captación de agua y que dicho abastecimiento ha sido cuantificado para permitir certificar que el consumo de agua que la instalación necesitaba no superaba al caudal que podía transportar el conducto. La principal hipótesis que se ha podido constatar es que dicho punto se situaba en el parque de Sant Vicent, a escasos km de la ciudad y que su afloramiento y topografía lo consideraban como la opción más factible y óptima de abastecimiento a la ciudad.



Figura 10 y 11: Esquema de abastecimiento y evacuación de agua en las termas mayores.

## 5. FUNCIONALIDAD

El análisis realizado para simular un encendido de los hornos en las termas, se ha realizado mediante dos programas informáticos que analizan la dinámica de fluidos por elementos finitos y que, según el modelo arquitectónico, y los datos introducidos, nos pueden acercar a saber el correcto y óptimo funcionamiento que pudieron tener las salas calientes de las termas. Es difícil corroborar que las hipótesis planteadas fueran las que realmente se llevaran a cabo en la época romana. Lo que sí podemos saber es si esas hipótesis son funcionales o no, ya que el resultado obtenido, dependiendo de los datos reales conocidos, nos indicará si siguen los principios en los que se basa la termodinámica y la dinámica de los fluidos.

El software empleado en todas las simulaciones correspondientes en la investigación ha sido ejecutado en los dos programas siguientes:

- Fire Dynamics Simulator – FDS 5.0.
- Smokeview.

El primero corresponde a un programa que simula y calcula, sobre un modelo introducido, las ecuaciones que definen la dinámica de fluidos computacional (CFD) resolviendo las situaciones generadas por conducción, radiación y sobre todo las de convección. El programa considera el modelo como un cuerpo formado por celdas en las tres direcciones a las que se les introduce sus propiedades físicas (como la densidad) y térmicas (conductividad, calor específico). Estos datos se introducen al considerar las celdas como cuerpos sólidos (el programa los describe como obstrucciones) cuyas propiedades se introducen definiendo cada celda con su naturaleza, es decir con el material de construcción (piedra, ladrillo, agua, etc.). En el caso de cavidades o huecos llenos de aire, las celdas se introducen de la misma forma, simplemente indicándole que dicha celda corresponde a un sólido “vacío” que contiene aire, registrando sus propiedades de igual forma que si se tratase de celdas sólidas.

Para los elementos sólidos, cuyas propiedades térmicas se han introducido según la naturaleza del edificio y sus materiales, el programa calcula y obtiene para cada intervalo de tiempo los resultados de la temperatura en los límites de la celda, el flujo de calor por convección y por radiación y la velocidad de combustión

Para los elementos considerados vacíos (es decir, los que están rellenos de gas) el pro-

grama determina, entre otros aspectos la temperatura del gas (en nuestro caso aire) y la dirección y velocidad que alcanza por convección dicho gas

Para todo el sistema modelizado también puede indicarse que se obtienen los siguientes definidos como HRR (*heat release rate*) de todo el edificio, los comportamientos de los sensores, tanto de temperatura como de viento, según la evolución en el tiempo y los flujos de masa y energía a través de las aberturas y espacios generados

El programa realiza una gran operación matemática con todas las ecuaciones de la termodinámica que afectan a cada situación de cada celda, que considera como un elemento finito y homogéneo, y le va implementado los resultados de las celdas contiguas. De esta forma, al final del cálculo se puede obtener el resultado de la hipótesis planteada a partir de las propiedades de cada celda y de las condiciones del contorno introducidas en el modelo. Hay que indicar que la cantidad de cálculos y ecuaciones variará según el tamaño y cantidad de celdas. Cuanto más pequeña es la celda más precisa será la obtención de los resultados, aunque existen estudios que demuestran que no depende tanto del tamaño de la celda sino de la geometría del modelo [4].

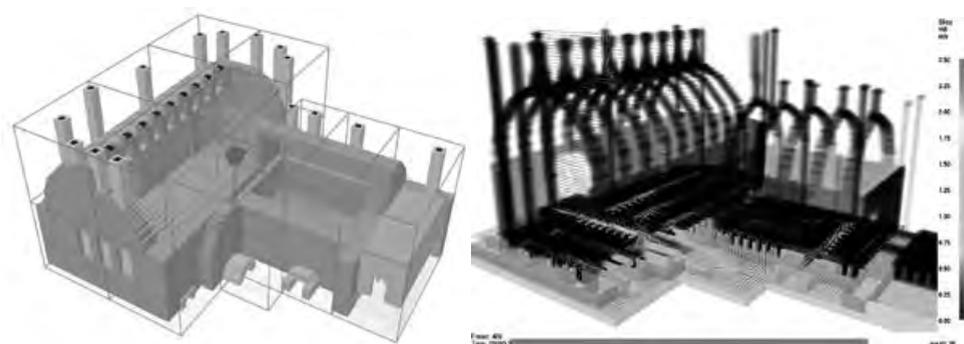


Figura 12 y 13: Esquema del modelo y malla de celdas efectuado

Tras el cálculo de más de un centenar de simulaciones se generaron 13 hipótesis de funcionamiento atendiendo a los resultados obtenidos en cada una de ellas y estableciendo cual debería de ser el protocolo de funcionamiento de la instalación, así como conocer la temperatura que se tenía en cada una de las salas y la secuencia de aperturas de los conductos de ventilación. Es curioso e interesante hacer saber que la puesta en marcha de las termas tenía que seguir una secuencia de aperturas según el transcurso del tiempo, ya que las simulaciones demostraban que el tener abiertas todas las ventilaciones, la calefacción de la terma no era ni óptima, ni eficiente.

## 6. CONCLUSIONES

A modo de extracto de las conclusiones de la investigación se presentan las siguientes:

Los materiales cerámicos identificados respetan la estandarización habitual de los *lat-teres cocti*, aunque también se observan otras piezas singulares como los *cunneati* y las de trabazón de las arquerías.

El sistema de ventilación de las bóvedas es singular. La solución constructiva empleada para la circulación del aire caliente de la *concameratio* no se conocía en ninguna otra instalación termal.

Ha quedado demostrado, considerando un balance energético en condiciones estacionarias de las termas analizadas, los valores reales de todos los parámetros necesarios para calcular la conductividad térmica de la *suspensura*, obteniendo un valor de  $k = 0.85 \text{ W/m K}$ .

Se ha calculado el valor mediante simulación computacional obteniendo valores muy próximos a los experimentales con lo que podemos afirmar que la simulación repite los comportamientos reales.

Se ha podido establecer un protocolo de aberturas de los conductos que garantiza un óptimo funcionamiento de la instalación.

Las temperaturas en el suelo del *caldarium* oscilan entre 40 y 45 °C. Las temperaturas del *tepidarium* oscilan entre 34 y 38 °C. Las temperaturas del *frigidarium* oscilan entre los 28 y 32°C.

Los huecos de comunicación entre salas eran esenciales en el funcionamiento, tanto los situados al nivel de los *hypocaustum* como los situados entre las distintas salas.

El óculo central del *caldarium* cumplía una función concreta: la renovación del aire del interior de la sala (evacuación de aire caliente y entrada de aire frío).

El hueco existente en el ábside del *caldarium*, no tenía una función térmica específica. Solo servía para el mantenimiento y enfriamiento de la instalación.

	7:00	9:00	11:00	17:00	7:00 (+1)	9:00 (+1)	11:00 (+1)
Evento(seg)	0	7200	14400	36000	86400	93600	100800
HV1		A	A			A	A
HV2		A	A			A	A
HV3		A	A			A	A
HC1		A	A			A	A
HC2	A				A		
HC3	A				A		
PA1			A				A
PA2			A				A
PA3			A				A
HA1		A				A	
HA2		A				A	
BC1			A				A
BC2			A				A
BC3			A				A
BC4			A				A
BC5			A				A
BC6			A				A
BC7			A				A
BC8			A				A
BC9			A				A
Óculo			A				A
HT1		A	A			A	A
HT2	A				A		
CF1			A				A
CF2			A				A
FT1							
FT2							
BT1			A				A
BT2			A				A
BT3			A				A
BT4			A				A
BT5			A				A
HF		A	A			A	A
Evento(seg)	0	7200	14400	36000	86400	93600	
Horno Cp	140 Kw	140 Kw	70 Kw	0	140 Kw	140 Kw	70 Kw
Horno Eg	280 Kw	280 Kw	140 Kw	0	280 Kw	280 Kw	140 Kw
Horno T	140 Kw	140 Kw	70 Kw	0	140 Kw	140 Kw	70 Kw
	560 Kw	560 Kw	280 Kw	0	560 Kw	560 Kw	280 Kw

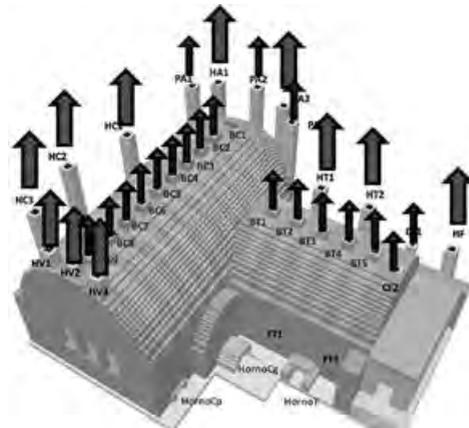


Figura 14 y 15 Protocolo de apertura en tiempo de cada conducto de ventilación.

La demanda energética estimada necesita unos 120 kg de madera por hora en los tres hornos en la fase de encendido y 60 kg en la fase de mantenimiento.

El *praefurnium* fue diseñado con un arco pequeño que produce una entrada forzada de aire, logrando una combustión óptima de los gases por el “efecto horno” (aumento de la radiación sobre el combustible). Así se conseguía una combustión casi perfecta que generaba muy poco humo, un aprovechamiento más eficiente del combustible, ahorrando madera y apenas producía residuos volátiles (hollín).

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Tormo Esteve, S (2017). Las termas mayores de -Mura, en Lliria (Valencia). Estudio aplicado a la funcionalidad hídrica y térmica de los complejos termales romanos. (Tesis no publicada). Universitat Politècnica de València.
- [2] Esteban Chaparría, J., Moliner Cantos, E. (2015). “Estudios de arquitectura romana. Las termas mayores de Mura, Lliria (Valencia)”, *Papeles del Partal*, 7. Academia del Partal.
- [3] Escrivà Torres, V., & Vidal Ferrús Xavier. (1995). La partida de Mura (Lliria, Valencia): un conjunto monumental de época Flavia. SAGVNTVM. Papeles Del Laboratorio de Arqueología de Valencia, (26), 231–239. Retrieved from <https://ojs.uv.es/index.php/saguntum/article/view/2154>
- [4] Dufour, A. (2006). Simulación mediante la mecánica computacional de fluidos de escenarios de incendios reales en recintos industriales. Proyecto final de carrera inédito. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Barcelona. UPC.

**MÁS ALLÁ DE LA REHABILITACIÓN EN UNA OBRA EMBLEMÁTICA:  
MONITORIZACIÓN DE LAS CUBIERTAS DE  
“EL HIPÓDROMO DE LA ZARZUELA”**

MARTÍNEZ SIERRA, ISABEL<sup>1</sup>; CASTILLO TALAVERA, ÁNGEL<sup>2</sup>

*<sup>1</sup> IETcc-CSIC, Madrid, España*

*E-mail: isabel.martinez@csic.es, Web: www.ietcc.csic.es*

*<sup>2</sup> IETcc-CSIC, Madrid, España*

*E-mail: acastillo@ietcc.csic.es, Web: www.ietcc.csic.es*

**PALABRAS CLAVE:** Hormigón, Reparación, Corrosión, Monitorización, Técnicas electroquímicas.

**RESUMEN**

El hipódromo de la Zarzuela, declarado patrimonio histórico nacional, fue construido en Madrid en los años 40, y es una obra del Ingeniero Eduardo Torroja y los arquitectos Arniches y Domínguez. Las cubiertas de su estructura son consideradas un arte desde el punto de vista ingenieril.

A pesar del perfecto y genial equilibrio físico y mecánico, se iniciaron procesos físicos y físico-químicos de deterioro en su composición debido al largo periodo de exposición de la estructura a la acción climática y al ataque de los agentes agresivos atmosféricos, entre los cuales se destaca como principal patología la corrosión por carbonatación de su armadura embebida. Dada la importancia de la obra desde el punto de vista artístico, histórico y de seguridad, las autoridades correspondientes decidieron su rehabilitación. En este proyecto de reparación se contempló la instalación de un sistema de monitorización de medidas continuas, mediante sensores electroquímicos pasivos, capaces de indicar el riesgo de corrosión en la armadura embebida de la estructura. De este modo, es posible controlar

el comportamiento del material frente a la interacción con la acción atmosférica y prever la posible necesidad de intervenciones de mantenimiento, evitando el avance del deterioro con rapidez y garantías. La implementación de la monitorización requirió de una evaluación mediante técnicas electroquímicas no-destructivas del grado de deterioro previo a la intervención, para poder estudiar la evolución del comportamiento de la estructura después de la reparación.

En el presente trabajo, se presentan los resultados obtenidos tanto en la evaluación electroquímica previa en las cubiertas del Hipódromo de la Zarzuela, como su posterior monitorización durante casi 10 años. Se presenta también la viabilidad del sistema de monitorización y su fiabilidad con el tiempo.

## 1. INTRODUCCIÓN

El hipódromo de la Zarzuela (Madrid), declarado patrimonio histórico nacional, se construyó en el año 1935, y es una obra del Ingeniero Eduardo Torroja y los arquitectos Arniches y Domínguez. Las tres cubiertas de su estructura son consideradas un arte desde el punto de vista ingenieril debido a su perfecto y genial equilibrio físico y mecánico. Se plantearon en su concepción finas láminas de hormigón armado con forma de un hiperboloide con espesor variable entre 65 cm en la zona de pilares y 6 cm en los bordes. Su sección ligeramente curva en forma de V, apoyado en voladizo de hasta 13 m de altura sobre un único pilar (Figura 1), es posible gracias al inteligente diseño de armado entrelazados y a la instalación de tirantes pasivos de acero situados en su parte trasera. Descripciones detalladas del proyecto y construcción pueden encontrarse en [1], [2] y [3].



Figura 1. Fotografía panorámica y esquema de construcción.

El hipódromo tiene tres tribunas sobre las cuales están dispuestas las cubiertas que se denominan de la siguiente forma: Tribuna Norte (C.N.); Tribuna Central (C.C.) y Tribuna Sur (C.S.).

Desde el punto de vista de la durabilidad, el comportamiento se puede considerar como muy bueno dado que los deterioros encontrados han sido muy locales y se deben a la pérdida de la impermeabilización superior de la cubierta que permitió al agua de la lluvia permear a través de la sección de la cubierta. La consideración del grado de buen comportamiento durable se emite al compararla con otras estructuras de hormigón armado, menos arriesgadas en su diseño y aparentemente más robustas, que han tenido que ser sometidas a procesos de reparación minuciosos o incluso demolidas, pese a ser más recientes. El hormigón utilizado, típico de la época y por ello bastante poroso al tener bajo contenido en cemento, estaba parcialmente carbonatado y por ello era necesario plantearse una reparación integral.

La explotación de la estructura como hipódromo ha sufrido diversos avatares, por lo que estuvo cerrado al final del siglo XX durante alrededor de una década. Más recientemente se decidió por fin su reapertura y dada la importancia de la obra desde el punto de vista artís-

tico, histórico y de seguridad, las autoridades correspondientes decidieron realizar una obra de restauración de las cubiertas y otras zonas. Aprovechando las inspecciones efectuadas con los proyectistas de la restauración para el dictamen del grado de corrosión de las cubiertas, se les planteó la instalación de un sistema de monitorización mediante sensores [4] y [5], capaces de indicar cualitativamente el riesgo de corrosión en la armadura embebida de la estructura. De este modo, es posible controlar el comportamiento del material frente a la interacción con la acción atmosférica y prever la posible necesidad de intervenciones de mantenimiento futuras, evitando el avance del deterioro con rapidez y garantías.

En el presente trabajo se describe someramente la evaluación del grado de corrosión efectuada mediante técnicas electroquímicas no-destructivas [6], [7] y [8], que consisten en medidas cuantitativas puntuales de velocidad de corrosión del acero para poder evaluar el elemento en su conjunto y estudiar su evolución después de la reparación. Igualmente se describen los sensores instalados y algunos de los datos registrados.

## 2. ESTUDIO DEL GRADO DE DETERIORO

Las cubiertas del Hipódromo de la Zarzuela son estructuras que, durante toda su vida en servicio, no se ha encontrado documentación que indique que hayan tenido actuaciones importantes de mantenimiento. En su parte inferior presentaban zonas reparadas por parcheo y diversas capas de pintura aplicadas, desaparecidas en ciertas zonas bien visibles en fotos de principios del siglo XXI. Estos parcheos que presentaban en algunos casos desprendimientos y pérdidas de material, procedían probablemente de reparaciones puntuales anteriores (Figura 2).



Figura 2. Estado de las cubiertas en la parte superior e inferior.

En la parte superior de las cubiertas se había colocado un sistema de impermeabilización formado por una imprimación asfáltica sobre la que se dispuso una lámina de aluminio gofrado. Esta impermeabilización se encontraba muy deteriorada, como lo muestra la Figura 2. Esta lámina de aluminio (Figura 2) se presupone que fue instalada en los años sesenta, posteriormente a la construcción de las cubiertas. El paso del tiempo y la posible falta de mantenimiento han provocado que zonas de esta impermeabilización estuvieran deterioradas y que la imprimación estuviera meteorizada por el efecto de la radiación solar (Figura 2). Además, la mayoría de los sumideros de las cubiertas estaban obstruidos, provocando la acumulación de agua estancada, que con el deterioro de la impermeabilización inducía a la penetración del agua a través del hormigón. Todo ello originó que se iniciaran procesos de deterioro, entre los cuales se destaca, como principal patología, la corrosión de su armadura embebida dada la carbonatación del recubrimiento de hormigón.

La carbonatación del hormigón ha sido estudiada y cuantificada in-situ mediante la determinación del frente de carbonatación a través de ensayos colorimétricos. Dichos ensayos consisten en aplicar el indicador fenoftaleína en disolución alcohólica [9] sobre catas abiertas y sobre fractura fresca de muestras en zonas de estudio de las diferentes cubiertas.

Las profundidades del frente de carbonatación de las diferentes muestras extraídas de la superficie inferior de las cubiertas reflejan como este había llegado a la armadura. Conviene resaltar además que los recubrimientos de las armaduras eran en general escasos. Por ello, en zonas con penetraciones superiores a 60 mm, el frente llegaba a alcanzar la segunda capa de armado generando la corrosión generalizada de las armaduras, y llegando a generar pérdidas de sección importantes locales en algunas armaduras.

Por el contrario, en la superficie superior de las cubiertas no se aprecia frente de carbonatación ya que, aunque la imprimación de impermeabilización estaba deteriorada, en estas zonas hubo encharcamientos de agua durante mucho tiempo, y por ello gran parte de la superficie del hormigón ha permanecido casi saturada, lo que ralentiza el avance del agresivo por esa superficie. El problema surge cuando el frente alcanza las armaduras por la parte de la superficie inferior de la cubierta, y se acelera la corrosión existente debido al alto grado de contenido de agua en el interior del hormigón.

Otra observación realizada que no provocó corrosión pero que resultó relevante, es la fisuración generalizada, que era visible y cuya causa es probablemente la retracción. En el proyecto de rehabilitación se decidió su reparación mediante sellado con el fin de asegurar el comportamiento solidario de todo el material.

También es necesario nombrar los tirantes que soportan las cubiertas desde su parte posterior, en los que se tomaron muestras de la Cubierta Norte. Estos tirantes estaban compuestos por tres cordones de acero lisos recubiertos por mortero y todo ello a su vez estaba recubierto por una envoltura de fibrocemento que realizaba la función de impermeabilización. Figura 3.

Se tomaron muestras de la zona de mortero para comprobar el posible frente de carbonatación, que resultó inexistente, posiblemente por la protección que ha supuesto el recubrimiento de fibrocemento. La ausencia de carbonatación justifica el casi perfecto estado en el que se encontraron los cordones de acero.



Figura 3. Tirantes.

### 3. EVALUACIÓN DE LA CORROSIÓN

Después de limpiar la pintura de la superficie inferior de las cubiertas y la capa de impermeabilización de la superficie superior con agua a presión, se realizó una evaluación del grado de corrosión existente mediante inspección visual y aplicando métodos electroquími-

cos no destructivos basados en la técnica de la Resistencia a la Polarización para verificar la velocidad de corrosión.

La velocidad de corrosión (evaluada por el método de confinamiento modulado [6] de la corriente con el corrosímetro portátil Gecor 08) se cuantificó en diferentes áreas de las tres cubiertas. Como se puede ver en la Figura 4, la mayoría de los valores de  $I_{corr}$  registrados se encuentran en el rango entre 0,5 y 1  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ , lo que supone velocidades de corrosión moderadas en las tres cubiertas [10]. Otros indicadores de corrosión, como el potencial de corrosión ( $E_{corr}$ ) y la resistividad eléctrica también fueron evaluados. La mayoría de los valores medidos de potencial de corrosión estuvieron en el rango entre -250 y -350 mV, lo que significa un riesgo de corrosión intermedio [8].

De los gráficos se puede deducir que al menos un 50% de los puntos medidos presentan corrosión activa en el momento de la inspección. Los puntos de medida se han elegido al dividir las diferentes cubiertas en distintos lotes diferenciando la superficie exterior e interior de las cubiertas (y a su vez las zonas de los valles y senos de cada una de ellas), y los tirantes. Aunque se eligieron puntos que mostraban un cierto deterioro la corrosión detectada indica que la corrosión esta activa y es necesario acometer alguna actuación para que el proceso no continúe.

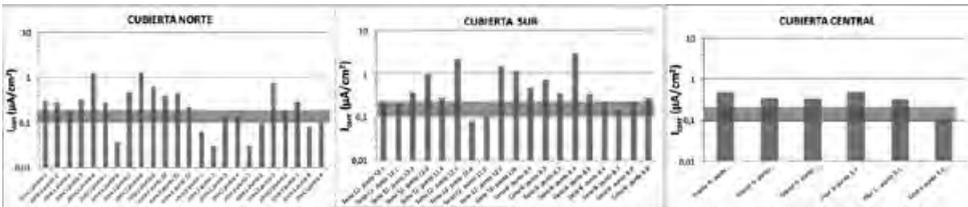


Figura 4 Medidas de velocidad de corrosión.

La corrosión detectada era generalizada (Figura 5), con pérdida de sección de hasta un 10%, siendo el grado de corrosión o corrosión acumulada variable. Esta corrosión era mucho mayor en las zonas que habían perdido la impermeabilización superior donde la pérdida de sección se consideró elevada (hasta el 40%) si bien estos casos fueron muy pocos y no afectaron al comportamiento global de las cubiertas. A pesar de la corrosión detectada no se apreciaban fisuras longitudinales con la armadura, el saltado del recubrimiento muy local indicaba que el proceso es también solo puntual.



Figura 5. Corrosión generalizada.

#### 4. INTERVENCIÓN

Las actuaciones diseñadas por el proyectista para la rehabilitación que fue ejecutada por la empresa DRAGADOS fueron las siguientes (Figura 6):

1. Eliminación de toda la pintura inferior y la impermeabilización superior mediante chorro de agua.
2. Saneado de las zonas de desprendimiento de material y huecas, limpiando las armaduras vistas, cepillándolas y pasivándolas; para después reparar la zona con un mortero específico.
3. Tratamiento de fisuras mediante su saneo abriéndolas, introduciendo cánulas por las cuales se inyecta resina después de sellarlas con masilla y tapándolas finalmente con mortero de reparación. Este tratamiento se realizó tanto en la superficie superior como en la inferior de las cubiertas.
4. Acabado en la parte inferior con mortero imitando la terminación original con las tablillas de encofrado de madera y posterior pintura anti-carbonatación.
5. Impermeabilización de la parte superior con lámina de poliuretano de 3-4 mm de espesor, sobre mortero de puente de unión de baja retracción.
6. Rehabilitación de los tirantes de las cubiertas. Se retiró el recubrimiento exterior de fibrocemento y el mortero que rodeaba los tirantes metálicos y se saneó hasta llegar a limpiar completamente los mismos. Después se pintaron con una imprimación impermeable y posteriormente se inyectó una lechada de terminación, estableciendo dos capas para garantizar la impermeabilización.

Las labores de reparación se realizaron de manera satisfactoria y no es objeto de este trabajo su descripción en más detalle.



Figura 6. Reparación cubiertas.

#### 5. MONITORIZACION DE LA ESTRUCTURA

Como se ha mencionado, se aprovechó la rehabilitación para colocar sensores que informen sobre la posible aparición de deterioros sin necesidad de extracción de muestras.

Después de la evaluación del estado de corrosión de la estructura se instalaron sensores de corrosión permanentes capaces de indicar el riesgo en las cubiertas y en los tirantes. Se instalaron siete grupos de sensores en las tres cubiertas.

Cada grupo está compuesto por tres tipos de sensores (Figura 7):

- Sensor de detección de presencia de agua líquida (Doble barrita);
- Sensor de medida del potencial de corrosión ( $E_{\text{corr}}$ ) de la armadura embebida, con electrodo de referencia tipo Mn/MnO<sub>2</sub>;
- Sensor de medida de la temperatura (Termopar tipo TMC6-HD).



Figura 7. Grupo de sensores.

Los tres tipos de sensores instalados son sensores pasivos, lo que significa que no es necesario aplicar ningún estímulo o aporte energético para obtener las correspondientes respuestas.

El sensor de agua líquida es cualitativo, ya que informa sobre la presencia/ausencia de agua en estado líquido (condensación), pues desarrolla una diferencia de potencial entre los dos terminales del sensor. Cuando no hay agua en estado líquido, la diferencia de potencial medida entre los dos terminales del sensor es próxima a 0 mV, pero cuando existe agua, aumentan los valores de diferencias de potencial hasta unos 700 mV.

Por otro lado, el sensor de medida de potencial de corrosión lo constituye un electrodo de referencia de Mn/MnO<sub>2</sub>, que se conecta a la armadura para evaluar su potencial electroquímico. Este parámetro nos indica la probabilidad de que la armadura sufra corrosión.

En cuanto a la temperatura, los termopares utilizados son TMC6-HD, de rango -40 a 50 °C) y con resolución de 0,25°C a 20 °C.

El procedimiento de instalación de cada uno de los grupos se lleva a cabo en 3 fases: preparación previa de la zona de instalación, la fijación del grupo de sensores y posterior instalación de la caja-estanca de polietileno para el emplazamiento del datalogger:

- Preparación previa de la zona de instalación: Para la colocación del grupo de sensores es necesario realizar una pequeña cata en la superficie del hormigón que permita embeber la placa de fijación y distribución de los sensores. La capa de impermeabilización debe quedar lo más lisa y continua posible. Aparte de la cata en la que se aloja el grupo de sensores, es necesario realizar una roza para poder embeber y llevar el cable para la conexión con la armadura. La conexión con la armadura se asegura con una fijación de soldadura fría para garantizar la continuidad eléctrica.
- Fijación del grupo de sensores: Una vez realizada la cata donde alojar el grupo de sensores, se prepara un mortero de baja resistividad. Primero se aplica una fina capa de base donde se introducen los diferentes sensores y después se termina rellenando con este mortero toda la cata hasta dejar totalmente embebido el dispositivo.
- Instalación de caja de polietileno e impermeabilización: Una vez instalados los diferentes grupos de sensores en cada una de las cubiertas, se protegieron las terminaciones eléctricas y se aplicó la capa de impermeabilización con lámina de poliuretano de

3-4 mm de espesor a toda la cubierta, poniendo especial cuidado en la aplicación en estos lugares. Después de la aplicación de la capa de impermeabilización se acopló encima de la zona de las terminaciones eléctricas una caja-estanca de polietileno donde queda instalado el datalogger (Figura 7).

Se instalaron en las tres cubiertas un total de 7 grupos de sensores permanentes, de los cuales 6 se instalaron en la superficie superior de las cubiertas Norte, Sur y Central y uno en la parte inferior de la Cubierta Sur. En esta Cubierta Sur se pudieron colocar en la misma zona un grupo por la superficie superior y otro por la parte inferior. En la Figura 8 se representa la localización de los diferentes grupos en las tres cubiertas. En la Cubierta Sur se realizó una mejora en la monitorización, ya que se instaló en el 2012 un sistema de monitorización remota. Este desarrollo consistía en una comunicación de los sensores de la parte de cubierta exterior por radio al datalogger del sensor de la cubierta interior y desde ahí tener conexión vía GPRS ó 3G para poder tener conexión remota del estado de la cubierta en cualquier momento y desde cualquier dispositivo móvil. (Figura 8).

En la Figura 9 se presentan los valores de potencial de corrosión, presencia de agua líquida y temperatura de uno de los grupos de sensores instalados. Se visualiza la influencia clara de la temperatura en los parámetros electroquímicos. Además, se observa cómo la evolución del potencial de corrosión (Ecorr) es hacia valores de potencial más positivos en un principio, cambiando la tendencia hacia valores de mayor riesgo de corrosión en los últimos años, lo que indica que, la tendencia a pasivarse de las armaduras tras la reparación inicial en algunos casos varía tras varios años de exposición. En todos los sensores de agua líquida los valores de diferencia de potencial registrados se sitúan en torno a 20 mV, lo que indica la no presencia de agua líquida en el interior del hormigón.

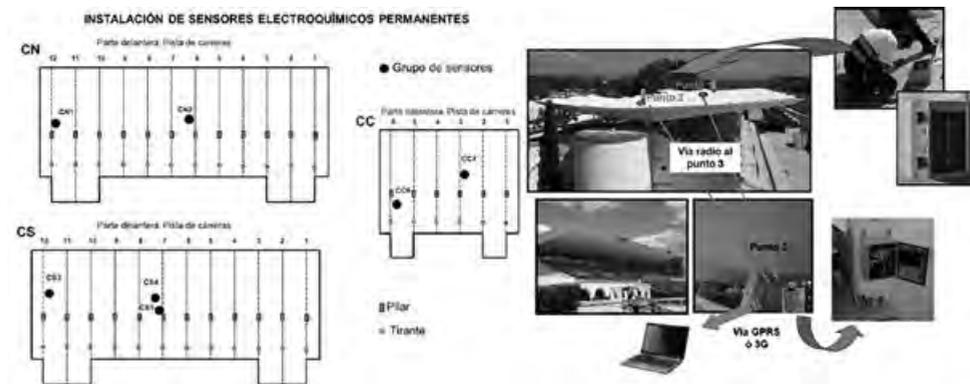


Figura 8. Monitorización.

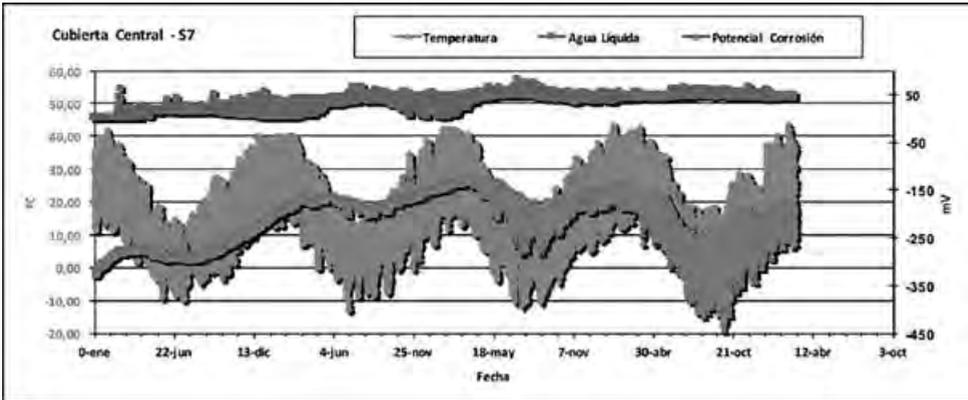


Figura 9. Medidas de los sensores instalados.

## 6. CONCLUSIONES

Las cubiertas del Hipódromo, que siguen asombrando por su ligereza y esbeltez, han resistido el paso del tiempo y la acción de los agentes atmosféricos de una forma sobresaliente, al presentar solo deterioros por corrosión de las armaduras muy locales por fallos en el sistema de impermeabilización que se debió aplicar en los años 60. Del trabajo actual desarrollado para su rehabilitación integral se pueden expresar de manera resumida y esquemática las siguientes conclusiones más relevantes relativas a los trabajos para el estudio de su durabilidad y control permanente de los parámetros de corrosión:

- Antes de la intervención la estructura presentaba un grado de carbonatación alto en la parte inferior de todas las cubiertas. Aun no habiendo grandes pérdidas de sección de manera general, toda la armadura inferior presentaba corrosión generalizada, cuantificada mediante técnicas electroquímicas no destructivas.
- La corrosión es mayor en la superficie superior de la cubierta por el acceso del agua de lluvia en las zonas donde la lámina asfáltica estaba deteriorada. Esta impermeabilización ha resultado esencial, ya que sólo se induce la corrosión activa por la acción directa del agua de la lluvia en zonas carbonatadas en las que se alcanza un cierto grado de humectación (por el mencionado deterioro de la lámina de impermeabilización). Las zonas inferiores de las cubiertas, aunque carbonatadas, no han llegado a un grado de corrosión significativo.
- En cuanto a las tres barras asimétricas que componen cada uno de los tirantes, esenciales en el comportamiento estructural, pese al peculiar mecanismo de impermeabilización que se encontró compuesto por una camisa tubular de fibrocemento, su estado tras 75 años de exposición al ambiente era muy aceptable, presentando escasa carbonatación en su recubrimiento de mortero.
- Después de la intervención los resultados después de un año procedentes de los sensores permanentes embebidos, muestran que la impermeabilización de las cubiertas se ha ejecutado de forma satisfactoria, ya que los potenciales de la armadura presentan valores de ausencia de riesgo de corrosión al igual que los sensores de agua indican la ausencia de condensación.

- Es importante resaltar la importancia de cuantificar las velocidades de corrosión para la predicción de la evolución futura del deterioro, así como la ayuda que suponen los sensores instalados de forma permanente para el control no destructivo de la eficacia de la reparación, llegando a disponer de la tecnología de evaluación remota e instantánea desde cualquier dispositivo móvil.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Torroja, E. “Estructura de la Tribuna del nuevo Hipódromo de Madrid” Revista de Obras Públicas, junio 1941
- [2] Torroja, E. “Madrid Racehouse” Architectural Record, VI, 1958.
- [3] Hipódromo de la Zarzuela. Informes de la Construcción, 154-6, 1962,
- [4] C. Andrade, I. Martínez, M. Castellote a, P. Zuloaga. Some principles of service life calculation of reinforcements and in situ corrosion monitoring by sensors in the radioactive waste containers of El Cabril disposal (Spain) Journal of Nuclear Materials 358 (2006) 82–95
- [5] Martínez, I., Castillo, A., Andrade, C., “Non destructive electrochemical techniques applied to the corrosion evaluation of the liner structures in nuclear power plants”. Journal of Nuclear Materials. ELSEVIER. Volumen 373 (2008) 226-236.
- [6] Feliú, S., González, J.A., Feliú, S.Jr., and Andrade, C., “Confinement of the electrical signal or in-situ measurement of Polarization Resistance in Reinforced concrete.” ACI Mater. J., 87, pp 457. (1990).
- [7] C. Andrade, C. Alonso, J.A. Gonzalez, in: N.S. Berke, V. Chaker, D. Whiting (Eds.), Corrosion Rates of Steel in Concrete, ASTM STP, vol. 1065, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1990, p. 29.
- [8] ASTM C-876-91, ASTM, vol 04.02, 1995.
- [9] UNE 112-0111-94 “Corrosión de armaduras. Determinación de la profundidad de carbonatación en hormigones endurecidos y puestos en servicio”.
- [10] C. Andrade, C. Alonso, J. Gulikers, R.Polder, R.Cigna, O.Vennesland and M. Salta. Test methods for on-site reinforcement corrosion rate measurement of steel reinforcement in concrete by means of the Polarization Resistance method. RILEM Recommendation of TC-154 “Electrochemical Techniques for measuring metallic corrosion”. Materials and Structures vol 37 Nov 2004, pp 623.643

## NUEVOS SISTEMAS ROBÓTICOS DE INSPECCIÓN E INTERVENCIÓN EN REHABILITACIÓN DE FACHADAS

RIOBÓ IGLESIAS, JORGE<sup>1</sup>; ESPELOSIN ORTEGA, JESÚS<sup>2</sup>;  
MONTANO OLIVÁN, LORENZO<sup>3</sup>; MENÉ ROCHE, JOSÉ<sup>4</sup>; DÍEZ DÍEZ, DAVID<sup>5</sup>;  
LALANA SALAVER, JORGE<sup>6</sup>

*<sup>1</sup>Instituto Tecnológico de Aragón, Zaragoza, España*

*E-mail: jriobo@itainnova.es, Web: www.itainnova.es*

*<sup>2</sup>Instituto Tecnológico de Aragón, Zaragoza, España*

*E-mail: jespelosin@itainnova.es, Web: www.itainnova.es*

*<sup>3</sup>Instituto Tecnológico de Aragón, Zaragoza, España*

*E-mail: lmontano@itainnova.es, Web: www.itainnova.es*

*<sup>4</sup>Instituto Tecnológico de Aragón, Zaragoza, España*

*E-mail: jmene@itainnova.es, Web: www.itainnova.es*

*<sup>5</sup>Instituto Tecnológico de Aragón, Zaragoza, España*

*E-mail: ddiez@itainnova.es, Web: www.itainnova.es*

*<sup>6</sup>Instituto Tecnológico de Aragón, Zaragoza, España*

*E-mail: jlalana@itainnova.es, Web: www.itainnova.es*

**PALABRAS CLAVE:** inspección, robot, rehabilitación, fachada.

### RESUMEN

La construcción de edificios cada vez más altos, la puesta en marcha de la ITV de edificios de más de 50 años y los avances tecnológicos son tres factores que hacen cada vez más interesante, e incluso necesario, el desarrollo de nuevos sistemas de inspección que faciliten dichas actuaciones. La robotización en estas tareas debe dar lugar a una optimización de los procesos (menor tiempo, menor coste), disminución de riesgos laborales, así como la minimización de las afecciones en el tráfico y las molestias a los viandantes en torno al edificio.

Este artículo, generado dentro del proyecto ROBIM financiado por Centro de Desarrollo Tecnológico Industrial en la Convocatoria CIEN 2016, presenta los avances tecnológicos producidos en los últimos años en las labores de inspección de fachadas yendo desde los procesos más manuales y costosos en tiempo y dinero hasta las últimas novedades existentes donde la automatización del proceso de inspección empieza a cobrar peso. En especial, el estudio se focaliza en analizar los diferentes robots existentes en el panorama internacional en tareas de inspección de superficies verticales, el conocer que tecnologías de fijación utilizan y cómo se trasladan a lo largo de la fachada.

El resultado es un estado del arte en Nuevos sistemas robóticos de inspección e intervención en rehabilitación de fachadas donde se definen las ventajas de unos sistemas robóticos respecto a otros atendiendo a la superficie vertical a ascender.

## 1. INTRODUCCIÓN

El uso de robots escaladores de estructuras verticales está adquiriendo en los últimos tiempos una gran relevancia en tareas de mantenimiento, de inspección y propias de la construcción. La construcción de edificios cada vez más altos, la Inspección Técnica de Edificios y los avances tecnológicos son tres de los factores que hacen más que interesante, e incluso necesario, el desarrollo de nuevos robots.

La robotización de estas tareas debe dar lugar a una optimización de los procesos (menor tiempo, menor coste), disminución de riesgos laborales, así como la minimización de las afecciones en el tráfico y las molestias a los viandantes en torno al edificio.

En sus inicios, el uso de robots de inspección se circunscribía a entornos peligrosos donde la operativa conllevaba graves peligros para su salud e integridad de los trabajadores. Ejemplo de ello son las operaciones que tienen lugar en industrias como la nuclear o la química en labores de inspección de tanques y tuberías para la detección de pérdidas, determinación del estado de los cordones de soldadura, espesores de paredes, etc.

En la actualidad, y con la evolución tecnológica existente, el campo de aplicación de este tipo de robots aumenta y no sólo a actuaciones industriales de alta peligrosidad como las citadas sino a otros ámbitos de supervisión y mantenimiento como pueden ser la construcción, el sector eléctrico (torres de alta tensión, aerogeneradores, etc.), forestal y un largo etcétera. El objetivo no es otro que facilitar la labor de los trabajadores minimizando riesgos y tiempos.

En el sector de la construcción se ha producido en las últimas décadas un incremento destacable en la edificación de grandes edificios y conjuntos estructurales peculiares. Edificios que bajo las técnicas clásicas hacen difícil, caro, y en ciertas ocasiones peligroso, el acceso a superficie para abordar tareas de inspección y mantenimiento [1].

La incorporación de sistemas robotizados autónomos en tareas de inspección y mantenimiento de fachadas se presenta como un reto tecnológico en sí. Reto que en primer lugar debe solventar cómo se sustenta el sistema en fachada y cómo se desplaza a lo largo de la misma. Adicionalmente, el sistema debe disponer de un sistema de detección de posibles obstáculos para poder definir la trayectoria a seguir hasta el/los puntos de inspección.

## 2. SISTEMAS DE SUSTENTACIÓN EN SUPERFICIES VERTICALES

Se define sistema de sustentación como el medio que utiliza el dispositivo de inspección/mantenimiento para poder realizar las funciones para las que ha sido diseñado.

Atendiendo a la definición de sustentación realizada pueden realizarse dos grandes grupos: aquellos dispositivos que requieren de una estructura externa para llevar a cabo las funciones de traslación y sustentación a lo largo de la fachada y aquellos otros que acceden al punto de análisis de manera autónoma.

### 2.1 Sistemas de sustentación dependiente de estructura externa

Los sistemas de inspección a día de hoy se circunscriben principalmente a estructuras fijas como pueden ser plataformas de cremallera fijadas a la fachada o plataformas colgantes mediante cables con anclaje en la cornisa del edificio (Figura 1) o en el caso más habitual y simplificado, el uso de andamios. En cualquiera de estos tres casos se requiere en mayor o menor medida instalación de estructuras en el entorno del edificio lo que implica algún tipo de afección además del coste adicional derivado de la propia instalación.



Figura 1: Plataforma de limpieza colgante desde cornisa.

(Fuente: <http://www.ipceagle.com>)

Otra de las posibilidades a la hora de realizar inspecciones de edificios o estructuras de cierta altura, y que también es práctica habitual, es el uso de plataformas móviles con soporte sobre el terreno como por ejemplo podrían ser las plataformas elevadoras de tijera o las plataformas de brazo articulado. En este caso, este tipo de plataformas poseen una mayor versatilidad en cuanto a posicionamiento al permitir mover la plataforma a la zona de fachada que se desee analizar pero por el contrario el operario debe actuar en altura para proceder a la supervisión técnica del edificio.

## 2.2 Sistemas de sustentación autónomos

El uso de robots autónomos se utiliza en un reducido número de aplicaciones donde los desafíos de traslación y sustentación han sido ya resueltos como posteriormente se explicará. En entornos de la construcción el desarrollo de un robot autónomo que pueda ser usado tanto en grandes construcciones como en pequeños edificios sigue siendo un desafío todavía por solventar.

Profundizando en la clasificación de sistemas de inspección/mantenimiento sin estructura soporte, o autónomos hay que decir que puede a su vez ser subdividido en: vehículos aéreos y vehículos sobre superficie.

Dentro de la subcategoría de aéreos se encontrarían los vehículos aéreos no tripulados o drones que en los últimos tiempos han adquirido un peso importante en tareas multisectoriales como supervisión de infraestructuras energéticas, control parcelario, manipulación de materiales nocivos, logística, etc. Atendiendo al sector de la construcción, los drones están siendo usados principalmente en tareas de inspección ya sea de obras de desmonte y terraplén como realizando inspecciones de grandes construcciones (puentes, viaductos, etc.) mediante captación de imágenes y uso de cámaras termográficas. Su proliferación tanto con fines profesionales como lúdicos ha desembocado en un cambio normativo traducéndose en un endurecimiento de la legislación.

La importancia de los drones en el campo de la inspección, más que en la del mantenimiento, reside en la gran versatilidad que tiene para acceder a cualquier punto de la construcción a analizar y que puede ser dirigida la actuación si correr ningún peligro el técnico de operativa. La incorporación de cámaras de inspección que alta resolución y bajo peso ha permitido que su expansión no deje de crecer.

En cuanto a los sistemas de sustentación autónomos terrestres han sido detectados los siguientes: magnéticos, neumáticos, mecánicos, electrostáticos y químicos [2]. Varios de estos sistemas de sustentación están siendo utilizados con robots prototipos por no encontrarse en una fase de desarrollo suficiente para ser utilizados en el ámbito industrial mientras que otros sistemas ya son utilizados en robots de inspección y mantenimiento a nivel industrial. Ejemplo de ello son los robots que utilizan sistemas de sustentación magnéticos (Figura 2). Evidentemente su uso se circunscribe a estructuras de análisis fabricadas con materiales ferromagnéticos donde el desafío de la sustentación se ve resuelto mediante la incorporación al robot de potentes imanes permanentes (véase niobio) o mediante electroimanes.



Figura 2: Robot de mantenimiento de cascos de barco mediante sustentación magnética y traslación por ruedas.

(Fuente: <https://spinoff.nasa.gov/>)

El sistema de traslación, en la mayoría de los robots existentes en el mercado, se basa en el uso de elementos rodantes, ya sean ruedas omnidireccionales (Figura 3) [3], ruedas de oruga, ruedas fijas y ruedas orientables. En algunos casos, son las propias ruedas las que tienen insertados los imanes (Figura 4) desempeñando en este caso la doble función de sustentación y traslación.

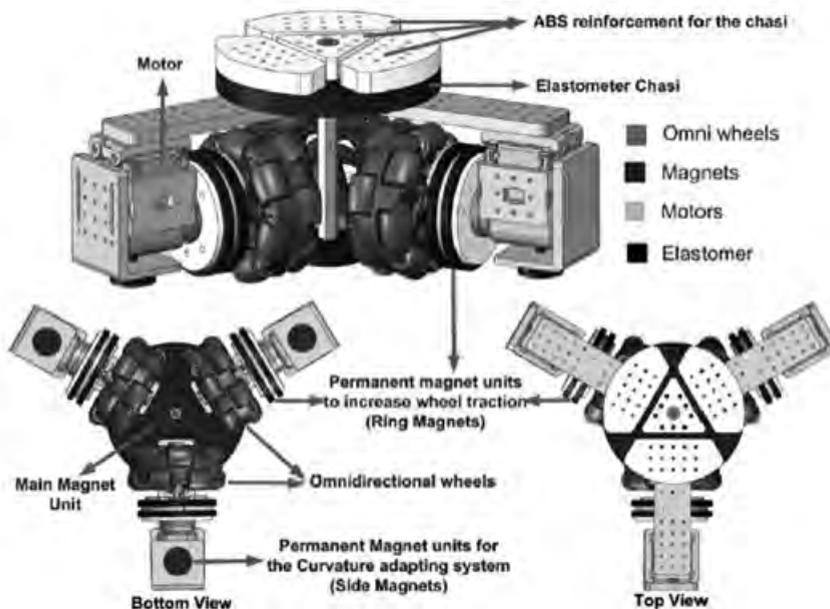


Figura 3: Robot con sustentación magnética y traslación a través de ruedas omnidireccionales.

(Fuente: <https://doi.org/10.1016/j.robot.2013.05.005>)



Figura 4: Robot con sustentación magnética con imanes de niobio en las ruedas.  
(Fuente: <https://www.engineering.com>)

El principal desafío de esta tecnología es conseguir el compromiso perfecto entre la fuerza necesaria para sustentar el peso del robot en todo momento con la capacidad de permitir el movimiento del robot a lo largo de la superficie sin un consumo extra de recursos energéticos. Una vez resuelto el desafío, la sustentación magnética se postula como una tecnología que confiere al robot la capacidad de transportar altas cargas útiles (hasta 200 kg – NREC-UltraStrip), alta seguridad y alta movilidad. Por el contrario su usabilidad, como bien se ha dicho, se limita a estructuras ferromagnéticas.

A modo de ejemplos decir que estos robots están siendo utilizados en tareas de supervisión en aerogeneradores, cascos de grandes embarcaciones y depósitos dentro del sector industrial además de utilizarse en casos concretos como herramientas de mantenimiento en tareas de decapado de pintura y óxido o en procesos de soldadura [4].

Continuando con los sistemas que se desplazan por edificios con alta movilidad se encuentran aquellos robots que se sustentan mediante neumática o presión negativa. Destacar que los sistemas neumáticos pueden ser clasificados a su vez en tres subcategorías atendiendo a los modos de generación del efecto absorción [5]:

- Por presión negativa pasiva mediante ventosas. La acción de una fuerza sobre la ventosa es la encargada de generar una depresión entre la pared y la ventosa, produciéndose un efecto sustentación. Es una buena opción cuando la rugosidad es muy baja.
- Por presión negativa activa producida por varios motores de succión generando depresión en varias cámaras dispuestas en la base de contacto robot/pared. En cómo se controla el número de cámaras y el área de succión que cada una de estas cámaras aporta a la sustentación reside la dificultad del sistema. El citado compromiso sustentación/traslación debe estar optimizado (Figura 5).
- Por presión negativa activa aplicada sobre ventosas siendo generada la depresión desde un sistema externo al robot (Figura 6).



Figura 5: Robot con sustentación por presión negativa activa producida por varios motores de succión y traslación por ruedas.

(Fuente: <https://agrosy.informatik.uni-kl.de/roboer/cromsci/>)

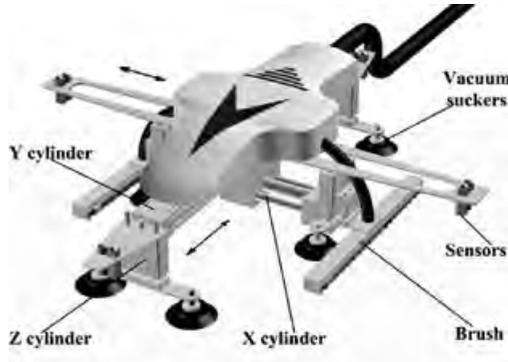


Figura 6: Robot con sustentación por presión negativa activa aplicada sobre ventosas y traslación por extremidades con movimientos cartesianos.

(Fuente: <http://ieeexplore.ieee.org/document/1598051/figures>)

La opción del uso de la neumática en robots escaladores es la más recurrida cuando la superficie a atacar no posee propiedades ferromagnéticas por su capacidad de adaptación a diferentes niveles de rugosidad de la pared si bien es cierto que esta adaptación va directamente relacionada con un correcto diseño de los elementos de sustentación. El control de las pérdidas de presión (vacío) que se genera entre robot y pared es crítico resultando vital el realizar un diseño optimizado de las ventosas (forma, materiales, etc.), de la geometría del impeler (ángulo de los álabes) y de tener en cuenta las condiciones del aire del entorno (densidad, presión, etc.) para dicho control.

La traslación utilizada en los robots neumáticos es muy diversa pudiendo ir desde un robot que se desplaza con estructuras con movimientos cartesianos (fácil control, alta carga útil, baja velocidad de traslación), sistemas de traslación basados en extremidades (gran adaptabilidad, complejo control, baja carga útil y muy lento en desplazamiento), pasando por ruedas de oruga que contienen las ventosas (menos adaptativo pero más rápido y con suficiente capacidad de carga como para transportar sensores o herramientas) así como también el uso de ruedas omnidireccionales (Alta movilidad y velocidad de más de 8m/min).

La gran mayoría de los sistemas existentes con actuaciones de carácter industrial son prototipos que por el momento no se comercializan pero sí es cierto que existen pequeños robots de limpieza de cristales cuyo uso se circunscribe al ámbito residencial (Figura 7). La baja rugosidad que presenta el vidrio de una ventana unido al mínimo peso de este tipo de robots por carecer de grandes sistemas para ejecutar la operativa hace posible la sustentación del mismo.

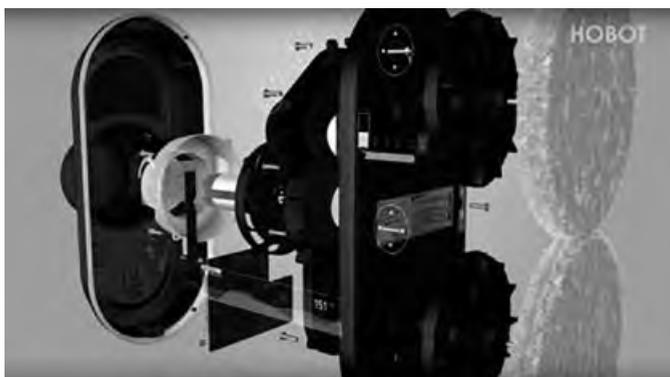


Figura 7: Robot comercial de limpieza de ventanas con sustentación por presión negativa activa producida por varios motores de succión.  
(Fuente: <http://www.hobot.com.tw/>)

Al principio del apartado se han descrito los diferentes sistemas no autónomos que mediante estructuras ancladas al edificio daban soporte mecánico para poder realizar las tareas de inspección y mantenimiento en la actualidad. En cuanto a robots autónomos con sustentación mecánica se deben destacar dos maneras de llevar ésta a cabo: mediante una adhesión basada en el uso de garras y púas o mediante un sistema de agarre o sujeción (Figura 8) [6], [7]. En el primero de los casos la sustentación puede tener lugar cuando la rugosidad de la superficie de actuación del robot es alta y permite suficientes puntos de agarre. En el segundo de los casos, la superficie debe tener protuberancias que permitan anclar el robot mediante el sistema de agarre (véase superficie de ladrillo).



Figura 8: Robot con sustentación por garras y traslación con extremidades.  
(Fuente: <http://ieeexplore.ieee.org/document/1507470/>)

Básicamente este tipo de sustentación va acompañado de un sistema de traslación mediante extremidades lo que conlleva una gran adaptabilidad a la geometría que posee la fachada pero por el contrario posee varias desventajas: difícil control de la traslación resultando ésta lenta y baja carga útil limitando la posibilidad de transportar sistemas de inspección y mantenimiento pesados.

La biología y la química han servido en el campo de la tecnología para generar conceptos de sustentación en robots. Este es el caso de la siguiente tecnología de adherencia: la electrostática o fuerzas de Van der Waals. Los robots que aplican la electrostática para la sustentación incorporan un conjunto de electrodos en los puntos de contacto robot/superficie que hacen posible la misma (Figura 9).



Figura 9: Robot con sustentación electrostática.

Fuente: <https://www.sri.com>)

Una de las ventajas que aporta esta tecnología es su capacidad para poder ser utilizada indistintamente de la superficie de ascensión si bien es cierto que con diferentes fuerzas de adhesión. En concreto, en bibliografía se pueden encontrar valores estimativos sobre la fuerza de adhesión en función del material. Este tipo de electroadhesión además de su versatilidad en diferentes tipos de superficies, es energéticamente eficiente y segura. Por el contrario es una tecnología que todavía se encuentra en fase de desarrollo y que a día de hoy puede soportar poca carga útil en comparación con el propio peso del robot y las dimensiones del mismo.

Otro tipo de electroadhesión existente, y que se basa directamente en conceptos existentes en la zoología, es la denominada adhesión seca o pasiva basada en el fenómeno físico que se produce en las extremidades de los geckos (Figura 10). Las fuerzas de adherencia en este caso se generan a nivel microscópico utilizándose microfilamentos en la superficie de contacto del robot/pared pudiendo alcanzarse fuerzas de adherencia de hasta  $10 \text{ N/cm}^2$ .



Figura 10: Robot con traslación con extremidades “tipo gecko”.  
(Fuente: <http://bdml.stanford.edu>)

La traslación de los robots sustentados bajo electroadhesión se realiza tanto mediante extremidades como a través de rodadura tipo oruga.

Otra de las posibilidades que se incorporan al estado del arte de robots trepadores son aquéllos que basan su sustentación en el uso de adhesivos químicos. Aunque no es una tecnología utilizada habitualmente, principalmente por el compromiso que tiene que existir entre sustentación y traslación, sí que existen ciertos robots a nivel prueba de concepto que utilizan los adhesivos para ascender por superficies.

La principal ventaja de los robots que utilizan adhesivos es su bajo/nulo consumo energético a la hora de mantenerse en estático si bien es cierto que en el arranque del robot el mismo efecto produce un consumo extra de energía.

El uso de adhesivos que modifican sus propiedades ante estímulos externos puede ser una solución interesante a incorporar en los robots. Ejemplo de ello son los adhesivos térmicos que cambian sus propiedades físico-químicas en función de la temperatura o los magnetoreológicos cuyo comportamiento químico depende del campo magnético al que se le someta.

Uno de los principales problemas reside en la capacidad que tienen los adhesivos para poder soportar cargas útiles medias permitiendo a su vez la traslación del dispositivo. En la actualidad, aunque existen los citados adhesivos con cambio de propiedades, estos cambios no son tan importantes como para poder conseguir un gran poder de sustentación y cambiar sus propiedades en la cuantía suficiente para facilitar la traslación del robot.

### 3. CONCLUSIONES

El artículo recoge el estado del arte en sistemas robotizados para ascenso por fachada con la finalidad de poder realizar tareas de mantenimiento e inspección de una manera optimizada y con el menor impacto posible en torno a dicha inspección. Se estudian los sistemas existentes de traslación por fachada y sustentación/adherencia que aplican a los robots trepadores.

Descartados los sistemas de sustentación dependiente de estructura externa de inicio

por considerarlos como sistemas de alto impacto en el entorno de la inspección (viandantes, residentes, tráfico, etc.) se apuesta por el desarrollo de un robot autónomo. Dentro de los sistemas de sustentación presentados y atendiendo a que mayoritariamente los materiales de las fachadas a inspeccionar no son materiales ferromagnéticos queda descartada dicha opción aún siendo ésta la que solventa satisfactoriamente el compromiso entre la sustentación y la traslación del robot. El resto de opciones quedan en fase de investigación aunque inicialmente las soluciones neumáticas son las que se posicionan como soluciones con mayor potencial de éxito a priori.

#### 4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS (Y CITAS EN EL TEXTO)

- [1] Nansai, S., Mohan, R. (2016). A Survey of Wall Climbing Robots: Recent Advances and Challenges. *Robotics*, Volume 5, Issue 3. Doi: 10.3390/robotics5030014
- [2] Schmidt, D., Berns, K. (2013). Climbing robots for maintenance and inspections of vertical structures – A survey of design aspects and technologies. *Robotics and Autonomous System* 61, 1288-1305. Doi: 10.1016/j.robot.2013.09.002
- [3] Tavakoli, M., Viegas, C., Marques, L., Pires, N., de Almeida, A. (2013). OmniClimbers: Omni-directional magnetic wheeled climbing robots. *Robotics and Autonomous System* 61, 997-1007. Doi: 10.1016/j.robot.2013.05.005
- [4] Ross, B., Bares, J., Fromme, M. (2003). A Semi-Autonomous Robot for Stripping Paint from Large Vessels. *The International Journal of Robotics Research* Vol.22, N°7-8, 617-626.
- [5] Hillenbrand, C., Schmidt, D., Berns, K. (2008). CROMSCI – A climbing robot with multiple sucking chambers for inspection tasks. En *Proceedings of the Eleventh International Conference on Climbing and Walking Robots and the Support Technologies for Mobile Machines. Advances in Mobile Robotics* (pp. 311-318). Coimbra, University of Coimbra.
- [6] S. Kim, S., Asbeck, A.T., Cutkosky, M.R., Provancher, W.R. (2005). Spinybot II: climbing hard walls with compliant microspines, in: *Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Conference on Advanced Robotics, ICAR, Sousse, Tunisia, 2005*, pp. 601–606.
- [7] Spenko, M.J., Haynes, G.C., Sanders, J.A., Cutkosky, M.R., Rizzi, A., Full, R.J., Koditschek, D.E. (2008). Biologically Inspired Climbing with a Hexapedal Robot. *Journal of Field Robotics*, Volume 25, Issue 4-5, April 2008, pages 223-242. Doi: 10.1002/rob.20238.

## EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD EN LA REHABILITACIÓN ENERGÉTICA DE VIVIENDA SOCIAL EN PAÍSES MEDITERRÁNEOS

GIMENO FRONTERA, BEATRIZ<sup>1</sup>; ARANDA USÓN, JUAN<sup>2</sup>;  
ZAMBRANA VASQUEZ, DAVID<sup>3</sup>; CONSERVA, ANDREA<sup>4</sup>;  
LÓPEZ, PILAR<sup>5</sup>; ALBIAC, FERNANDO<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Centro de investigación de recursos y consumos energéticos (CIRCE), Zaragoza, España  
E-mail: bgimeno@fcirce.es, Web: <http://www.fcirce.es/>

<sup>2</sup> Centro de investigación de recursos y consumos energéticos (CIRCE), Zaragoza, España  
E-mail: [juan.aranda@fcirce.es](mailto:juan.aranda@fcirce.es), Web: <http://www.fcirce.es/>

<sup>3</sup> Centro de investigación de recursos y consumos energéticos (CIRCE), Zaragoza, España  
E-mail: [zambrana@fcirce.es](mailto:zambrana@fcirce.es), Web: <http://www.fcirce.es/>

<sup>4</sup> Centro de investigación de recursos y consumos energéticos (CIRCE), Zaragoza, España  
E-mail: [aconserva@fcirce.es](mailto:aconserva@fcirce.es), Web: <http://www.fcirce.es/>

<sup>5</sup> Zaragoza Vivienda, Zaragoza, España  
E-mail: [plopez@zaragozavivienda.es](mailto:plopez@zaragozavivienda.es), Web: <http://zaragozavivienda.es/>

<sup>6</sup> Zaragoza Vivienda, Zaragoza, España  
E-mail: [falbiac@zaragozavivienda.es](mailto:falbiac@zaragozavivienda.es), Web: <http://zaragozavivienda.es/>

**PALABRAS CLAVE:** Sostenibilidad. Análisis de Ciclo de Vida. Rehabilitación energética. Vivienda social.

### RESUMEN

En España, donde existen más de 18 millones de hogares según el último censo del Instituto Nacional de Estadística en 2011, alrededor del 8% de la población reside en viviendas de alquiler social. Del parque de viviendas español, más de la mitad de los edificios se construyeron antes de 1980 y alrededor del 35% entre 1981 y 2006, año en que fue implantado el Código Técnico de la Edificación. Asimismo, más del 80% de los certificados energéticos

de edificios existentes registrados hasta julio de 2015, obtiene una calificación E o inferior en términos de emisiones de CO<sub>2</sub>. Para mejorar estos resultados, la Unión Europea tiene como objetivo alcanzar una tasa de rehabilitación de edificios privados del 2,5% anual, mejorando la eficiencia energética y ampliando la vida útil del parque edificatorio.

Sin embargo, los CEEE únicamente representan parte de la etapa de uso, dejando atrás otras, como la de producción, cuyo impacto puede representar un cuarto de las emisiones de CO<sub>2</sub> del edificio a lo largo de su ciclo de vida. Para desarrollar una rehabilitación óptima, se propone evaluar la sostenibilidad de los proyectos de rehabilitación incluyendo las etapas de producción, construcción, uso y fin de vida y considerando el impacto medioambiental y económico, así como aspectos sociales relativos a las características de la vivienda social.

Este artículo analiza los impactos medioambientales de diferentes soluciones de rehabilitación en vivienda social, tomando como caso de estudio un edificio de vivienda social en Zaragoza. El edificio antes de la rehabilitación supone casi 50 kgCO<sub>2</sub>-eq/m<sup>2</sup>año, donde el 60% corresponden al consumo eléctrico durante la fase de uso del edificio. En el estudio también se incluye la variable de confort térmico en situaciones de vulnerabilidad energética.

## 1. INTRODUCCIÓN

El sector de la edificación representa alrededor del 40% del consumo total de energía final, aporta alrededor del 36% de las emisiones europeas de gases de efecto invernadero y aproximadamente la mitad de las emisiones de CO<sub>2</sub> no cubiertas por el Régimen de Comercio de Derechos de Emisión de la Unión Europea (UE) [1], [2]. Teniendo en cuenta su importancia referente a los indicadores mencionados, el marco regulatorio europeo sobre eficiencia energética en edificios: la Directiva 2010/31/UE [3] relativa a la eficiencia energética de los edificios y la Directiva de 2012/27/UE [4] relativa a la eficiencia energética, establecen un paquete de medidas de eficiencia energética, tanto para edificios nuevos como para existentes, que deben ser implementadas por todos los Estados miembros. Este paquete está configurado para cumplir con el objetivo para 2020 de la UE hacia los edificios de consumo de energía casi nula (Nearly Zero-Energy Buildings, NZEB) en nuevas construcciones y la mejora de la eficiencia energética en los edificios existentes. Teniendo en cuenta que alrededor del 35% del stock edificatorio europeo tiene más de 50 años de antigüedad, parece claro que es necesario emprender acciones en la búsqueda de un parque edificatorio con un menor consumo energético.

En 2015, casi dos tercios de las familias españolas con ingresos por debajo del 60% de la mediana de los ingresos por unidad de consumo residía en viviendas en propiedad, mientras que en torno al 16% lo hacía en viviendas de alquiler social [5]. Ese mismo año, casi el 11% y el 9% de la población de la EU-28 y española, respectivamente, residía en viviendas de alquiler protegido y/o gratuito [5]. Buena parte de los edificios donde se encuentran estas viviendas sociales fueron construidas tras la Segunda Guerra Mundial en Europa, [6] y la Guerra Civil, en España, [7] para dar respuesta a la escasez de vivienda disponible. En España, destacan los polígonos sindicales construidos entre 1940 y 1980, constituidos por bloques lineales basados en modelos determinados por requerimientos normativos y económicos, pero cuya obsolescencia se empieza a manifestar con el aumento de la construcción en altura y cambios sociales en los años 80 [7].

En España, la CE estima que alrededor del 50% del consumo energético de viviendas

se destina a la calefacción de espacios y que el consumo medio por hogar se encuentra en torno a los 100 kWh/m<sup>2</sup> año [8]. De acuerdo con el III Estudio de Pobreza Energética [9], en España, más de un 20% de hogares experimentan situaciones asociadas a la pobreza energética y afirma que alrededor del 11% *'es incapaz de mantener su vivienda a una temperatura adecuada en invierno'*, es decir, sin alcanzar las condiciones de confort higrotérmico recomendadas. Asimismo, estima que el 6% de los hogares dedican más del 15% de sus ingresos familiares al pago de facturas energéticas. Por otro lado, de acuerdo con los datos del Censo de 2011 realizado en España por el Instituto Nacional de Estadística (INE), un tercio de las viviendas principales construidas entre 1940 y 1990 no dispone de instalación de calefacción, aunque sí dispone de aparatos que permiten calentar los espacios, mientras que el 15% carece de cualquier equipo que permita calentar la vivienda [10]. Para evitar y/o reducir los casos de hogares en situación de pobreza energética, algunos países de la Unión Europea disponen de herramientas para la financiación parcial y/o total de la factura energética de los hogares como, por ejemplo, los bonos sociales disponibles en Italia y en España [11], [12].

Por tanto, uno de los mayores desafíos a los que se enfrentan los núcleos urbanos actuales es a la regeneración de los conjuntos de vivienda social construidos en la segunda mitad del siglo XX y que, hoy en día, se encuentran obsoletos a dos niveles; por un lado, desde el punto de vista social presentan falta de relación con el resto de la ciudad, se encuentran en barrios vulnerables y carecen de adaptación a las necesidades actuales. Por otro lado, desde el punto de vista constructivo, pueden presentar patologías, escasa eficiencia energética y mantenimiento insuficiente [7]. A esta situación edificatoria hay que sumar la situación de vulnerabilidad y pobreza en la que se encuentran algunos de sus usuarios. Para evaluación de la sostenibilidad en la rehabilitación energética de vivienda social en países mediterráneos, bajo los tres enfoques de evaluación del comportamiento ambiental, social y económico, respectivamente, en el presente artículo se analiza un caso de estudio de rehabilitación de un bloque residencial, situado en Zaragoza. Se incluyen, además, consideraciones de aspecto social relacionados con la minimización del riesgo de vulnerabilidad energética asociado con las características del caso de estudio.

## 2. METODOLOGÍA

La metodología de ACV ha sido utilizada para la evaluación de los impactos ambientales de cada una de las etapas del ciclo de vida del edificio. La metodología está estandarizada a través de las normas ISO 14040:2006 [13] e ISO 14044:2006 [14]. La evaluación de la sostenibilidad del caso de estudio se realiza en el marco de las Normas UNE-EN 15643-2:2012 [15], UNE-EN 15643-3:2012 [16] y UNE-EN 15643-4:2012 [17]. La metodología empleada se basa en los límites y etapas de ciclo de vida revisadas para rehabilitación de edificios [18]. La evaluación de impacto ambiental se realiza desde un punto de vista *'Mid-point'* [19]. Considerando las etapas de evaluación de impacto (clasificación, caracterización, normalización y ponderación), los factores de caracterización utilizados para cuantificar el impacto ambiental potencial del Inventario de Ciclo de Vida (ICV) son aquellos que presenta la metodología de evaluación de impacto IPCC 2007 GWP 100a V1.02 [20], utilizando el Software SimaPro v.7.3.2 [21] que resume las emisiones de Gas de Efecto Invernadero (GEI) en términos de emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente.

### 3. CASO DE ESTUDIO

El caso de estudio está situado en Zaragoza y se trata de un bloque residencial de alrededor de 5.000 m<sup>2</sup>, construido en 1990 y que es rehabilitado durante el 2018, conservando sus características geométricas y de distribución de los espacios interiores. A pesar de estar construido fuera del rango temporal principal de construcción de polígonos sindicales españoles (entre 1940 y 1980), comparte características formales y tipológicas con ellos. Por un lado, sus arquitectos originales manifiestan en el proyecto la voluntad de respetar la ordenación espacial existente en el barrio, resultando un esquema entre la manzana cerrada y bloques abiertos de los polígonos sindicales del entorno [22]. Por otro lado, su organización general se basa en la economía de medios y la distribución interior con una zonificación clara día-noche, como era habitual en estas tipologías. El edificio tiene una altura de 4 plantas sobre rasante y posee una planta bajo rasante, aunque esta última no está ocupada. Las viviendas que componen el bloque, 53 en total, tienen la misma orientación doble norte y sur, menos aquellas más pequeñas que sólo se orientan a sur y las ubicadas en los testeros que también tienen orientación oeste o este, aunque no tienen huecos abiertos en estas orientaciones.

#### 3.1 Características del edificio

La estructura del edificio se basa en pórticos de hormigón armado. La envolvente vertical opaca ( $U=0,52$  W/m<sup>2</sup>K) se compone por una doble hoja de ladrillo: hueco sencillo por la cara interior y cara vista por el exterior. Entre ellos se encuentra una capa de 4,5 cm de aislamiento en fibra de vidrio. Por otro lado, la cubierta del edificio ( $U=2,51$  W/m<sup>2</sup>K) se construye con tabiquillos palomeros y también posee aislante térmico. Las carpinterías son de aluminio sin rotura de puente térmico y se componen de doble vidrio (4/6/4). En la fachada norte, debido a las infiltraciones de aire causadas por el Cierzo, algunas viviendas poseen doble ventana. La mayoría de las viviendas cuenta con radiadores eléctricos instalados durante su construcción. No disponiendo de datos segregados de consumo, se podría suponer que, de acuerdo con las condiciones climáticas, más del 50% del consumo energético del edificio [8], enteramente eléctrico, se debería al uso del sistema de calefacción. Sin embargo, el consumo energético teórico obtenido en la Certificación de Eficiencia Energética del Edificio (CEEE), de acuerdo con el RD 235/2013 [23], es de 193<sup>1</sup> kWh/m<sup>2</sup>año, un 72% más alto que el consumo medio del edificio (54,2 kWh/m<sup>2</sup>año). En la Figura 1 se muestran los consumos anuales de energía final por cada metro cuadrado útil de vivienda en los años 2014, 2015 y 2016 calculado a partir de las facturas energéticas recopiladas.

---

<sup>1</sup> El consumo de los electrodomésticos no está incluido.

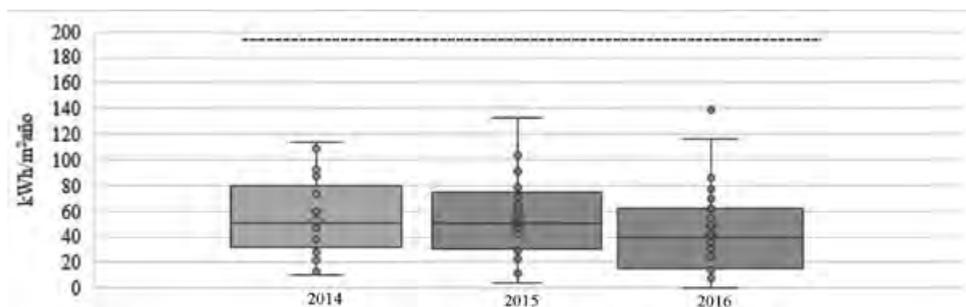


Figura 1: Consumo de energía final reportado por las viviendas para los años 2014, 2015 y 2016 y consumo de energía final teórico obtenido en el CEEE.

Con los trabajos de rehabilitación, se sustituyen las ventanas existentes por carpinterías con marco de aluminio con Rotura de Puente Térmico y vidrios 6/20/4, principalmente. A la fachada norte y forjados en contacto con el exterior, se añadirá un Sistema de Aislamiento Térmico Exterior (SATE) con 10 cm de EPS. En las fachadas este y oeste, se colocan 18 cm de lana de roca con un revestimiento mixto en hormigón polimérico y paneles fotovoltaicos sobre estructura de aluminio. En la fachada sur se dejará el ladrillo caravista al exterior en la mayor parte de la superficie y se insuflará lana de roca en las cámaras de aire existentes entre las hojas de fábrica.

### 3.2 Escenario e inventario ACV rehabilitación

El análisis se ha dividido en dos partes, la primera analiza el impacto medioambiental y de costes de ciclo de vida del edificio original, para posteriormente, añadir los efectos de realizar una rehabilitación en el año 2018. Tras la rehabilitación, se estima que es posible ampliar la vida útil del edificio 50 años, siguiendo los criterios establecidos por la ISO 15686-1:2011 [24], durante los cuales se evaluará el nuevo consumo energético y de agua, así como la reposición de equipos y materiales con vida estimada inferior al periodo de estudio. El consumo energético tomado para el estudio es el consumo real medio en el año 2015 y la disminución del consumo energético considera una reducción del consumo de climatización en un 80%, suponiendo el consumo de electrodomésticos medio de 2.100 kWh/vivienda [25]. Para la evaluación del impacto ambiental del edificio se supone un valor de mix eléctrico estático correspondiente a la base de datos Ecoinvent v2.2 para el consumo de energía eléctrica de red en baja tensión en España.

Las fases de producción y construcción, en términos económicos, consideran el valor de los materiales y la construcción del año de edificación (1990) actualizados a la fecha del estudio (2017), según la tasa promedio de incremento general de precios, que es de 3,93% de promedio anual. Con este valor, el factor de conversión de la inversión inicial a valor actual es de 2,72. Estos costes no incluyen IVA. En las fases de uso y fin de vida, de nuevo se ha tenido en cuenta el valor temporal del dinero usando una tasa de descuento del 2%, similar a la inflación esperada para el periodo (objetivo de la autoridad monetaria de la zona euro). El coste de electricidad promedio es de 0,22 €/kWh, sin IVA incluyendo término fijo y variable, así como el impuesto de la electricidad. Este coste ponderado por unidad consumida es muy alto debido al excesivo peso del término fijo por alta potencia contratada

(promedio 4,3 kW) y bajos consumos en general. A continuación, se presenta un resumen del inventario de ACV que corresponde únicamente a la rehabilitación, aunque para la evaluación del edificio también se ha considerado el estado actual del inmueble.

Tabla 1: Resumen inventario de ACV-ACCV.

<b>Etapa de Producción</b>			
Fachada exterior	SATE	1.663 m <sup>2</sup>	105.625,44 €
	Sistema fachada 'BuildHeat'	475 m <sup>2</sup>	
	Celosía	87 m <sup>2</sup>	
	Acabados de aluminio	172 m	
	Lana de roca en cámara de aire	37 m <sup>3</sup>	
Forjado interior	Sustitución de falso techo	603 m <sup>2</sup>	22.208,49 €
Forjado exterior	SATE	143 m <sup>2</sup>	31.703,92 €
	Lana de roca	54 m <sup>3</sup>	
Cubierta	Escaleras de aluminio	5 ud	60.816,46 €
	Lana de roca	298 m <sup>3</sup>	
	Losa filtrante	55 m <sup>2</sup>	
	Pasarela metálica	110 m <sup>2</sup>	
Huecos	Marcos de aluminio	580 m <sup>2</sup>	218.292,35 €
	Vidrio		
Instalaciones	ElfoPack + ElfoAir	53 ud	626.208,68 €
	PV + Inverter	5 ud/vivienda	
	Controlador	1 ud/vivienda	
<b>Etapa de Construcción</b>			
Gestión de residuos	No disponible		18.792,65 €
Control de calidad	No aplica		2.254,90 €
Seguridad y salud	No aplica		19.615,31 €
Gastos generales y beneficio industrial	No aplica		103.991,20 €
<b>Etapa de Uso</b>			
Consumo energía final <sup>2</sup>	33,9 kWh/m <sup>2</sup> año		7,48 €/ m <sup>2</sup> año
<b>Etapa de Fin de Vida</b>			
Material añadido	(Ver etapa de producción)		No disponible
Material retirado	6.832 kg		
Carpinterías retiradas	580 m <sup>2</sup>		

<sup>2</sup> Consumo de energía teórico medio.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Resultados de análisis de ciclo de vida medioambiental

En términos medioambientales, la rehabilitación supone, por un lado, el incremento del impacto embebido (impacto embebido recurrente) del edificio debido a la incorporación de nuevos productos y materiales constructivos, así como, por los trabajos de instalación; sin embargo, por otro lado, permitirá reducir la demanda y el consumo energético de las viviendas, disminuyendo el impacto medioambiental de la operación del edificio. Además, si la rehabilitación del edificio permite la ampliación de la vida útil del edificio, se podría optimizar el consumo de recursos de la construcción original como se refleja en la Tabla 2

Tabla 2: Balance Emisiones de CO<sub>2</sub>-eq al realizar la rehabilitación en el año 28.

Calentamiento Global (kgCO <sub>2</sub> -eq/m <sup>2</sup> año)				
		Estado actual (50 años)	Rehabilitación (50 años)	Situación final (28 + 50 años)
<b>Fase Producción</b>		10,7	2,1	8,0
<b>Fase Construcción</b>		0,6	0,0	0,4
<b>Fase de Uso</b>	<b>Electricidad + agua</b>	30,5	21,0	23,8
	<b>Sustitución de materiales</b>	2,5	1,6	2,6
<b>Fase Fin de Vida</b>		0,5	0,0	0,3
<b>Total</b>		<b>44,7</b>	<b>24,7</b>	<b>35,0</b>

Considerando el consumo medio del edificio y suponiendo que la vida útil del edificio se alarga en 50 años con motivo de las obras de rehabilitación, el retorno medioambiental se produciría en el año 48 del edificio. Las viviendas que originalmente consumían por debajo del consumo teórico esperado tras la rehabilitación (50,8 kWh/m<sup>2</sup>año) no se espera que reduzcan el consumo energético, pero sí que aumentarán el número de horas/año que se encuentran a temperatura de confort. Cuanto mayor sea el consumo inicial, mayor beneficio ambiental relativo obtendrán, pudiendo alcanzar el payback, en términos de emisiones de CO<sub>2</sub> en el año 32 en el caso de la vivienda de mayor consumo del edificio.

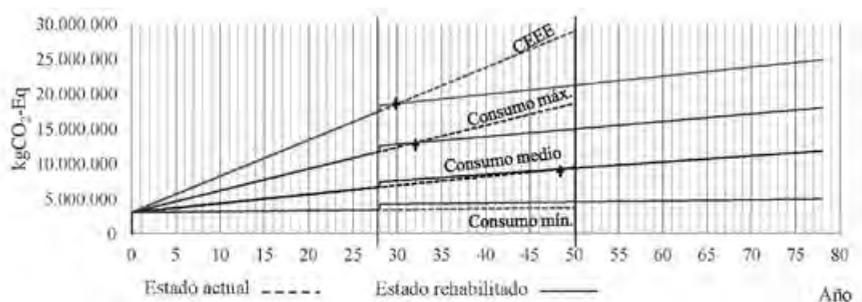


Figura 2: Comparativa emisiones de CO<sub>2</sub>-Eq acumuladas del edificio considerando el consumo energético de i) CEEE, ii) Consumo real máximo, iii) Consumo real medio, iv) Consumo real mínimo.

**4.2 Resultados de análisis de costes de ciclo de vida**

A continuación, se presentan los resultados teniendo en cuenta los costes de ciclo de vida de cada una de las etapas consideradas (incluyendo aquellas con la sustitución y fin de vida de los materiales incorporados). Los resultados obtenidos se muestran en la Figura. En la figura se aprecia que el 57% de los costes provienen de la producción y la construcción mientras que el 42% viene de la fase de uso. La fase de fin de vida no es significativa en costes. El coste final de ciclo de vida es de 7,4 millones de € de 2017. Los costes de la rehabilitación ascienden a 1,2 M€, incluyendo instalaciones y equipos, o aproximadamente 23.600 € por vivienda. El coste total descontado de la rehabilitación y los nuevos consumos a 50 años es 3,8 M€. La distribución de los costes de la rehabilitación por fase de ciclo de vida a 50 años se aprecia en la figura adjunta.



Figura 3: Costes de ciclo de vida del edificio y la rehabilitación a 50 años en € de 2017.

En la Tabla 3 se aprecia una ligera disminución de la fase de uso, debido al alto coste de los componentes empleados en la rehabilitación, y a la limitada vida útil de los mismos, establecida en 20 años. En un periodo de 50 años, estos elementos deberían reponerse 2,5 veces. Exceptuando los costes de los consumos, el resto de costes deben añadirse a los del edificio iniciales para calcular el nuevo coste de ciclo de vida del edificio rehabilitado. El coste total a 50 años del edificio rehabilitado es 8,4 M€ lo que representa un 12% más. El resultado comparativo con el edificio antes de la rehabilitación se muestra en la tabla siguiente.

Tabla 3: Comparación de costes de ciclo de vida del edificio antes y después de la rehabilitación a 50 años en € de 2017.

Costes de ciclo de vida (€)				
		No rehabilitado	Rehabilitado	Diferencia
<b>Fase Producción</b>		2,941,223 €	4,004,649 €	1,063,426 €
<b>Fase Construcción</b>		1,229,106 €	1,370,924 €	141,818 €
<b>Fase de Uso</b>	<b>Electricidad + agua</b>	2,714,560 €	1,986,866 €	-863,412 €
	<b>Sustitución de materiales</b>	320,735 €	981,000 €	660,265 €
<b>Fase Fin de Vida</b>		70,300 €	70,744 €	444 €

**4.3 Resultados del comportamiento social del edificio**

La evaluación del comportamiento social de los edificios se realiza mediante indicado-

res cualitativos y/o cuantitativos. A continuación, se realiza un resumen de los principales aspectos sociales de la etapa de uso/operación de acuerdo a la EN15643-3:2012.

**Accesibilidad.** Por un lado, en las inmediaciones del inmueble se dispone de acceso a dos líneas de autobús que lo comunican con el resto del barrio y de la ciudad. Por otro lado, el edificio carece, tanto en el estado actual como tras la rehabilitación, de ascensor u otras medidas de accesibilidad para personas con necesidades especiales y/o diversidad funcional. Sin embargo, en la redacción del proyecto original los arquitectos manifiestan que las viviendas en planta baja fueron proyectadas para Personas con Movilidad Reducida (PMR). Dado que la mayor parte de las obras de rehabilitación se desarrollan en el exterior del edificio, no se prevé que supongan un inconveniente a la accesibilidad ni realicen cambios significativos en este sentido.

**Adaptabilidad.** Las características originales del edificio permiten modificar las instalaciones existentes del edificio. Además, la principal intervención en la fachada se basa en una estructura modular que, podría admitir modificaciones en un futuro, así como el paso de ciertos elementos entre el acabado y la fachada original.

**Salud y confort.** Dado que algunos usuarios del edificio se encuentran en situación de pobreza o riesgo de pobreza energética, la mejora de las prestaciones de la envolvente permite alcanzar la temperatura de confort con un menor consumo de energía, así como evitar paredes frías e infiltraciones de aire descontroladas. Asimismo, la rehabilitación permite subsanar y/o reducir el riesgo de patologías, como humedades.

**Impacto en el vecindario.** No se observan impactos significativos en el vecindario, salvo posibles emisiones de partículas y ruidos durante el desarrollo de las obras de rehabilitación

**Mantenimiento y mantenibilidad.** Los equipos y sistemas instalados disponen de recomendaciones para el mantenimiento preventivo.

**Seguridad.** El edificio no dispone, ni se esperan modificaciones, de elementos especiales o específicos relacionados con la seguridad.

## 5. CONCLUSIONES

Debido a que el consumo energético del edificio está por debajo del consumo teórico acorde con sus características constructivas, la reducción del impacto medioambiental es inferior al correspondiente a la demanda del edificio. Incluso, se podría dar, en algunas viviendas, el efecto rebote conocido como '*Paradoja de Jevons*' [26]. Sin embargo, en términos sociales, se espera un aumento de las condiciones de habitabilidad y confort de las viviendas, así como de seguridad. Los resultados medioambientales se podrían mejorar con la incorporación de materiales de menor impacto ambiental y/o la recuperación de los materiales de rehabilitación durante la etapa de fin de vida del edificio. En términos de costes no se alcanza el retorno de la inversión en los primeros 50 años y habría que extender la vida del edificio hasta 112 años desde la fecha de construcción para alcanzar el punto de retorno de la inversión realizada en el año 2017. Aunque la energía ahorrada es eléctrica, la más cara en términos de energía final, el alto coste de las inversiones realizadas, la reposición probable cada 20 años por fin de vida y los bajos consumos iniciales de estas viviendas, hacen que la inversión planteada no tenga sentido desde un punto de vista económico de ciclo de vida. Para consumos mayores iniciales, y suponiendo un consumo final fijo de 33,9 kWh/m<sup>2</sup> y año, la inversión sí que podría alcanzar la viabilidad económica. El límite para

alcanzar un retorno de la inversión en el año 50 tras la rehabilitación, estaría en familias con un consumo inicial de 70 kWh/m<sup>2</sup> y año. Teniendo en cuenta que el consumo promedio en un edificio para una familia en España es de 100 kWh/m<sup>2</sup>año [8], cantidad que exceden algunas viviendas del bloque analizado, este escenario es totalmente posible para el promedio de consumos domésticos actuales del país, pero no parece viable en el caso de vivienda social como promedio.

## 6. RECONOCIMIENTOS

Este documento se ha desarrollado bajo el marco del proyecto ‘Standardised approaches and products for the systemic retrofit of residential Buildings, focusing on HEATING and cooling consumptions attenuation’ BuildHeat financiado por la Unión Europea, por el programa Horizon 2020 Innovation Framework Programme, con número de proyecto 680658.

## 7. ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

ACCV: Análisis de Costes de Ciclo de Vida.  
 ACS: Agua Caliente Sanitaria.  
 ACV: Análisis de Ciclo de Vida.  
 CEEE: Certificación de Eficiencia Energética de Edificios.  
 EPS: Poliestireno Expandido.  
 GEI: Gases de Efecto Invernadero.  
 ICV: Inventario de Ciclo de Vida.  
 NZEB: Nearly Zero- Energy Building (Edificios de consumo de energía casi nula)  
 PMR: Persona con Movilidad Reducida.  
 SATE: Sistema de Aislamiento Térmico Exterior.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS (Y CITAS EN EL TEXTO)

- [1] European Commission, «Energy-efficient buildings: multi-annual roadmap for the contractual PPP under Horizon 2020.» 2013.
- [2] Commission of the European Communities (COTEC), “Commission staff working document- accompanying document to the proposal for a recast of energy performance of buildings directive (2002/91/EC)- Summary of the impact assessment,” 2008.
- [3] European Commission, «Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings,» Official Journal of the European Union, 2010.
- [4] European Commission, «Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC,» Official Journal of the European Union 315, 2012.
- [5] Eurostat, «Estadísticas sobre vivienda,» 2017.
- [6] A. Carawell, The Encyclopedia of Housing, 2ª Edición a cura di, SAGE Publications, 2012.
- [7] A. Guajardo, «Análisis tipológico de bloques líneas de vivienda social: España 1950-1983. El caso de Andalucía occidental.» *Informes de la Construcción*, vol. 69, n. 545, 2016.
- [8] Comisión Europea, «EU Buildings Database,» 2017.
- [9] Asociación de Ciencias Ambientales (ACA), «III Estudio de Pobreza Energética (Pobreza, vulnerabilidad y desigualdad energética). Nuevos enfoques de análisis,» 2016.

- [10] Instituto Nacional de Estadística, *Censo de Población y Viviendas 2011*.
- [11] Selectra, «¿Cómo funcionan las ayudas a las facturas de luz y gas en Europa? Comparación entre países y propuestas de mejora,» 2016.
- [12] Ministerio de Energía, Turismo y Agenda digital. Gobierno de España, *Real Decreto 697/2017, 6 de octubre, por el que se regula la figura del consumidor vulnerable, el bono social y otras medidas de protección para los consumidores domésticos de energía eléctrica*, 2017.
- [13] International Organisation for Standardisation, «ISO 14040:2006, Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework, in International Organization for Standardization,» Geneva, Switzerland, 2006.
- [14] International Organisation for Standardisation, «ISO 14044:2006, Environmental Management – Life Cycle Assessment – Requirements and guidelines, in International Organization for Standardization,» Geneva, Switzerland, 2006.
- [15] CTN 198 - SOSTENIBILIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN, «UNE-EN 15643-2:2012. Sostenibilidad en la construcción. Evaluación de la sostenibilidad de los edificios. Parte 2: Marco para la evaluación del comportamiento ambiental.,» 2012.
- [16] CTN 198 - SOSTENIBILIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN, «UNE-EN 15643-3:2012. Sostenibilidad en la construcción. Evaluación de la sostenibilidad de los edificios. Parte 3: Marco para la evaluación del comportamiento social.,» 2011.
- [17] CTN 198 - SOSTENIBILIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN, «UNE-EN 15643-4:2012. Sostenibilidad en la construcción. Evaluación de la sostenibilidad de los edificios. Parte 4: Marco para la evaluación del comportamiento económico.,» 2012.
- [18] A. Vilches, A. García-Martínez e B. Sánchez-Montañés, «Life Cycle Assessment (LCA) of building refurbishment: A literature review,» *Energy and Buildings*, n. 135, pp. 286-301, 2016.
- [19] E. Gentil, A. Damgaard, M. Hauschild, G. Finnvede, O. Eriksson, S. Thorneloe, P. Kaplan, M. Barlaz, O. Muller, Y. Matsui, R. Li e T. Christensen, «Models for waste life cycle assessment: review of technical assumptions,» *Waste Management*, vol. 30, pp. 2636-2648, 2010.
- [20] Intergovernmental, 2007. Climate Change, «The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC,» Cambridge University Press, 2007.
- [21] G. Rebitzer, T. Ekvall, R. Frischknecht, D. Hunkeler, G. Norris, T. Rydberg, W. Schmidt, S. Suh, B. Weidema e D. Pennington, «Life cycle assessment: Part I: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications,» *Environment International*, n. 30, pp. 701-720, 2004.
- [22] E. Adiego Adiego, S. Gil Arguedas, A. Asensio Rubio e E. Burillo Ezquerro, «Memoria de proyecto Edificio de 53 viviendas de protección oficial,» 1988.
- [23] Ministerio de la Presidencia. Gobierno de España, *Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios*, 2013.
- [24] ISO/TC 59/SC 14 - Design life, «ISO 15686-1:2011. Buildings and constructed assets -- Service life planning -- Part 1: General principles and framework».
- [25] IDAE. Secretaría General. Departamento de Planificación y estudios, «Análisis del consumo energéticodel sector residencial en España. PROYECTO SECH-SPAHOUSEC,» 2011.
- [26] E. Hache, D. Leboullenger and V. Mignon, “Beyond average energy consumption in French residential housing market: A household classification approach,” *Energy policy*, vol. 107, pp. 82-95, 2017.

## LA PERCEPCIÓN SOBRE LA CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO DE EDIFICIOS A TRAVÉS DE LOS MEDIOS DE COMUNICACIÓN

TRUJILLO TALAVERA, ANTONIO

*Profesional Liberal, Cuenca, España*

*E-mail: aparejador@antoniotrujillo.es, Web: www.antoniotrujillo.es*

**PALABRAS CLAVE:** conservación; mantenimiento; desprendimientos; rehabilitación; medios de comunicación.

### RESUMEN

La normativa española, tanto a nivel nacional como autonómico e incluso a nivel local, respecto a la conservación, mantenimiento y rehabilitación de construcciones y edificios, establece claramente el deber de los propietarios de mantenerlos en condiciones de seguridad, salubridad, ornato público y decoro.

La realidad es que nos encontramos con un parque edificatorio con un alto porcentaje de edificaciones obsoletas y mal conservadas y en las que no se realiza una adecuada gestión preventiva de deficiencias, sino que vivimos en una sociedad más de reparar tras producirse el daño. Pensamos que las edificaciones se mantienen solas.

Esto queda reflejado a través de los medios de comunicación en los que es frecuente atribuir un incidente en un edificio a factores como “las últimas lluvias”, “un fuerte temporal”, o directamente “causas indeterminadas”, antes que buscar su origen en un inadecuado o inexistente mantenimiento. También es frecuente requerir a los servicios públicos, como bomberos o policía, para intervenir ante un incidente en una edificación cuando se entiende que existe riesgo para las personas, siendo ese riesgo causado por falta de mantenimiento.

En el estudio que presentamos se han recopilado durante los años 2016 y 2017, a través de los medios de comunicación y redes sociales, más de 1500 incidentes en edificaciones en

España (desprendimientos, roturas, derrumbes, etc.) directamente relacionados con la falta de conservación y mantenimiento. Estos incidentes se han organizado según su tipología y datos significativos: tipo de incidente; localización; gravedad; afección a terceros; intervención de bomberos o policía; causalidad.

Los resultados obtenidos nos permiten observar un mapa muy ilustrativo de la percepción que tiene la sociedad española sobre la conservación y mantenimiento de los edificios cuando se produce un incidente en una edificación, reflejada a través de los medios de comunicación y redes sociales.

## 1. INTRODUCCIÓN

Diariamente aparecen en los medios de comunicación, e incluso en nuestro entorno directo, intervenciones de los servicios de emergencia sobre una edificación en la que existe peligro o donde ya se ha producido un desprendimiento sobre la vía pública.

El objetivo del estudio es **determinar la percepción que existe en la sociedad sobre la conservación y mantenimiento de edificios**, manifestada esa percepción a través de los medios de comunicación y redes sociales. Para ello se ha pretendido cuantificar y tipificar los incidentes en edificaciones en España durante los años 2.016 y 2.017 recogidos en noticias de periódicos digitales y comunicaciones de redes sociales, donde a juicio de un técnico fuera obvio la falta de mantenimiento como una de las causas del incidente.

## 2. DESARROLLO / METODOLOGÍA

El estudio se ha basado en la recopilación de información de incidentes en edificaciones (desprendimientos, roturas, derrumbes, etc.) en España durante los años 2.016 y 2.017 de los medios de comunicación online y redes sociales, para su tratamiento y análisis según los objetivos marcados.

Los datos para la realización del estudio se han tomado de tres fuentes principalmente:

1. **Google Alerts**, que es un servicio de supervisión de contenidos que automáticamente notifica al usuario cuando el nuevo contenido de las noticias, web, blogs, video y/o grupos de discusión coincide con un conjunto de términos de búsqueda seleccionados por el usuario. Para nuestro fin se utilizaron los criterios de búsqueda de sólo noticias con frecuencia diaria, y se indicaron como términos de búsqueda las palabras clave “cornisa”, “derrumbe” y “desprendimiento”.
2. **Herramienta de búsqueda avanzada de la red social Twitter**, que permite acotar la búsqueda en función de varios factores como idioma, ubicación, fecha o palabras clave. Para nuestro estudio se ha acotado la búsqueda en España y usando como términos de búsqueda las palabras clave “desplome fachada”, “desprendimiento fachada”, “desprendimiento cornisa”, “derrumbe bomberos”, “cornisa bomberos”, “fachada bomberos” y “derrumbe”.
3. **Aportaciones de colaboradores**, bien directamente al correo electrónico, bien a través del uso en la red social Twitter del hashtag #cornisometro o la mención directa al usuario @cornisometro.

Tras la recepción y recopilación de datos se ha realizado una primera criba para seleccionar aquellas noticias y comunicaciones que cumplieren con los objetivos del estudio: noticias o comunicaciones sobre incidentes en edificaciones en España durante los años 2.016 y 2.017 donde a juicio de un técnico fuera obvio la falta de mantenimiento como una de las causas del incidente. En total se han recopilado para este estudio un total de **1.522 incidentes**.

## 2.1 Clasificación de los datos

Una vez recopilados los incidentes se ha creado una base de datos incluyendo los campos e información que pudiera ser relevante para los objetivos del estudio según la “Tabla 1”.

Tabla 1: Campos e información recopilada para cada incidente.

<b>Campo</b>	<b>Descripción</b>
<b>Nº</b>	Número identificativo, que permite identificar individualmente mediante un código numérico cada incidente. Este identificador se corresponde cronológicamente.
<b>Fecha</b>	Fecha del incidente o de la publicación en medios de comunicación o redes sociales.
<b>Tipo</b>	Tipología del incidente, que por simplificación del estudio se ha reducido a 4 tipologías: <ol style="list-style-type: none"> <li><b>1. Cornisa:</b> Desprendimientos de cornisas, aleros de cubiertas, frentes de balcones o similares.</li> <li><b>2. Fachada:</b> Desprendimientos de elementos de fachada o similares.</li> <li><b>3. Derrumbe:</b> Derrumbes de elementos constructivos completos.</li> <li><b>4. Otros:</b> Cualquier otro elemento no clasificable en los 3 anteriores.</li> </ol>
<b>Localidad</b>	Localidad o municipio donde se ha producido el incidente.
<b>Provincia</b>	Provincia donde se localiza la localidad del incidente.
<b>Comunidad</b>	Comunidad Autónoma o Ciudad Autónoma donde se localiza el incidente.
<b>Dirección</b>	Dirección de la localización del incidente.
<b>Heridos</b>	Valores posibles SI y NO, haciendo referencia si por causa del incidente se han producido heridos.
<b>Muertes</b>	Valores posibles SI y NO, haciendo referencia si por causa del incidente se han producido muertes.
<b>Bomberos</b>	Valores posibles SI y NO, haciendo referencia si por causa del incidente ha sido necesaria la intervención de los bomberos.
<b>Policía</b>	Valores posibles SI y NO, haciendo referencia si por causa del incidente ha sido necesaria la intervención de cuerpos de seguridad (Policía Local, Policía Nacional, Guardia Civil, Mossos d’Esquadra o Ertzaintza).

<b>Causa MC</b>	Causa principal que se indica en la noticia o comunicación como origen del incidente, reducido a 10 tipologías: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fuga de agua (proveniente de instalaciones).</li> <li>2. Obras vecino.</li> <li>3. Filtraciones de agua (provenientes del exterior).</li> <li>4. Defectos constructivos.</li> <li>5. Problemas estructurales.</li> <li>6. Viento.</li> <li>7. Falta mantenimiento.</li> <li>8. Lluvia.</li> <li>9. Edificio abandonado.</li> <li>10. Sin determinar.</li> </ol>
<b>Origen</b>	Valores posibles MC y RS, haciendo referencia si el incidente se ha obtenido de un medio de comunicación (Periódico Digital) o de una red social (Twitter o Facebook).
<b>Foto</b>	Enlace a fotografía del incidente publicada en la noticia o comunicación.
<b>Enlace</b>	Enlace web a la noticia de medios de comunicación (Periódico Digital) o comunicación en redes sociales (Twitter o Facebook).
<b>Descripción</b>	Descripción del incidente que aparece en la comunicación.
<b>Mantenimiento</b>	Valores posibles SI y NO, haciendo referencia a si en la comunicación del incidente se hace mención al deber de conservación y mantenimiento de los propietarios de un inmueble.

## 2.2 Desarrollo del estudio

Para el tratamiento de la información se han utilizado las siguientes herramientas informáticas:

- Microsoft Excel: Recopilación de datos y creación de gráficos.
- Microsoft Access: Análisis y escrutinio de datos.
- CARTO [1]: Localización georreferenciada de incidentes y visualización. Ejemplo “Figura 1”.



Figura 1: Captura de pantalla de la herramienta CARTO con la localización de los incidentes, datos más significativos y enlace directo a la noticia o comunicación.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Origen de los datos.

Se han recopilado a través de la metodología descrita 1522 incidentes durante los años 2.016 y 2.017, de los que 918 (el 60%) corresponden a incidentes aparecidos en medios de comunicación digitales, siendo los más consultados La Voz de Galicia [2], Diario Información [3], La Vanguardia [4], ABC [5] y Hoy [6]. Los restantes 604 incidentes (el 40%) corresponden a incidentes aparecidos en las redes sociales, principalmente Twitter (594 incidentes) y Facebook (10 incidentes).

#### 3.1 Número de incidentes por mes y año.

Aunque a lo largo de los 24 meses del estudio aparece a primera vista una distribución heterogénea, analizándolos por el total por meses se puede observar como son los meses de invierno y primavera (de diciembre a mayo) los que registran mayor número de incidentes.

Individualmente el mes que más incidentes registra es febrero de 2.017 con 100 incidentes, siendo el día con más incidentes el 3 de febrero de 2.017 con 18 incidentes recogidos en toda España (ver “Figura 2”). En conjunto de 2.016 y 2.017 el mes con más incidentes es mayo (ver “Figura 3”). La media de incidentes a lo largo de los 24 meses del estudio ha sido de 63,24 incidentes/mes.

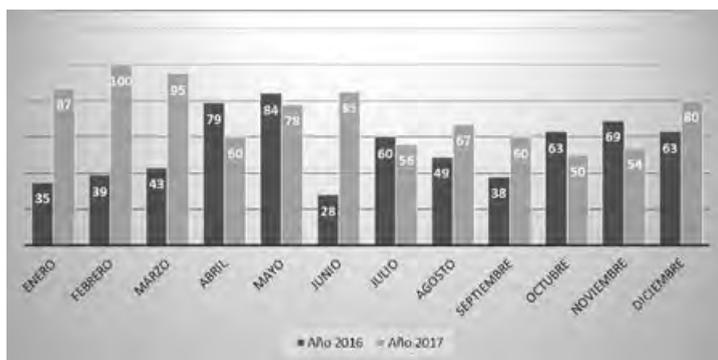


Figura 2: Gráfico de nº de incidentes registrado por mes y año.

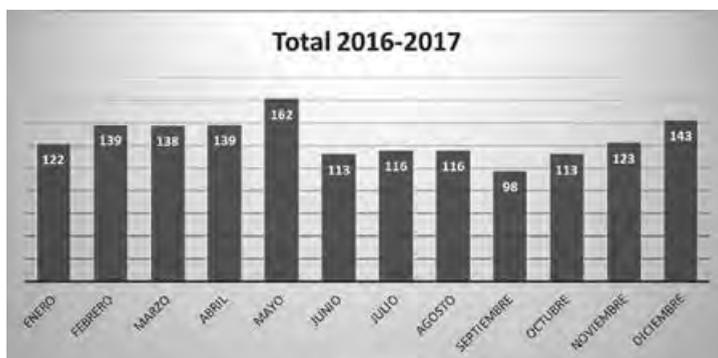


Figura 3: Gráfico de incidentes registrados por meses computando los años 2.016 y 2.017.

### 3.3 Localización de los incidentes.

La localización de los incidentes se concentra principalmente en cuatro comunidades autónomas que suman más del 50% de los mismos: Andalucía (289 incidentes, 19%), Castilla y León (202 inc., 13%), País Vasco (193 inc., 13%) y Comunidad Valenciana (152 inc., 10%), según vemos en la “Figura 4”.

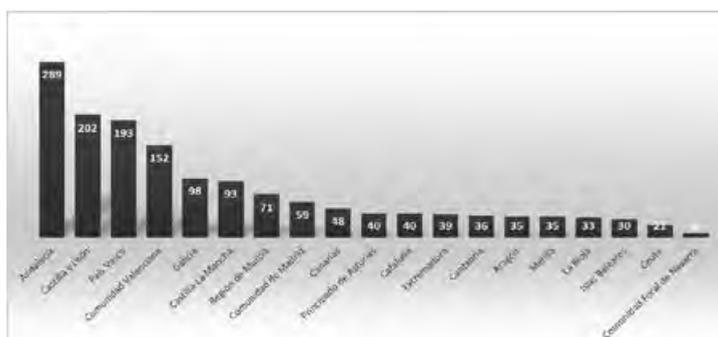


Figura 4: Gráfico de incidentes registrados por comunidades autónomas.



### **3.4 Tipología de los incidentes.**

Los incidentes se han agrupado en 4 tipos, basándose en el elemento afectado: cornisa, fachada, derrumbe y otros. Se han registrado 611 incidentes que han afectado a fachadas, que supone el 40% del total; 388 incidentes afectando a cornisas, que supone un 25%; 361 incidentes por derrumbe de elementos o edificaciones completas, que supone un 24%; y finalmente 162 incidentes de otros elementos, que supone un 11%.

### **3.5 Intervención de servicios públicos.**

Ha sido necesaria la presencia de los bomberos en 1032 incidentes, que supone un 68%. Respecto a los cuerpos de seguridad (Policía Local, Policía Nacional, Guardia Civil, Mossos d'Esquadra o Ertzaintza) han intervenido al menos en 496 incidentes, que supone un 33% del total.

### **3.6 Existencia de heridos o muertes.**

En 66 incidentes se han producido heridos de diversa consideración, lo que supone un 4% del total. En algunos casos se han llegado a registrar muertes, en 7 de los incidentes, que supone un 0,5%.

### **3.7 Causas de los incidentes según indica la noticia o comunicación.**

En este apartado analizamos la causa que indica el redactor de la noticia o el comunicador en las redes sociales como la causante del incidente. Nos encontramos con que en 1079 incidentes no se indica ninguna causa o ésta es indeterminada, lo que supone un 71% sobre el total de incidentes. En los 443 incidentes restantes se indica claramente o se menciona de pasada alguna de las siguientes causas (Ver “Figura 6”):

- Edificio abandonado en 153 incidentes, que supone el 35%.
- Lluvia en 78 incidentes, que supone el 18%.
- Falta de mantenimiento en 64 incidentes, que supone el 14%.
- Viento en 61 incidentes, que supone el 14%.
- Problemas estructurales en 45 incidentes, que supone el 10%.
- Defectos constructivos en 14 incidentes, que supone el 3%.
- Filtraciones de agua en 15 incidentes, que supone el 3%.
- Obras en edificio vecino u obras cercanas en 10 incidentes, que supone el 2%.
- Fuga de agua en 3 incidentes, que supone el 1%.

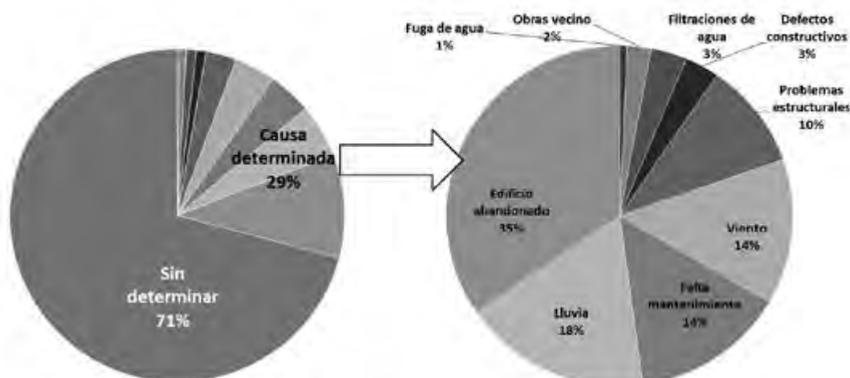


Figura 6: Gráfico de porcentaje de incidentes por causa mencionada en la noticia o comunicación analizada.

### 3.8 Mención al deber de mantenimiento de los propietarios.

En este punto recogemos uno de los objetivos principales del estudio, que es la percepción que se tiene en los medios de comunicación y redes sociales sobre del deber de los propietarios de mantener las construcciones y edificios en condiciones de seguridad, salubridad, ornato público y decoro.

De las 1522 noticias y comunicaciones analizadas, solamente en 190 (un 12%) se menciona, la mayoría de las veces muy sutilmente y de pasada, la responsabilidad que tienen los propietarios sobre el incidente que se ha producido en el edificio.

## 4. CONCLUSIONES

La primera conclusión que podemos sacar es la gran cantidad de incidentes en edificaciones que se producen en España. Con las sencillas herramientas de recopilación de datos utilizadas y sin una búsqueda exhaustiva **se han recopilado más de 2 incidentes al día** para la realización de este estudio. Entendemos que esto representa una ínfima parte de los incidentes totales que se producen.

Los incidentes analizados tienden a localizarse en zonas costeras y con mayor frecuencia durante los meses de invierno y primavera. Podemos interpretar estos datos como las consecuencias que el ambiente marino más agresivo tiene sobre las edificaciones, al igual que los temporales, más frecuentes en invierno y primavera y con más incidencia también en las zonas costeras.

La mayoría de los incidentes recopilados afectan a las fachadas, y en gran medida a las cornisas, que al ser los elementos visibles de la edificación y afectos a la vía pública conllevan un mayor peligro sobre los viandantes. Esto ocasiona que se avise a los servicios de emergencia para evitar el peligro en la mayoría de los casos, e incluso tengan que intervenir los cuerpos de seguridad en su ayuda. Aunque el número de incidentes donde se producen heridos o muertes es escaso (4% y 0,5% respectivamente), no deja de ser preocupante y para mantener la seguridad es frecuente encontrarnos con zonas acotadas y valladas por seguridad, sobre todo en los cascos antiguos.

La percepción general tras el análisis de los incidentes es que **no existe cultura de mantenimiento de edificios en España**. En muchos casos los servicios de emergencia son avisados ante la vista de posibles riesgos por algún vecino o viandante. Se alerta a los servicios de emergencia antes que a un técnico o a una empresa especializada para su reparación.

Es de destacar como entre las causas que se indican en las noticias y comunicaciones como origen del incidente destacan aspectos como que se trataba de “un edificio abandonado”, o que el incidente lo han provocado “las últimas lluvias” o “el viento”. Solamente en un 4,20% de los incidentes se indica la falta de mantenimiento como causa, cuando tras un ligero análisis de la misma por un técnico resulta obvia esa falta de mantenimiento y su causalidad respecto al incidente.

Apenas en un 12% de las noticias y comunicaciones recopiladas se menciona algo referente a la responsabilidad de los propietarios de mantener las construcciones y edificios en condiciones de seguridad, salubridad, ornato público y decoro.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y CITAS

Se recogen a continuación las principales referencias, que aparecen citadas en el texto del estudio. Dada la naturaleza del estudio se han tomado datos de cientos de fuentes, todas digitales, de las que solamente se mencionan aquellas con mayor número de consultas.

- [1] CARTO, location intelligence software, desde <https://carto.com>.
- [2] LA VOZ DE GALICIA. Consultas durante 2.016 y 2.017, desde <https://www.lavozdegalicia.es>.
- [3] DIARIO INFORMACIÓN. Consultas durante 2.016 y 2.017, desde <https://www.diarioinformacion.com>.
- [4] LA VANGUARDIA. Consultas durante 2.016 y 2.017, desde <https://www.lavanguardia.com>.
- [5] ABC. Consultas durante los años 2.016 y 2.017, desde <https://www.abc.es>.
- [6] HOY. Consultas durante los años 2.016 y 2.017, desde <https://www.hoy.es>.
- [7] ASOCIACIÓN DEPORTIVA CULTURAL BOMBEROS DE BILBAO (@BomberosBilbao) <<https://twitter.com/BomberosBilbao>>
- [8] CANAL OFICIAL ESPECIALIZADO EN EMERGENCIAS Y CONTINGENCIAS DE SEVILLA (@EmergenciasSev) <<https://twitter.com/EmergenciasSev>>
- [9] CUERPO DE BOMBEROS DEL AYUNTAMIENTO DE VALLADOLID (@BomberosVLL) <<https://twitter.com/BomberosVLL>>
- [10] BOMBEROS DE MELILLA (@1BomberoMelilla) <<https://twitter.com/1BomberoMelilla>>
- [11] CANAL DE AVISOS DEL AYUNTAMIENTO DE CUENCA (@AvisosCuenca) <<https://twitter.com/AvisosCuenca>>

**GESTIÓN DE ACTUACIONES Y OBRAS DE MEJORA DE ACCESIBILIDAD  
EN EDIFICIOS DE VIVIENDAS EXISTENTES, BAJO EL RÉGIMEN DE  
PROPIEDAD HORIZONTAL**

MARTÍNEZ CARRILLO, MANUEL JAVIER<sup>1</sup>; GARCÍA GARCÍA, MARÍA PAZ<sup>2</sup>;  
ESPÍNOLA JIMÉNEZ, ANTONIO<sup>3</sup>; ENTRENA NÚÑEZ, ELISA<sup>4</sup>;  
DEL PINO LERUITE, JUAN CARLOS<sup>5</sup>; DE LA HIGUERA BARRALES, ÁNGEL J.<sup>6</sup>

<sup>1</sup> *Universidad de Granada / Junta de Andalucía, Granada, España*

*E-mail: manueljmartinez@ugr.es, Web: www.ugr.es*

<sup>2</sup> *Profesional libre, Granada, España*

*E-mail: mariapaz@coaatgr.es, Web: www.coaatgr.es*

<sup>3</sup> *Investigador UGR, Granada, España*

*E-mail: antonioespinolajimenez@gmail.com, Web: www.ugr.es*

<sup>4</sup> *Ayuntamiento de Granada, Granada, España*

*E-mail: entreaelisa@gmail.com, Web: www.coaatgr.es*

<sup>5</sup> *Ayuntamiento de Granada, Granada, España*

*E-mail: jcarlosdp@yahoo.es, Web: www.coaatgr.es*

<sup>6</sup> *Profesional libre, Granada, España*

*E-mail: ardigest@gmail.com, Web: www.coaatgr.es*

**PALABRAS CLAVE:** Accesibilidad, Viviendas, Comunidad de propietarios, Propiedad horizontal.

**RESUMEN**

Dotar de unas condiciones mínimas de accesibilidad a los edificios de viviendas existentes, en régimen de propiedad horizontal constituye para cualquier persona, tenga o no discapacidad, una necesidad básica que conecta con derechos humanos fundamentales como la libertad de desplazamiento, comunicación o de disfrutar de una vivienda digna.

La falta de accesibilidad universal representa una de las causas más frecuentes de discriminación que son objeto las personas con discapacidad y las personas mayores. Acometer la mejora de la accesibilidad es una obligación de las Comunidades de Propietarios mediante la ejecución de las obras y actuaciones que resulten necesarias para garantizar el uso y disfrute de los elementos comunes, así como la instalación de dispositivos mecánicos y electrónicos que faciliten la orientación y comunicación exterior.

La presente comunicación pretende facilitar a las Comunidades de Propietarios y sus gestores, de una forma concisa y clara, la manera de acometer la adecuación efectiva de las condiciones de accesibilidad y no discriminación de las personas con discapacidad, en el acceso y utilización de los edificios existentes de viviendas, para concienciar por un lado, a los vecinos sobre la obligatoriedad de adecuar los edificios existentes mejorando las condiciones de accesibilidad, y por otro, facilitar su gestión a Administradores de fincas así como a las propias Comunidades de Propietarios, estructurándose en los siguientes apartados:

- Tipos de actuaciones y obras de mejora de la accesibilidad.
- Obras de mejora de la accesibilidad en accesos y pequeños desniveles.
- Obras de instalación o sustitución de ascensor.
- Tramitación administrativa.
- Obligaciones y responsabilidades.

Es evidente, que existen muchos edificios de viviendas construidos hace muchos años en los que las soluciones de mejora de las condiciones de accesibilidad son complicadas técnicamente. Habrá que trabajar entre todos para intentar encontrar nuevas adaptaciones que permitan resolver la falta de accesibilidad universal.

## 1. INTRODUCCIÓN

Según se establece en el artículo 25.1 de la Declaración Universal de los Derechos Humanos<sup>1</sup>, proclamada por la Asamblea General de las Naciones Unidas (ONU) en 1948, disponer de una vivienda digna y adecuada es uno de los derechos fundamentales de todas las personas. Además, la Constitución Española de 1978, en su artículo 47 lo recoge como derecho constitucional<sup>2</sup>. Hay que tener en cuenta que cuando se habla de vivienda digna y adecuada, debería significar que sea apropiada y adaptada a todas las necesidades de sus moradores, incluidas las personas con discapacidad, tal y como se recoge en el artículo 28.1 de la Convención Internacional sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad<sup>3</sup> aprobada por la ONU en 2006 y ratificada por el estado español en 2007. Todos los ciudadanos tenemos derecho a disfrutar de una vivienda digna, adecuada y accesible, concebida con arreglo al principio de diseño para todas las personas.

<sup>1</sup> Artículo 25.1: Toda persona tiene derecho a un nivel de vida adecuado que le asegure, así como a su familia, la salud y el bienestar, y en especial la alimentación, el vestido, la vivienda, la asistencia médica y los servicios sociales necesarios.

<sup>2</sup> Artículo 47. Todos los españoles tienen derecho a disfrutar de una vivienda digna y adecuada. Los poderes públicos promoverán las condiciones necesarias y establecerán las normas pertinentes para hacer efectivo este derecho, regulando la utilización del suelo de acuerdo con el interés general para impedir la especulación.

<sup>3</sup> Los Estados Partes reconocen el derecho de las personas con discapacidad a un nivel de vida adecuado para ellas y sus familias, y promover el ejercicio de este derecho sin discriminación por motivos de discapacidad.

Sin duda, dotar de unas condiciones mínimas de accesibilidad universal a los edificios de viviendas en régimen de propiedad horizontal constituye para cualquier persona, tenga o no discapacidad, una necesidad básica que conecta con derechos humanos fundamentales tales como la libertad de desplazamiento, de comunicación o el de disfrutar de una vivienda digna. La falta de accesibilidad representa una de las causas más frecuentes de discriminación de que son objeto las personas con discapacidad y las personas mayores. En este sentido, el texto refundido de la Ley General de Derechos de las Personas con Discapacidad y de su Inclusión Social, estableció que los espacios y edificaciones existentes, que fueran susceptibles de ajustes razonables, deberían adecuarse a las condiciones básicas de accesibilidad y no discriminación de las personas con discapacidad antes del día 4 de diciembre de 2017<sup>4</sup>. Acometer la mejora de la accesibilidad es una obligación de las Comunidades de Propietarios mediante la ejecución de las obras y actuaciones que resulten necesarias para garantizar el uso y disfrute adecuado de los elementos comunes, así como la instalación de dispositivos mecánicos y electrónicos que faciliten la orientación y su comunicación exterior.

Con la presente comunicación y siguiendo el esquema de la “Guía para la gestión de actuaciones y obras de mejora de accesibilidad en Comunidades de Propietarios”<sup>5</sup> elaborada por la Comisión de Accesibilidad del COAATGR (2017), se pretende facilitar tanto a las Comunidades de Propietarios, como a sus gestores, de una forma concisa y clara, la manera en la que se debe acometer la adecuación efectiva de las condiciones de accesibilidad y no discriminación de las personas con discapacidad, en el acceso y utilización de los edificios existentes<sup>6</sup> de viviendas, para concienciar por un lado, a los vecinos sobre la obligatoriedad de adecuar los edificios existentes mejorando las condiciones de accesibilidad, y por otro, facilitar su gestión técnico-administrativa a Administradores de fincas así como a la propias Comunidades de Propietarios.

La aplicación de la reglamentación de la accesibilidad en el ámbito de los edificios de viviendas existentes, entraña grandes dificultades que preocupa tanto a los técnicos como a los propios administradores de fincas. En este sentido y siguiendo el Documento de Apoyo al Documento Básico DB-SUA Seguridad de utilización y accesibilidad del Código Técnico de la Edificación, DA DB-SUA/2 *Adecuación efectiva de las condiciones de accesibilidad en edificios existentes*, la comunicación se estructura en cinco apartados fundamentales.

## **2. TIPOS DE ACTUACIONES Y OBRAS DE MEJORA DE LA ACCESIBILIDAD EN COMUNIDADES DE PROPIETARIOS**

Acometer la mejora de la accesibilidad es una obligación de las Comunidades de Propietarios mediante la ejecución de las obras y actuaciones que resulten necesarias para garantizar el uso y disfrute adecuado por todos los vecinos incluidas las personas con discapacidad, de los elementos comunes, así como la instalación de dispositivos mecánicos y electrónicos que faciliten la orientación y su comunicación exterior, con el mayor grado de seguridad y autonomía posible. En este sentido hay que distinguir:

<sup>4</sup> Disposición adicional tercera. Exigibilidad de las condiciones básicas de accesibilidad y no discriminación.

<sup>5</sup> Disponible en: <http://www.coaatgr.es/web/wp-content/uploads/2017/09/Guia-gestion-actuaciones.pdf>

<sup>6</sup> Se consideran edificios existentes aquellos cuya solicitud de licencia de obra fue anterior al 12/09/2010. Disposición transitoria tercera del Real Decreto 173/2010, de 19 de febrero, por el que se modifica el CTE, en materia de accesibilidad y no discriminación de las personas con discapacidad.

## **2.1. Obras e instalaciones de accesibilidad obligatorias sin necesidad de acuerdo previo de la Junta de Propietarios**

2.1.1. Los trabajos y las obras que resulten necesarias para satisfacer los requisitos básicos de accesibilidad universal, derivadas de la imposición, por parte de la Administración, del deber legal de conservación<sup>7</sup> incluso las derivadas del Informe de Evaluación de Edificios<sup>8</sup>.

2.1.2. Desde el 05 de diciembre de 2017<sup>9</sup>, las obras y actuaciones que resulten necesarias para garantizar las condiciones de accesibilidad y no discriminación para el acceso y utilización de las edificaciones, que sean susceptibles de *ajustes razonables*<sup>10</sup>, siempre que el importe repercutido anualmente de las mismas, una vez descontadas las subvenciones o ayudas públicas, no exceda de doce mensualidades ordinarias de gastos comunes<sup>11</sup>.

2.1.3. Las obras y actuaciones que resulten necesarias para garantizar las condiciones básicas en materia de accesibilidad universal, requeridas a instancia de los propietarios en cuya vivienda o local vivan, trabajen o presten servicios voluntarios, personas con discapacidad, o mayores de setenta años, en el caso de que el importe repercutido anualmente de las mismas, una vez descontadas las subvenciones o ayudas públicas, que exceda de doce mensualidades ordinarias de gastos comunes sea asumido por quienes las hayan requerido.

## **2.2. Obras e instalaciones de accesibilidad que necesitan acuerdo de la Junta de Propietarios**

2.2.1. La realización de obras o el establecimiento de nuevos servicios comunes, aun cuando su importe repercutido anualmente exceda de doce mensualidades ordinarias de gastos comunes, tengan por finalidad la supresión de barreras arquitectónicas que dificulten el acceso o movilidad de personas con discapacidad y, en todo caso, el establecimiento de los servicios de ascensor, incluso cuando impliquen la modificación del título constitutivo, o de los estatutos, requerirá el voto favorable de la mayoría de los propietarios que, a su vez, representen la mayoría de las cuotas de participación<sup>12</sup>.

<sup>7</sup> Art. 15 y 17. Real Decreto Legislativo 7/2015, de 30 de octubre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Suelo y Rehabilitación Urbana.

<sup>8</sup> Título III Real Decreto Legislativo 7/2015, de 30 de octubre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Suelo y Rehabilitación Urbana.

<sup>9</sup> Disposición adicional tercera. Real Decreto Legislativo 1/2013, de 29 de noviembre, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley General de derechos de las personas con discapacidad y de su inclusión social. Texto consolidado al 25 de junio de 2015.

<sup>10</sup> Art. 2.m. Real Decreto Legislativo 1/2013, de 29 de noviembre, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley General de derechos de las personas con discapacidad y de su inclusión social. Texto consolidado al 25 de junio de 2015.

Art. 2.5. Real Decreto Legislativo 7/2015, de 30 de octubre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Suelo y Rehabilitación Urbana.

<sup>11</sup> Art. 10.1. Ley 49/1960, de 21 de julio, sobre propiedad horizontal. Texto consolidado al 06 de octubre de 2015.

<sup>12</sup> Art. 17.2. Ley 49/1960, de 21 de julio, sobre propiedad horizontal. Texto consolidado al 06 de octubre de 2015.

### 3. OBRAS DE MEJORA DE LA ACCESIBILIDAD EN ACCESOS Y PEQUEÑOS DESNIVELES EN EDIFICIOS EXISTENTES DE VIVIENDAS EN RÉGIMEN DE PROPIEDAD HORIZONTAL

En las obras de mejora de accesibilidad en edificios existentes a llevar a cabo en accesos y en pequeños desniveles, no mayores de una planta, en las que, por inviabilidad técnica<sup>13</sup>, económica<sup>14</sup> o por incompatibilidad con el grado de protección<sup>15</sup> de determinados elementos del edificio, no se puedan aplicar las exigencias básicas de accesibilidad<sup>16</sup>, no siendo posible su plena adecuación, se actuará siguiendo los siguientes criterios de flexibilización<sup>17</sup> según el siguiente orden de prioridad:

#### 3.1. Soluciones fijas:

- La solución preferente para adecuar el acceso será trasladarlo donde el desnivel con la vía pública sea menor.
- En el caso que exista ascensor que no esté comunicado con el espacio exterior de la parcela del edificio o con la vía pública mediante un itinerario accesible, puede plantearse la modificación de la cota de desembarco del ascensor para alcanzar dicho nivel.
- Cuando la solución a nivel no sea posible, se puede disponer un itinerario accesible que incluya una rampa de acuerdo con las tolerancias admisibles.

#### 3.2. Soluciones móviles:

- Cuando no sean posibles las soluciones fijas anteriores y se justifique su no viabilidad, se puede considerar como primera opción alternativa la instalación de una plataforma elevadora vertical.
- Una segunda opción alternativa sería la instalación de una plataforma elevadora inclinada (salvaescaleras), siempre que no entre en conflicto con las condiciones exigibles de evacuación y uso de la escalera.
- Si no es posible llevar a cabo alguna de estas intervenciones en el interior de la parcela del edificio se pueden plantear en el exterior de la misma, ocupando las superficies de espacios libres o de dominio público que resulten indispensables para la instalación de ascensores u otros elementos que garanticen la accesibilidad universal, así como las superficies comunes de uso privativo<sup>18</sup>.

<sup>13</sup>Inviabilidad técnica: cuando las condiciones del espacio no permiten cumplir con las exigencias de accesibilidad.

<sup>14</sup>Inviabilidad económica: cuando el coste de la actuación es superior al ajuste razonable.

<sup>15</sup>Incompatibilidad con el grado de protección: cuando las mejoras de accesibilidad previstas no se pueden realizar debido a que los elementos que se deben modificar están protegidos.

<sup>16</sup>Exigencias básicas de accesibilidad: requisitos que deben cumplirlos entornos, productos y servicios, así como las condiciones de no discriminación en normas, criterios y prácticas, con arreglo a los principios de accesibilidad universal y diseño para todos.

<sup>17</sup>“Anejo A Mejora de la accesibilidad en accesos y pequeños desniveles” del Documento de Apoyo al Documento Básico DB-SUA Seguridad de utilización y accesibilidad. Versión del 23 de diciembre de 2016.

<sup>18</sup>Art. 24.4 Real Decreto Legislativo 7/2015, de 30 de octubre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Suelo y Rehabilitación Urbana.

En todo caso, cuando se justifique que no es urbanística, técnica o económicamente viable alcanzar una adecuación efectiva de las condiciones básicas de accesibilidad o, en su caso, que es incompatible con la naturaleza de la intervención o con el grado de protección del edificio, se pueden aplicar otras medidas que faciliten, en el mayor grado posible, el acceso y la utilización del edificio por el mayor número de personas, independientemente de su situación personal. Estas soluciones deberán ser adoptadas por profesionales competentes en la materia que justifiquen la inviabilidad de las soluciones fijas o móviles detalladas anteriormente, bajo la aplicación de criterios de no empeoramiento, proporcionalidad y flexibilización.

#### **4. OBRAS DE INSTALACIÓN O SUSTITUCIÓN DE ASCENSOR EN EDIFICIOS EXISTENTES DE VIVIENDAS EN RÉGIMEN DE PROPIEDAD HORIZONTAL**

Las obras de instalación o en su caso sustitución de ascensor en edificios de viviendas existentes para facilitar la accesibilidad, deben ajustarse a las condiciones de la normativa técnica de aplicación<sup>19</sup>, sin embargo, en aquellas obras en las que, por inviabilidad técnica o económica o por incompatibilidad con el grado de protección de determinados elementos del edificio, no se puedan aplicar las exigencias básicas de accesibilidad, no siendo posible su plena adecuación, se actuará siguiendo los siguientes criterios generales y de flexibilización<sup>20</sup>:

- Las mejoras de accesibilidad deben completarse con todas las intervenciones técnicamente posibles (adecuación en los accesos, itinerarios, ascensores que comuniquen todas las plantas, etc.). En particular, se debe procurar que el recorrido desde la vía pública hasta la vivienda se realice con itinerarios que cumplan como mínimo los criterios de flexibilización en accesibilidad.
- En la elección de la alternativa se debe tener en cuenta la que mejor satisfaga los criterios de accesibilidad, teniendo en cuenta la afección a terceros y a las condiciones de seguridad, habitabilidad y funcionalidad preexistentes del edificio, así como los costes de mantenimiento y conservación.
- Siempre que sea viable se debe realizar también la mejora de accesibilidad en plantas o elementos comunes, tales como aparcamientos, tendedores, etc.
- Cuando se modifiquen los ascensores para hacerlos más accesibles, así como cuando se incorporen ascensores en edificios existentes, sus características, tales como dimensiones de la cabina, apertura de puertas, condiciones de las botoneras, etc., deben aproximarse todo lo que sea posible a las características de los ascensores accesibles.

Por otro lado, se puede realizar una clasificación de los tipos de intervención para la instalación de ascensores en edificios existentes de viviendas colectivas, ordenados en función de los aspectos jurídicos que ofrecen menos dificultades para su ejecución:

---

<sup>19</sup>Entre otras, CTE DB SUA / Decreto 293/2009, de 7 de julio, por el que se aprueba el reglamento que regula las normas para la accesibilidad en las infraestructuras, el urbanismo, la edificación y el transporte en Andalucía.

<sup>20</sup> “Anejo B Instalación de ascensor en edificios de vivienda colectiva” del Documento de Apoyo al Documento Básico DB-SUA Seguridad de utilización y accesibilidad. Versión del 23 de diciembre de 2016.

- Instalación de ascensor en zonas comunes interiores, tales como los huecos de escalera y las mesetas de planta.
- Instalación de ascensor en patios interiores.<sup>21</sup>
- Instalación de ascensor en fachadas, tanto en la parcela del edificio como sobre dominio público.
- Instalación de ascensor en elementos privativos, como pueden ser patios en planta baja, tendederos de vivienda, o zonas interiores de vivienda.

En su caso, habrá que tener en cuenta las siguientes cuestiones sobre la afección a los aspectos jurídicos, de la solución concreta para la instalación de ascensor:

- Puede requerir obras que afecten a condiciones urbanísticas exigidas, (dominio público, dimensiones de patio, alturas máximas de edificio, ...) quedando sujeta a la autorización administrativa del órgano competente.
- Puede afectar a elementos privativos, como por ejemplo patios en planta baja, en cuyo caso únicamente es viable si existe acuerdo entre los propietarios<sup>22</sup> o en su caso, es de aplicación la expropiación de aquellas partes de viviendas o locales, que sean indispensables para instalar los servicios comunes.

## 5. TRAMITACIÓN ADMINISTRATIVA DE LAS OBRAS

### 5.1. Consideraciones a tener en cuenta a la hora de tramitar las obras ante el Ayuntamiento

Cualquier actuación que afecte a la accesibilidad de un edificio existente va a requerir justificaciones técnicas, por lo que siempre se debe acudir a un técnico competente que estudie el tema y realice la propuesta más adecuada.

Existe una casuística muy diversa en cuanto a la tramitación administrativa de las obras, que varía en cada municipio, aunque en la mayoría de ellos son considerados unos actos sujetos a licencia urbanística municipal o declaración responsable. Con respecto a la justificación de normativa técnica, nos encontramos ante actuaciones para la que habrán de justificarse la parte del Código Técnico de la Edificación referida a Accesibilidad, los reglamentos autonómicos que en su caso regulen la materia y las ordenanzas municipales que pudieran existir en el municipio en cuestión. Así, a pesar de que no sea necesaria la redacción de un proyecto de edificación en la mayoría de estos casos, sí que será obligatorio la redacción de una Memoria Técnica justificativa<sup>23</sup> de la normativa afectada suscrita por técnico competente. Por tanto, antes de acometer cualquier intervención, se recomienda dirigirse al ayuntamiento correspondiente y solicitar información sobre el procedimiento y documentación que se exige para el tipo de actuación que se va a realizar.

Por lo general nos podemos encontrar con dos casos diferentes, dependiendo de si los municipios tienen aprobadas ordenanzas municipales respecto a la tramitación de licencias

<sup>21</sup> Criterios de Interpretación de la Ordenanza Municipal de Licencias de Granada. Instalación de ascensor. B.O.P. nº 198, Granada.

<sup>22</sup> Ley 49/1960, de 21 de julio, sobre propiedad horizontal. Artículo 10 apartado 1.b). Artículo 17.2.

<sup>23</sup> Introducido por modificación de Parte I del Código Técnico de la Edificación realizada por la Ley 8/2013, de 26 de junio, de rehabilitación, regeneración y renovación urbana.

de obras, que suelen estar adaptadas a la normativa europea donde establece la obligación de simplificar procedimientos y trámites, eliminando todos aquellos que no sean indispensables para los fines perseguidos. En este sentido se han ido aprobando diferentes normas estatales y autonómicas en la que se han regulado los trámites por medio de comunicaciones y declaraciones responsables en la mayoría de las materias. En el caso del urbanismo todavía no tenemos una regulación común en este sentido, por lo que dependerá también de lo que cada municipio individualmente haya adelantado frente a la normativa autonómica. Por lo tanto, en términos generales, nos podemos encontrar con dos grupos diferenciados de municipios de cara a la tramitación: municipios con ordenanza municipal aprobada sobre la materia y municipios sin ella. En la figura 1, se presenta esquemáticamente la secuencia de tramitación en cada caso.

## 5.2. Procedimiento de tramitación y plazos para acometer las obras

A continuación se concreta el procedimiento y la documentación técnico-administrativa que habitualmente requieren la mayoría de los ayuntamientos, para ello seguiremos el guión que establece la Ordenanza Municipal de Licencias, Obras y Actividades del Ayuntamiento de Granada<sup>24</sup> (figura 1).

5.2.1. Intervenciones que afecten a parámetros urbanísticos básicos, como: ocupación en planta, alturas, elementos de interés en edificios catalogados, etc.:

- La tramitación que corresponde es licencia.
- Una vez solicitada la licencia y aportada toda la documentación, para poder iniciar la obra, hay que esperar hasta que la licencia sea concedida y notificada.

5.2.2. Intervenciones que no afecten a parámetros urbanísticos básicos, en edificios que no están ni catalogados ni en entorno de Bien de Interés Cultural (BIC):

- La tramitación que corresponde es declaración responsable de actuaciones urbanísticas.
- Una vez presentada la declaración responsable con toda la documentación requerida, se puede iniciar la obra de forma inmediata.

5.2.3. Intervenciones en edificios situados en entorno de BIC: igual que los anteriores, pero obteniendo de forma previa la Resolución de la Delegación Territorial de la Consejería con competencias en materia de Cultura.

---

<sup>24</sup>Ordenanza Municipal de Licencias, Obras y Actividades, publicada en el BOP nº 177, Granada, 13 de septiembre de 2012. Criterios de Interpretación de la Ordenanza de Licencias, BOP nº 194, Granada, 10 de octubre de 2013.

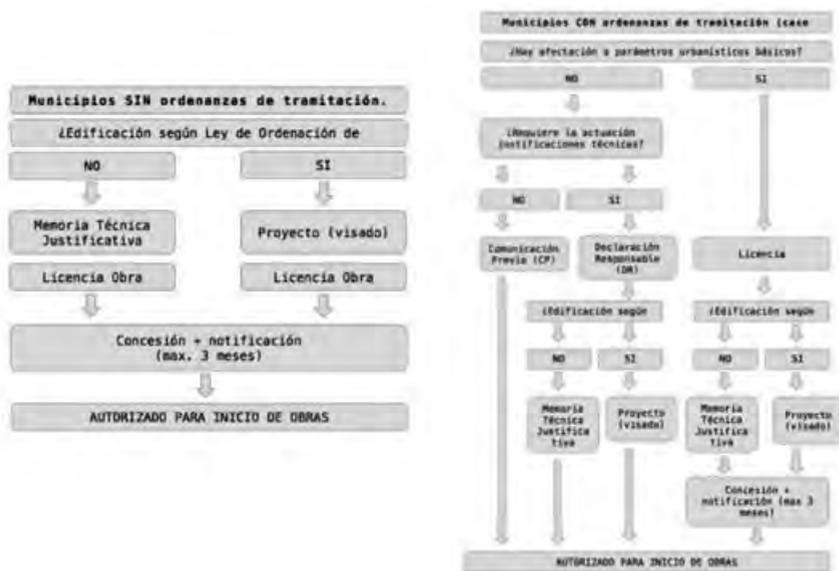


Figura 1. Esquema tramitación administrativa de las obras.

### 5.3. Documentación necesaria para los procedimientos de Declaración Responsable de Actuaciones Urbanísticas y Licencia de Obra Menor.<sup>25</sup>

#### 5.3.1. Documentación general:

- Modelo de Declaración Responsable del interesado/promotor o modelo de solicitud de licencia, debidamente cumplimentado.
- Referencia Catastral del inmueble en el que se vayan a ejecutar las obras.
- Acreditación del pago de las tasas e impuestos que correspondan.
- Cuando las obras afecten a zonas comunes del inmueble, se deberá aportar acuerdo de la Comunidad de Propietarios, sin perjuicio de lo previsto para actuaciones en locales en planta baja.
- Se aportarán, cuando sean legalmente exigibles, copia de las restantes autorizaciones sectoriales o acreditación de haberlas solicitado.
- Se requerirá fianza en su caso, para:
  - a) Garantía de la adecuada gestión de residuos que generen las obras solicitadas.
  - b) Garantía de limpieza y reparación de pavimentos, y de instalaciones de redes municipales, y pago de sanciones y tributos.
  - c) Garantía por entubado del cableado de instalaciones que discurran por la fachada del inmueble.

<sup>25</sup> Modificación de los Anexos I y II de la Ordenanza Municipal de Licencias, Obras y Actividades, publicada en el BOP nº 85, Granada, jueves 8 de mayo de 2014

### 5.3.2. Documentación técnica:

- Memoria Técnica descriptiva de las obras y justificativa del cumplimiento de las Ordenanzas vigentes que les sea de aplicación, así como valoración de las mismas, suscrita por el técnico competente que firme la Declaración Técnica Responsable, o, en su caso, Proyecto de Ejecución visado por colegio profesional.
- Documentación gráfica mínima a presentar:
  - a) Fotografías del conjunto del inmueble.
  - b) Fotografías de las zonas de actuación.
  - c) Plano de situación del inmueble.
  - d) Planos de planta y sección de estado inicial y reformado.
- Declaración Técnica Responsable, formando parte de la Memoria Técnica o del correspondiente Proyecto, suscrita por profesional cualificado, acreditativa tanto del cumplimiento de aquellos parámetros urbanísticos no básicos de obligado cumplimiento, como de la normativa vigente de aplicación, según la intervención a realizar.
- Certificado colegial acreditativo de la habilitación profesional del técnico, que acompañará a la Documentación Técnica, cuando ésta no haya sido visada.
- Dirección Técnica suscrita por técnico competente y nombramiento del Coordinador de Seguridad y Salud, cuando sea legalmente exigible o declaración de la no exigibilidad de nombramiento de coordinador de seguridad y salud.

## **6. OBLIGACIONES Y RESPONSABILIDADES DE LA COMUNIDAD ANTE EL INCUMPLIMIENTO DE LA ADECUACIÓN EFECTIVA DE LAS CONDICIONES DE ACCESIBILIDAD**

El texto Refundido de la Ley General de derechos de las personas con discapacidad y de su inclusión social<sup>26</sup>, determina que las acciones y omisiones que ocasionen vulneraciones del derecho a la igualdad de oportunidades, no discriminación y accesibilidad universal, se considerarán infracciones administrativas.

En el ámbito territorial superior al de una comunidad autónoma, tendrán la consideración de infracciones graves el incumplimiento por parte de las personas obligadas de las normas sobre accesibilidad de los entornos, instrumentos, equipos y tecnologías, medios de transporte, medios de comunicación y de los productos y servicios a disposición del público, así como los apoyos y medios asistenciales específicos para cada persona, que obstaculice o limite su acceso o utilización regulares por las personas con discapacidad, calificándose de muy grave en el caso de que el incumplimiento impida el libre acceso y utilización regulares por las personas con discapacidad. Las infracciones graves serán sancionadas con multas hasta 90.000 €, llegando hasta multas de 1.000.000 € las infracciones calificadas como muy graves.

---

<sup>26</sup>Real Decreto Legislativo 1/2013, de 29 de noviembre, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley General de derechos de las personas con discapacidad y de su inclusión social. Título III. Infracciones y sanciones en materia de igualdad de oportunidades, no discriminación y accesibilidad universal de las personas con discapacidad. (Texto consolidado al 25/06/2015).

En el ámbito territorial de la Comunidad Autónoma de Andalucía y según se establece en la Ley de los Derechos y la Atención a las Personas con Discapacidad en Andalucía<sup>27</sup>, el incumplimiento de las normas sobre accesibilidad universal y no discriminación que obstaculice o limite gravemente el libre acceso o utilización del edificio, por las personas con discapacidad, tendrán la consideración de infracción grave, calificándose de muy grave en el caso de que el incumplimiento impida gravemente el libre acceso y utilización por las personas con discapacidad. Igualmente, estas infracciones serán sancionadas con multas de hasta 90.000 € las calificadas como graves y hasta 1.000.000 € en el caso de las muy graves.

Los Ayuntamientos en el marco de su competencia de disciplina urbanística y de transporte son competentes para iniciar y resolver los procedimientos sancionadores relativos a infracciones en materia de accesibilidad en las infraestructuras, el urbanismo, la edificación y el transporte. En todo caso la persona titular del derecho puede exigir su cumplimiento vía administrativa y/o judicial, frente a una posible actitud incumplidora de la Comunidad de Propietarios. Por otra parte, la propia Comunidad de Propietarios puede reclamar a los propietarios que no respeten las obligaciones y acuerdos adoptados ante los Tribunales de Justicia.

## 7. CONCLUSIONES

**C.1.** El incumplimiento de las condiciones básicas de accesibilidad, en los edificios de viviendas bajo el régimen de la Ley de Propiedad Horizontal, es una de las discriminaciones más frecuentes que sufren las personas con discapacidad y personas mayores en sus entornos vitales más próximos.

**C.2.** Es evidente, que existen muchos edificios de viviendas construidos hace muchos años en las que las soluciones de mejora de las condiciones de accesibilidad son complicadas tanto técnicamente como económicamente. Habrá que trabajar entre todos para intentar encontrar nuevas adaptaciones que permitan resolver la carencia de accesibilidad universal.

**C.3.** Para acometer la adecuación efectiva de las condiciones de accesibilidad de los edificios de viviendas existentes, en primer lugar se deben cumplir las condiciones básicas de accesibilidad que determinan los requerimientos funcionales y dimensionales establecidos tanto en el DB-SUA como en el DB-SI del CTE. En segundo lugar y cuando el proyectista justifique suficientemente que su aplicación no es urbanística, técnica o económicamente viable o, en su caso, es incompatible con la naturaleza de la intervención o con el grado de protección del edificio, se podrán aplicar las tolerancias admisibles de flexibilización recogidas en el DA DB-SUA/2 que permitan el mayor grado posible de adecuación efectiva del edificio. Por último, en el caso que esta circunstancia no sea posible y siempre que el proyectista justifique suficientemente que no es urbanística, técnica o económicamente viable alcanzar las condiciones de tolerancia admisibles o, en su caso, que es incompatible con la naturaleza de la intervención o con el grado de protección del edificio, se deberían aplicar, bajo su responsabilidad, otras medidas que faciliten en el mayor grado posible, el acceso y

<sup>27</sup>Ley 4/2017, de 25 de septiembre, de los Derechos y la Atención a las Personas con Discapacidad en Andalucía. Título XIII. Régimen sancionador en materia de igualdad de oportunidades, no discriminación y accesibilidad universal.

la utilización del edificio o establecimiento por la mayor diversidad posible de situaciones personales.

**C.4.** Los objetivos de la mejora de las condiciones de accesibilidad establecidos por la legislación española para los edificios de vivienda existentes bajo el régimen de propiedad horizontal está potenciando la adaptación de sus zonas comunes, facilitando su acceso uso y disfrute por todas las personas, estableciendo el límite económico a cada propietario de 12 mensualidades ordinarias de gastos comunes para el coste final de las obras repercutido anualmente, y una vez descontadas las posibles ayudas y subvenciones públicas.

**C.5.** La solución final a adoptar para mejorar las condiciones de accesibilidad, dependerá de cada caso concreto ya que pueden existir factores tales como el coste económico, la financiación, el mantenimiento, la disponibilidad de ayudas, el logro de la autonomía personal, los efectos discriminatorios de su no adopción, etc. que pueden hacer que el ajuste final sea razonable.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### 8.1. Disposiciones legales

ESPAÑA:

- Ley 49/1960, de 21 de julio, sobre propiedad horizontal. (Texto consolidado al 6 de octubre de 2015).
- Ley 15/1995, de 30 de mayo, sobre límites del dominio sobre inmuebles para eliminar barreras arquitectónicas a las personas con discapacidad.
- Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la edificación. (Texto consolidado al 15/07/2015).
- Ley 8/2013, de 26 de junio, de rehabilitación, regeneración y renovación urbanas. (Derogada parcialmente 30/10/2015)
- Texto Refundido de la Ley General de derechos de las personas con discapacidad y de su inclusión social. (Real Decreto Legislativo 1/2013, de 29 de noviembre. Texto consolidado al 25 de junio de 2015).
- Texto Refundido de la Ley de Suelo y Rehabilitación Urbana. (Real Decreto Legislativo 7/2015, de 30 de octubre).
- Real Decreto 314/2006 de 17 de marzo por el que se aprueba el Código Técnico de Edificación. (Texto consolidado al 27/06/2013).
- Real Decreto 173/2010, de 19 de febrero, por el que se modifica el Código Técnico de la Edificación, aprobado por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, en materia de accesibilidad y no discriminación de las personas con discapacidad.
- Documento de Apoyo al Documento Básico DB-SUA Seguridad de utilización y accesibilidad. Versión del 26 de diciembre de 2017. Ministerio de Fomento.

ANDALUCÍA:

- Ley 4/2017, de 25 de septiembre, de los Derechos y atención a las personas con discapacidad en Andalucía.
- Decreto 293/2009, de 7 de julio, por el que se aprueba el reglamento que regula las normas de accesibilidad en las infraestructuras, el urbanismo, la edificación y el transporte en Andalucía.

## ESCALA DE GRAVEDAD DE DAÑOS EN EDIFICIOS. DE LA ASIGNACIÓN DIRECTA A LA CONTRASTACIÓN ESTADÍSTICA

RUIZ GORRINDO, FÉLIX<sup>1</sup>; AGUADO DE CEA, ANTONIO<sup>2</sup>; SERRAT PIÈ, CARLES<sup>3</sup>; CASAS RIUS, JOAN RAMÓN<sup>4</sup>

*<sup>1</sup> Universitat Politècnica de Catalunya, Vilanova i la Geltrú, España  
E-mail: felix.ruiz@upc.edu, Web: <https://camins.upc.edu/ca>*

*<sup>2</sup> Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, España  
E-mail: antonio.aguado@upc.edu, Web: <https://camins.upc.edu/ca>*

*<sup>3</sup> Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, España  
E-mail: carles.serrat@upc.edu, Web: <https://epseb.upc.edu/ca>*

*<sup>4</sup> Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, España  
E-mail: joan.ramon.casas@upc.edu, Web: <https://camins.upc.edu/ca>*

**PALABRAS CLAVE:** mantenimiento preventivo, priorizar, escala, grado de gravedad, daños.

### RESUMEN

Está firmemente demostrada la importancia de realizar mantenimiento preventivo en los edificios, para evitar que se degraden y aparezcan lesiones graves. También está demostrado que con el mantenimiento preventivo se ahorra dinero frente al mantenimiento correctivo. En el marco del mantenimiento cabe decir que para realizar las inspecciones periódicas de los edificios, es de gran utilidad el poder cuantificar hasta qué punto las deficiencias existentes son graves o no, con objeto de facilitar la toma de decisiones y priorizar las intervenciones terapéuticas. De hecho se han utilizado y utilizan numerosas escalas diferentes entre sí para valorar el grado de gravedad de los elementos constructivos. Pero no existe consenso común y estas escalas son diferentes entre sí según el estudio a que pertenezcan.

Por ejemplo, en las diferentes normas ITE existentes en España se utilizan diferentes escalas y formas de valorar las deficiencias existentes y no hay consenso común en el método de valoración.

En cambio, en otros ámbitos de la ciencia sí existen escalas de uso generalizado (escala Boufort (viento), escala Richter (terremotos), escala Mohs (dureza de una sustancia), escala EVA (grado del dolor), escala Douglas (estado del mar), etc.). Incluso en el ámbito de la eficiencia energética de edificios hay una escala de uso común en toda Europa.

Todo lo referido muestra la necesidad de proponer y validar una escala que sirva para valorar el grado de gravedad de elementos constructivos en edificios, que sea de uso generalizado. El objetivo del presente artículo es proponer, en base a un largo y riguroso proceso metodológico, una escala que sirva para valorar el grado de gravedad de los daños en edificios, que pueda ser utilizada de manera generalizada.

## 1. INTRODUCCIÓN

“Lo que no se define no se puede medir. Lo que no se mide, no se puede mejorar. Lo que no se mejora, se degrada siempre”. Esta frase es de *Sir William Thomson, Baron Kelvin of Largs* (que entre otras importantes aportaciones definió la escala de temperatura Kelvin).

Aunque la frase es del siglo XIX, es plenamente vigente, y somos muy conscientes de la importancia de realizar mantenimiento preventivo en los edificios, para evitar que se degraden y aparezcan lesiones graves. En el marco del mantenimiento cabe decir que para realizar las inspecciones periódicas de los edificios, es de gran utilidad el poder cuantificar hasta qué punto las deficiencias existentes son graves o no, con objeto de facilitar la toma de decisiones y priorizar las intervenciones terapéuticas. De hecho se han utilizado y utilizan numerosas escalas diferentes entre sí para valorar el grado de gravedad de los elementos constructivos. Pero no existe consenso común y estas escalas son diferentes entre sí según el estudio a que pertenezcan. Por ejemplo, en las diferentes normas ITE existentes en España se utilizan diferentes escalas y formas de valorar las deficiencias existentes y no hay consenso común en el método de valoración.

En cambio, en otros ámbitos de la ciencia sí existen numerosas escalas de uso generalizado. Algunos ejemplos son la escala Boufort (intensidad del viento), escala Richter (intensidad de terremotos) [1], escala Mohs (dureza de una sustancia) [2], escala Fujita-Pearson (intensidad de tornados) [3], escala EVA (intensidad del dolor) [4], escala Douglas (estado del mar), etc.

Todo lo referido muestra la necesidad de proponer y validar una escala que sirva para valorar el grado de gravedad de elementos constructivos en edificios, que sea de uso generalizado, que es el objetivo del presente artículo. El mismo se encuadra en una línea de investigación de la Universitat Politècnica de Catalunya, en la que se ha trabajado intensamente durante seis años. Uno de los resultados de dicha investigación es la tesis doctoral titulada “Escala de gravedad de daños en edificios. De la asignación directa a la contrastación estadística”, realizada por el Dr. Félix Ruiz Gorrindo y dirigida por el Dr. Antonio Aguado de Cea y el Dr. Carles Serrat i Piè, en la ETS de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona (Departamento de Ingeniería de la Construcción), en colaboración con la EPS de Edificación de Barcelona (Ingeniería de Edificación- Institut d’Estadística i Matemàtica Alicada a l’Edificació (IEMAE)).

**2. METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DEL GRADO DE GRAVEDAD**

En el trabajo expuesto, se ha alcanzado dicho objetivo, habiéndose propuesto, inicialmente, una escala de gravedad de daños en edificios, de 11 grados de gravedad (de 0 a 10), de aplicación mediante el método de asignación directa (Observación). Las definiciones de cada grado son forzosamente genéricas, ya que la escala es de aplicación a cualquier tipo de elemento constructivo, ya sea fachada, viga de madera, pilar de hormigón armado, perfil metálico, pared de carga, etc.

Sobre esta escala, con posterioridad se introduce un método de cálculo, en distribución, mediante el método de cuantiles estadísticos, que permite visualizar de forma inmediata cuál es la gravedad mínima y máxima de cada sistema (entendiendo por sistemas las fachadas, estructura horizontal, estructura vertical, etc.), y también muy importante, poder visualizar la distribución de gravedades de cada sistema. En las siguientes expresiones se muestran la gravedad de distribución para el sistema *s*

( $G_d^{(s)}$ ) y la gravedad de distribución para el conjunto del edificio ( $G_d^*$ ), considerando *S* sistemas.

$$G_d^{(s)} = (q_0^{(s)}, q_{0.25}^{(s)}, q_{0.50}^{(s)}, q_{0.75}^{(s)}, q_{1.00}^{(s)}) \tag{1}$$

$$G_d^* = \begin{pmatrix} G_d^{(1)} \\ G_d^{(2)} \\ \dots \\ G_d^{(S)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} q_0^{(1)} & q_{0.25}^{(1)} & q_{0.50}^{(1)} & q_{0.75}^{(1)} & q_{1.00}^{(1)} \\ q_0^{(2)} & q_{0.25}^{(2)} & q_{0.50}^{(2)} & q_{0.75}^{(2)} & q_{1.00}^{(2)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ q_0^{(S)} & q_{0.25}^{(S)} & q_{0.50}^{(S)} & q_{0.75}^{(S)} & q_{1.00}^{(S)} \end{pmatrix} \tag{2}$$

Los resultados numéricos obtenidos a través de los cuantiles estadísticos, se pueden reducir, cuando se precise, a escalares, a través de la aplicación de expresiones matemáticas y pesos que se proponen y justifican, y permiten calcular las gravedades de sistemas y del conjunto del edificio. En las siguientes expresiones se muestran la gravedad resultante (en escalar) para el sistema *s* ( $G_{rw}^{(s)}$ ) y la gravedad resultante (en escalar) para el conjunto del edificio ( $G_w^*$ ), siendo  $w_i^{(s)}$ ,  $w^{(s)}$ ,  $w_{(s)}$ , diferentes pesos que se proponen y justifican, y siendo  $m_i^{(s)}$  los puntos medios entre las componentes de  $G_d^{(s)}$ .

$$G_{rw}^{(s)} = \sum_{i=1}^4 w_i^{(s)} \cdot m_i^{(s)} \tag{3}$$

$$G_w^* = \frac{\sum_{s=1}^S w^{(s)} \cdot G_{rw}^{(s)} \cdot w_{(s)}}{\sum_{s=1}^S w^{(s)} \cdot w_{(s)}} \tag{4}$$

Los métodos propuestos son de fácil uso y flexibles. Los resultados obtenidos son coherentes al aplicarlo a casos reales de edificios.

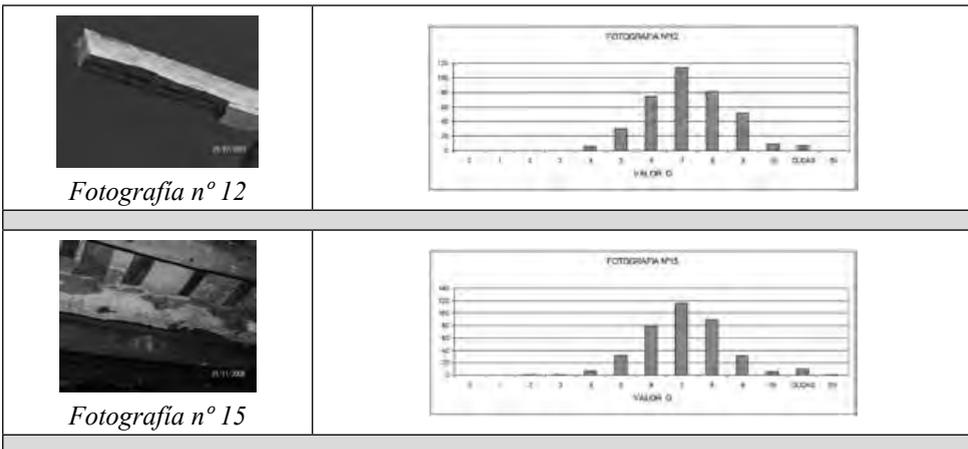
El planteamiento general realizado permite evaluar cualquier sistema (estructura vertical, estructura horizontal, fachadas, instalaciones, etc.) que integre un edificio y, por agregación se puede evaluar todo el edificio. En la misma línea permite dos alternativas, comprensibles y de fácil uso, que en función de las circunstancias (urgencia, valoraciones, etc.), puedan ser utilizables con éxito para valorar la gravedad de daños en el conjunto del edificio o elementos del mismo.

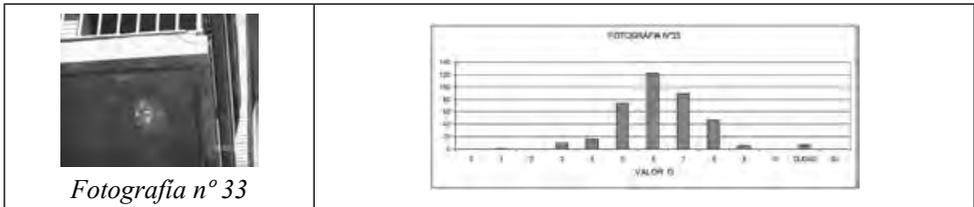
### 3. VALIDACIÓN DE LA ESCALA PROPUESTA

Para la contrastación de la escala y evaluar cómo funciona se ha realizado un ensayo de campo en el que han participado 374 técnicos asignando el grado de gravedad, según la escala propuesta de 0 a 10, a 33 imágenes de elementos constructivos. De los datos recogidos (12.342 valores de *G* asignados) se realiza un análisis estadístico, donde se analizan y relacionan diversos aspectos y se utilizan variadas técnicas matemáticas, tales como estadística descriptiva (medias aritméticas, desviaciones tipo, densidades, frecuencias, histogramas, etc.), regresión logística binaria y clustering, utilizándose para ello el programa de análisis estadístico Minitab. El estudio estadístico de los datos obtenidos ha permitido:

- comprobar la robustez de la escala propuesta
- determinar la capacidad discriminante de la misma
- proponer una escala reducida de menor variabilidad entre técnicos, de 5 grados de gravedad (de 0 a 4).

En la *Figura 1* se presenta, a manera de ejemplo, los histogramas de frecuencia para tres fotografías representativas del grado gravedad 6 ( $GR = 6$ ). Asimismo en la *Figura 2* se muestra el boxplot del estudio estadístico realizado, para todas las fotos de los distintos niveles, tras una depuración (poco significativa) de valores anómalos y, en la *Figura 3*, se presenta el histograma de frecuencias de las desviaciones (Dev) para cada uno de los valores de *G*.





Fotografía nº 33

Figura 1. Histograma de frecuencias relativas para las respuestas en las fotografías nºs 2, 15 y 33 (GR=6).

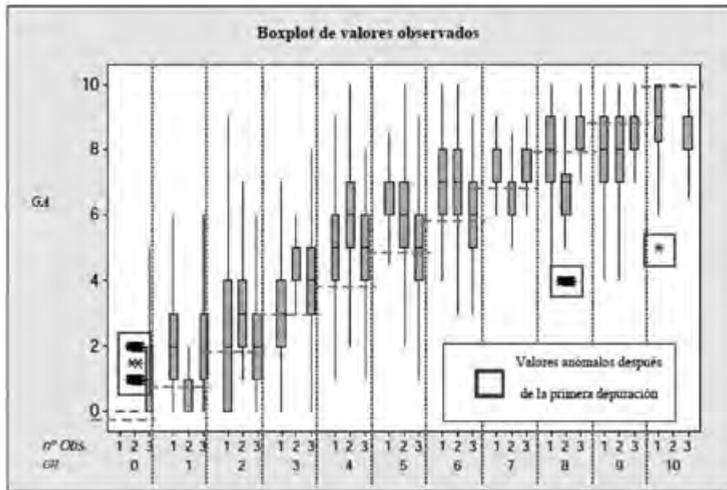


Figura 2. Boxplot después de la 1ª depuración de valores anómalos.

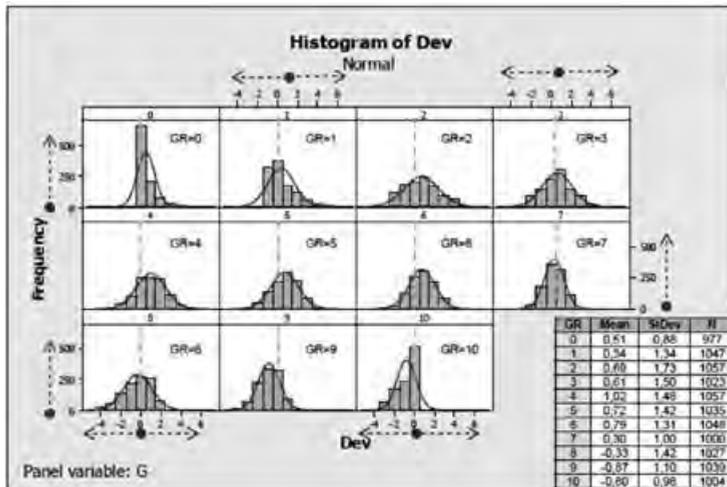
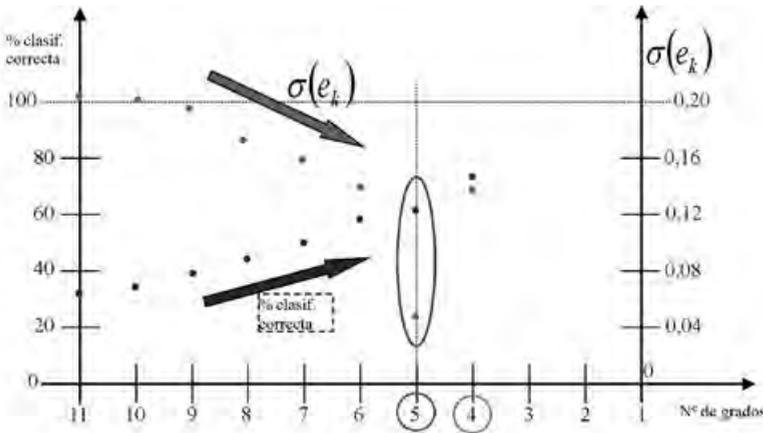


Figura 3. Histograma de frecuencias de las desviaciones (Dev) para cada uno de los valores de G.

En base a los datos recogidos y los análisis realizados, se hace estudio para determinar cuál es la métrica óptima de la escala, es decir, cuál es el número óptimo de grados para esta escala. Para ello utilizamos técnicas de clustering (agrupamiento), que constan de las siguientes fases:

- Evaluación de la fiabilidad de la escala inicial.
- Evaluación de la especificidad y potencia de la escala inicial.
- Gráfica de especificidad y potencia.
- Evaluación de vecindades.
- Resumen de todo el proceso para aumentar la fiabilidad de la escala.
- Propuesta de nueva escala.

En la *Figura 4* se muestra gráficamente lo explicado, donde los puntos de color azul indican cómo va aumentando la probabilidad de clasificación correcta a medida que se reduce el número de grados de la escala (tendencia que se visualiza con la flecha azul), y los puntos de color rojo indican cómo varía la desviación tipo del error global,  $\sigma(e_k)$ , a medida que se reduce el número de grados de la escala (tendencia que se visualiza con la flecha roja), dándose el mínimo de  $\sigma(e_k)$  para 5 grados (que se visualiza con las delimitaciones en verde). En cambio al pasar a 4 grados (se visualiza con un círculo naranja) se produce un notable incremento de  $\sigma(e_k)$ .



*Figura 4. Proceso de simplificación de la escala.*

Igualmente cabe resaltar que valores de *G* (según la Escala General de 11 grados) se pueden traducir automáticamente a valores de *GS* (según la Escala Simplificada de 5 grados), tal y como se muestra en la *Tabla 1*, y se plasma de forma directa en la *Tabla 5.23*.

<i>G</i>	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>GS</i>	0	1			2			3			4

*Tabla 1. Correspondencia entre valores de G y de GS.*

#### 4. SISTEMA DE EVALUACIÓN DE FACHADAS

Como alternativa metodológica al método de asignación directa, se ha propuesto otro método basado en indicadores y modelos matemáticos de regresión. El mismo se ha aplicado para el caso de las fachadas y se denomina SEF (Sistema de Evaluación de Fachadas), y se compone de dos partes: gráfica y numérica. En la parte gráfica se representa la fachada y las zonas que se delimitan de la misma, en base a la disfunciones existentes y a las características de los materiales y de los elementos constructivos que constituyen la fachada, tal como se muestra en la *Figura 5*.



*Figura 5. Ejemplo de delimitación de zonas en una fachada.*

En la parte numérica, una vez obtenidos los diferentes datos de la fachada a partir de la parte gráfica, se calculan los indicadores que permiten determinar el grado de gravedad de cada zona  $j$  de la fachada,  $G_j$ , con el menor grado de variabilidad posible. Se proponen los dos indicadores siguientes:

- $I_j = I(x_j) \in [0, 1]$ , como indicador de la medida de energía de impacto de desprendimiento, en función de las características físicas  $x_j$ , de la zona  $j$  de la fachada y
- $P_j = P(y_j) \in [0, 1]$ , como indicador de la medida de la probabilidad  $y_j$  de desprendimiento de la zona  $j$  de la fachada, en función de los síntomas observados.

La energía de impacto de desprendimiento se obtiene a partir de los conceptos físicos de cantidad de movimiento, fuerza y trabajo. La medida  $x_j$  obtenida de la energía de impacto del desprendimiento se muestra en la expresión (5).

$$x_j = \frac{m_j \cdot h_j \cdot g}{S_j} \text{ (en J/m}^2\text{)} \quad (5)$$

donde

- $m_j$  = masa de la zona  $j$  considerada
- $h_j$  = altura del centro geométrico de la zona  $j$  considerada
- $g$  = aceleración de la gravedad ( $g = cte = 9,8/s^2$ )

Con el fin de estandarizar el valor  $x_j$  en el intervalo  $[0,1]$  se propone la función de valor  $I_j = I(x_j) \in [0,1]$  de la *Figura 6*, que describe una cierta tendencia lineal con dos curvas de suavizado en la parte inicial y final.

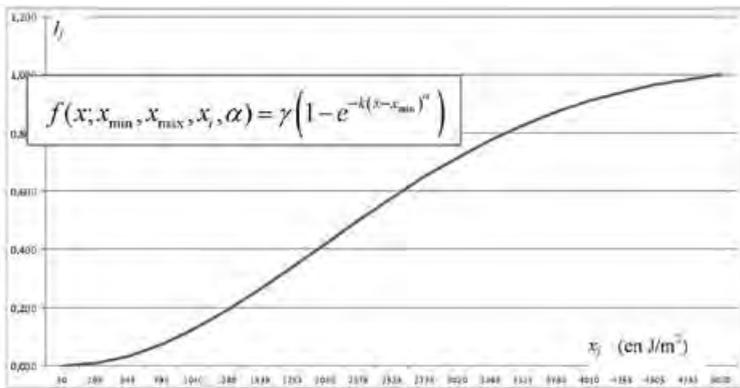


Figura 6. Función de valor  $I_j$  para la energía de impacto.

Para la estimación de los valores  $y_j$  a partir de síntomas identificables en la fachada se lleva a cabo un análisis multivariante con datos procedentes de una muestra de 197 imágenes de zonas de fachadas, con distintos niveles de degradación y representativa de la población de estudio. Para cada imagen se dispone de su correspondiente sintomatología y se asigna la medida de probabilidad de desprendimiento a partir del valor medio de asignación directa por parte de un equipo de cinco expertos.

Para la respuesta  $y_j$  se estima el modelo multivariante más adecuado, usando como predictor la sintomatología de la fachada. La ecuación de regresión resultante permite estimar la medida de probabilidad  $y_j$  a partir de los síntomas observados, y reducir la variabilidad entre técnicos.

Con el fin de estandarizar el valor  $y_j$  en el intervalo  $[0,1]$  se propone la función de valor  $P_j = P(y_j) \in [0,1]$  de la *Figura 7*, que describe una cierta tendencia lineal con dos curvas de suavizado en la parte inicial y final. Esta gráfica describe más una tendencia en forma de “S”, que la correspondiente a  $I_j$ , dado que al tratarse de probabilidad, el incremento de los valores  $P_j$  es más acentuado para valores medios de  $y_j$ , lo que se consigue con el valor  $\alpha = 3$ .

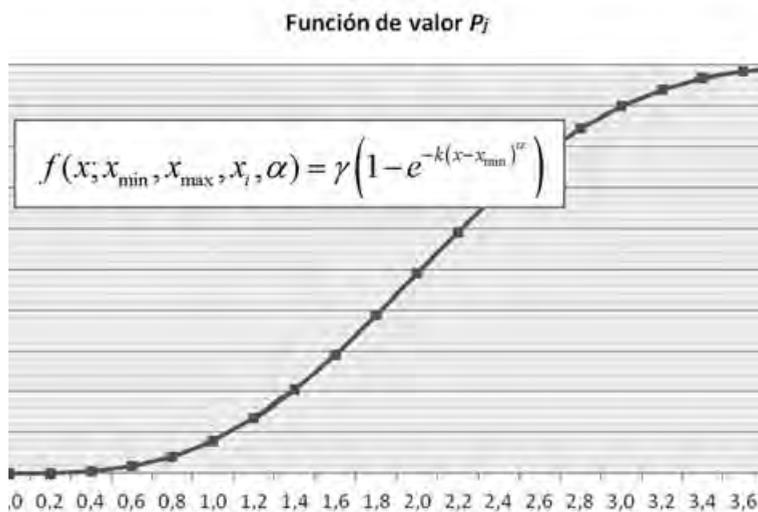


Figura 7. Función de valor  $P_j$  para la probabilidad de desprendimiento.

La contrastación del método propuesto se ha hecho con diversos casos reales de edificios obteniéndose resultados coherentes, tanto desde el punto de vista técnico como con respecto el método anterior de asignación directa, aplicado en fachadas.

## 5. CONCLUSIONES

El estudio de la literatura técnica sobre escalas de daños, pone en evidencia, la gran necesidad de las mismas y su diversidad en diferentes ámbitos temáticos. Con respecto a la edificación, existen numerosas propuestas sin que su uso sea generalizado, con escalas de valores muy amplias. Por ellos se constata la necesidad de disponer de una escala de gravedad de daños en edificios, de uso generalizado.

Con el fin de contribuir en esta dirección, en primer lugar se ha propuesto la denominada Escala General con 11 grados (de  $G = 0$  a  $G = 10$ ) en base a una asignación directa de puntuación. Con los resultados, el método de cálculo propuesto, en distribución y en escalar, permite calcular las gravedades de sistemas y del conjunto del edificio, de forma fácil y flexible. Los resultados obtenidos son coherentes al aplicarlo a casos reales de edificios.

Esta escala general es sencilla de utilizar, tal como han manifestado los 374 técnicos participantes en la experiencia de campo. Pero no resulta del todo satisfactoria tras el análisis estadístico de los datos recogidos, ya que existe una probabilidad de clasificación correcta de los técnicos respecto al valor  $GR$  objetivo del 32,07%; lo que representa un valor bajo.

Tras este resultado se ha propuesto la denominada Escala Simplificada (GS) con 5 grados (de  $GS = 0$  a  $GS = 4$ ) que mejora la probabilidad de clasificación correcta de los técnicos respecto al valor  $GS$  objetivo del 62,88%. Por este motivo, se considera adecuado que en los casos en que el grado de gravedad de elementos constructivos se vaya a valorar en base a asignación directa, se utilice la Escala Simplificada, al haber menor variabilidad entre los técnicos y aceptable probabilidad de clasificación correcta. En cualquier caso, cabe resaltar que valores de gravedad ( $G$ ) según la Escala General (de 11 grados) se pueden traducir a

valores de la Escala Simplificada (*GS*) (de 5 grados).

Cara a la implementación práctica y generalizada de las escalas propuestas, convendría que los técnicos, aparte de las definiciones genéricas de la escala, dispusieran además de un catálogo de imágenes de elementos constructivos con sus valores de *G* de referencia, que les sirviera de orientación e información adicional, que contribuiría a aumentar la probabilidad de acierto para asignar valores de *G*.

Por último, hay que resaltar que las escalas propuestas tiene un amplio alcance (cualquier tipo edificio o cualquier localización geográfica). Aparte de ser fácilmente desglosable para sistemas del edificio y no sólo para el conjunto.

Para el caso específico de fachadas se ha propuesto un método alternativo para determinar valores de *G*, Sistema de Evaluación de Fachadas (SEF), basado en indicadores y modelos de regresión. Con él se obtiene una reducción de la variabilidad entre técnicos, obteniéndose resultados coherentes en su contrastación con casos reales. Su aplicación por parte de los técnicos también es fácil.

## 6. REFERENCIAS

- [1] Gutenberg, B. and Richter, C.F. (1954) Seismicity of the Earth. 2<sup>nd</sup> edition. *Princeton University Press*. Princeton.
- [2] Hofmann, F. and Karpinski, J. (1980) *Schöne und seltene Minerale*. Leipzig.
- [3] Fujita, T.T., (1971) Proposed characterization of tornadoes and hurricanes by area and intensity. *University of Chicago*.
- [4] Von Korff, M. et al., 1992. Grading the severity of chronic pain. *Elsevier B.V.*

**ESTUDIO DE ACCESIBILIDAD DE LOS PARQUES INFANTILES DEL  
ANTIGUO CAUCE DEL RÍO TURIA EN LA CIUDAD DE VALENCIA**

MARTÍNEZ PORTILLA, JUAN JOSÉ

*Liberal, Valencia, España*

*E-mail: juamarpo@gmail.com, Web: juamarpo@gmail.com*

**PALABRAS CLAVE:** accesibilidad, juego al aire libre y socialización.

**RESUMEN**

La riada que sufrió Valencia en 1957 fue el desencadenante que convirtió el cauce del río Turia a su paso por la Ciudad en el Parque Público urbano más grande de España. Desde su inauguración en 1988 se han ido sucediendo ininterrumpidamente las actuaciones en el cauce. Se han diseñado jardines, zonas deportivas, áreas de ocio, parques infantiles y un largo etcétera de instalaciones destinadas a las actividades lúdicas, en parte por haberse realizado por fases.

Sin embargo, debido en parte a la dilatación en el tiempo (30 años) de las construcciones de estas áreas, cuando aún no existía una normativa específica en el ámbito nacional y local, y debido también a una falta de concienciación social, muchas de estas construcciones e instalaciones no cumplen los requisitos necesarios para poder ser utilizadas por toda la ciudadanía.

Una de las áreas de mayor interés en parques, jardines o núcleos urbanos, son las zonas de juegos infantiles. Estos juegos pueden ser fijos o móviles y deben permitir la participación, interacción y desarrollo de habilidades de todas las personas o niños. Hoy en día, los parques infantiles han mejorado mucho, tanto su aspecto estético, la funcionalidad y materiales de acabado. Estos nuevos diseños hacen que sea más atractivos y seguros para su disfrute.

El objetivo es estudiar todos y cada uno de los elementos que se pueden encontrar en los parques infantiles del cauce del río Turia destinados al colectivo infantil. Se aplicará la normativa vigente más restrictiva entre la normativa autonómica y estatal, con el objeto de ser un documento de mejoras e intervenciones bajo los parámetros de la accesibilidad y el diseño universal.

## INTRODUCCIÓN

El río Turia, tras la gran riada en 1957, fue desviado su cauce a su paso por la ciudad de Valencia mediante un controvertido proyecto denominado “Plan Sur”. Esta circunstancia proporcionó a la ciudad una amplia franja de terreno que atravesaba el núcleo urbano de Este a Oeste. Fueron varias las propuestas para ser destinado a diferentes usos. En la década de los 60 se propuso convertirlo en un gran eje de comunicación rodada que facilitase el tráfico de la ciudad y contribuyera a dinamizar la comunicación entre el puerto y el aeropuerto.

Finalmente, tras un movimiento ciudadano que reclamaba el viejo cauce como jardín para la ciudadanía fue, en el año 1986, felizmente convertido en zona verde para la ciudad con una extensión de más de 110 Ha. Esto llevo a formar el mayor jardín urbano de España. Desde ese momento, las actuaciones sobre el mismo se han ido sucediendo ininterrumpidamente, siendo la construcción de la “Ciudad de las Artes y las Ciencias”.

Sin embargo, debido en parte a la dilatación en el tiempo (30 años) de las construcciones de estas áreas, cuando aún no existía una normativa específica en el ámbito nacional y local, y debido también a una falta de concienciación social, muchas de estas construcciones e instalaciones no cumplen los requisitos necesarios para poder ser utilizadas por toda la ciudadanía.

Afortunadamente, tanto los técnicos diseñadores de estos espacios como la sociedad en general, han tomado conciencia de la importancia que tiene la adecuación de las instalaciones para su uso y disfrute por todas las personas independientemente de su grado de capacidad técnica cognitiva o física.

Sin embargo, resulta sorprendente que en el jardín urbano más grande de España, profusamente utilizado por todo tipo de personas, de todas las edades y características, con fines deportivos, lúdicos, de ocio o descanso, la mayoría de estas instalaciones no se ajustan a la normativa de adecuación y supresión de barreras arquitectónicas.

Es por ello, que el objetivo trazado es el estudio de los parques infantiles que se sitúan en el antiguo cauce del río Turia destinados al uso colectivo por todos los ciudadanos desde el punto de vista de su diseño y adecuación a la normativa vigente para la propuesta de mejora e intervenciones que conviertan el Parque del Turia de un Jardín accesible para todos.

## METODOLOGÍA

Previo al comienzo de la investigación del antiguo cauce del río Turia a su paso por la ciudad de Valencia, se realizó un análisis comparativo de las Normativas Vigentes en materia de Accesibilidad en el Medio Urbano de la Comunidad Valenciana [1] “*Orden de 9 de junio de 2004, de la Conselleria de Territorio y Vivienda, por la que se desarrolla el decreto 39/2004, de 5 de marzo, del Consell de la Generalitat, en materia de accesibilidad en el medio urbano*” y la Normativa Estatal [2] “*Orden VIV/561/2010, de 1 de febrero, por la que se desarrolla el Documento Técnico de condiciones básicas de accesibilidad y no*



5. No invadir el itinerario peatonal.
6. Elementos de mobiliario.
7. Tipo de pavimento.
8. Obstáculos de elementos de urbanización y mobiliario.
9. Nivel de iluminación.

La tercera base consiste en comprobar, analizar y actualizar la información de la toma de datos mediante trabajos de campo realizando croquis in situ, tomando fotografías, mediciones, cotas, pendientes, ubicación del mobiliario urbano, dimensiones, estado de conservación, lectura de información, etc.

A continuación, se procede a realizar la puesta en escala de la información obtenida in situ plasmando los parques infantiles, cada uno de los elementos como bancos, farolas, fuentes, rejillas, bordillos, carteles, etc.) y ubicarlos en los planos generales de cada uno de los tramos.

La quinta fase consiste en catalogar los parques infantiles mediante unas fichas, aplicando siempre la normativa más restrictiva entre la Comunidad Valenciana según su Decreto 39/2004 y la Normativa Estatal mediante la Orden 561/2010. Lo que se pretende con las fichas es que faciliten una información ágil del elemento, aportando datos sobre las características generales que poseen los parques infantiles analizados para que cumplan la normativa vigente.

Dicha ficha, dispone de dos columnas que indican el cumplimiento de la normativa y su estado actual en donde se visualiza el resultado evaluado del elemento estudiado, en donde en cada casilla se indica si cumple con una (C), no con cumple (N.C) y no procede (N.P).

°	Parques infantiles		
		Normativa	Situación actual
<b>1</b>	<b>Características generales</b>		
1.1	Ancho libre de obstáculos $\geq$	1,80 m	
1.2	Altura libre de obstáculos $>$	3,00 m	
1.3	Permite giro de acceso a elementos urbanos que lo requieran con circulo de diámetro	$\geq 1,50$ m	
1.4	Obstáculos de mobiliario	<i>Prohibido</i>	
1.5	Escalones aislados o resaltos	Prohibido	
1.6	Nivel de iluminación	20 lux	
1.7	Conexión con el itinerario peatonal	SI	
1.8	Vallado perimetral	Recomendación	
<b>2</b>	<b>Pavimentos</b>		
2.1	Antideslizante	SI	
2.2	Compacto, duro	SI	
2.3	Firme fijación al soporte	SI	
2.4	90% de proctor modificado	Si	
<b>3</b>	<b>Bordillo</b>		
3.1	Altura de bordillo $\leq$	5cm	

Tabla 1: Ficha de comprobación de cumplimiento grado de accesibilidad de parques infantiles. Normativa Orden de 9 de junio de 2004 y Orden VIV/561/2010, de 1 de febrero.

Por último, se presenta una propuesta de medidas correctoras y recomendaciones si fueran necesarias de cada uno de los parques infantiles catalogados. De cada parque infantil estudiado, se confecciona una conclusión final relativa al grado de accesibilidad que posee, utilizamos un sistema basado en establecer una calificación, de este modo, como síntesis final se obtiene una puntuación porcentual parcial y global de cada parque infantil.

## RESULTADOS

El estudio de los parques infantiles consta de 3 apartados que recogen hasta 13 puntos de verificación. Se indica el número de puntos de inspección, su número de cumplimiento y el resultado obtenido en porcentaje de tanto por cien, de cada parque infantil y la valoración global de todos ellos.

### TRAMO 1-2

PARQUES INFANTILES	TRAMO 1-2			
	PUNTOS TOTALES INSPECCIÓN	CUMPLIMIENTO	VALORACIÓN	RESULTADO
CARACTERÍSTICAS GENERALES	8	5	63%	
PAVIMENTO	4	0	0%	
BORDILLO	1	0	0%	
				<b>21%</b>

Tabla 2: Resultado de grado de cumplimiento de accesibilidad parque infantil ubicado en el tramo1-2.

### TRAMO 3

PARQUES INFANTILES	TRAMO 3			
	PUNTOS TOTALES INSPECCIÓN	CUMPLIMIENTO	VALORACIÓN	RESULTADO
CARACTERÍSTICAS GENERALES	8	6	75%	
PAVIMENTO	4	4	100%	
BORDILLO	1	0	0%	
				<b>58%</b>

Tabla 3: Resultado de grado de cumplimiento de accesibilidad parque infantil ubicado en el tramo 3.

**TRAMO 4-5**

PARQUES INFANTILES	TRAMO 4-5			RESULTADO
	PARQUE INFANTILES I	PUNTOS TOTALES INSPECCIÓN	CUMPLIMIENTO	
CARACTERÍSTICAS GENERALES	8	3	38%	
PAVIMENTO	4	0	0%	
BORDILLO	1	1	100%	
				<b>46%</b>
PARQUE INFANTILES II				
CARACTERÍSTICAS GENERALES	7	3	43%	
PAVIMENTO	4	0	0%	
BORDILLO	1	0	0%	
				<b>14%</b>

Tabla 4: Resultado de grado de cumplimiento de accesibilidad  
parque infantil ubicado en el tramo 4-5.

**TRAMO 6**

PARQUES INFANTILES	TRAMO 6			RESULTADO
	PARQUE INFANTILES I	PUNTOS TOTALES INSPECCIÓN	CUMPLIMIENTO	
CARACTERÍSTICAS GENERALES	8	3	38%	
PAVIMENTO	4	0	0%	
BORDILLO	1	1	100%	
				<b>46%</b>
PARQUE INFANTILES II				
CARACTERÍSTICAS GENERALES	8	8	100%	
PAVIMENTO	4	4	100%	
BORDILLO	1	1	100%	
				<b>100%</b>

Tabla 5: Resultado de grado de cumplimiento de accesibilidad  
parque infantil ubicado en el tramo 6.

**TRAMO 7-8**

Carece de parques infantiles en este tramo.

**TRAMO 9**

PARQUES INFANTILES	TRAMO 10-11-12			
	PUNTOS TOTALES INSPECCIÓN	CUMPLIMIENTO	VALORACIÓN	RESULTADO
CARACTERÍSTICAS GENERALES	8	7	88%	
PAVIMENTO	4	0	0%	
BORDILLO	1	1	100%	
				<b>63%</b>

Tabla 6: Resultado de grado de cumplimiento de accesibilidad parque infantil ubicado en el tramo 9.

**TRAMO 10-11-12A**

PARQUES INFANTILES	TRAMO 10-11-12A			
	PUNTOS TOTALES INSPECCIÓN	CUMPLIMIENTO	VALORACIÓN	RESULTADO
CARACTERÍSTICAS GENERALES	8	7	88%	
PAVIMENTO	4	0	0%	
BORDILLO	1	1	100%	
				<b>63%</b>

Tabla 7: Resultado de grado de cumplimiento de accesibilidad parque infantil ubicado en el tramo 10-11-12A.

**TRAMO 12B-13-14-15**

PARQUES INFANTILES	TRAMO 12B-13-14-15			
	PARQUE INFANTILES I PUNTOS TOTALES INSPECCIÓN	CUMPLIMIENTO	VALORACIÓN	RESULTADO
CARACTERÍSTICAS GENERALES	8	3	38%	
PAVIMENTO	4	0	0%	
BORDILLO	1	1	100%	
				<b>46%</b>

PARQUE INFANTILES II				
CARACTERÍSTICAS GENERALES	8	8	100%	
PAVIMENTO	3	1	33%	
BORDILLO	---	---	---	
				<b>44%</b>
PARQUE INFANTILES III				
CARACTERÍSTICAS GENERALES	8	7	88%	
PAVIMENTO	4	4	100%	
BORDILLO	1	1	100%	
				<b>96%</b>
PARQUE INFANTILES IV				
CARACTERÍSTICAS GENERALES	8	6	75%	
PAVIMENTO	4	4	100%	
BORDILLO	1	1	100%	
				<b>92%</b>

Tabla 8: Resultado de grado de cumplimiento de accesibilidad parque infantil ubicado en el tramo 12B-13-14-15.

Imágenes de los Parques Infantiles ubicados en los tramos del cauce del río Turia:



Foto Parque I. tramo 1-2 Foto Parque I. tramo 3 Foto Parque I. tramo 4-5.



Foto Parque I tramo 6



Foto Parque I tramo 6



Foto Parque I tramo 9



Foto Parque I tramo 10-11-12A



Foto Parque I 12B-13-14-15



Foto Parque I 12B-13-14-15

## CONCLUSIONES

Como conclusiones extraídas por tramos del apartado anterior, se exponen a continuación la valoración de los parques infantiles en el cauce del río Turia estableciendo los puntos débiles de cada uno de ellos susceptibles de ser mejorados y adecuados a la normativa vigente.

PARQUES INFANTILES	VALORACIÓN %
TRAMO 1-2	21%
TRAMO 3	58%
TRAMO 4-5	30%
TRAMO 6	73%
TRAMO 7-8	0%
TRAMO 9	71%
TRAMO 10-11-12A	63%
TRAMO 12B-13-14-15	69%
<b>VALORACIÓN MEDIA</b>	<b>55%</b>

Tabla 9: Valoración media de grado de cumplimiento de los parques infantiles.

Los parques infantiles, son de las áreas más usadas y de mayor interés en el jardín del cauce, ya que suponen uno de los fines más importantes del río. Fueron concebidas como

punto de encuentro para el uso y disfrute de sus instalaciones. Los valores obtenidos tienen un rango muy disperso encontrando espacios como por ejemplo el tramo 1-2, donde solo un 21% cumple en materia de accesibilidad o el tramo 7-8 donde carece de parques infantiles. Precisamente es el tramo que pasa por el centro histórico de la ciudad siendo uno de los más utilizado por las familias que viven en esta zona de la ciudad.

Por el contrario el tramo 6 se ajusta a la normativa con un 73% de cumplimiento. Ello es debido a que se adecuó recientemente al ejecutar el Pont de Fusta.

Los parques infantiles ubicados en los tramos 1-2 y 4-5 se realizan a través de la zona ajardinada. Ello supone un problema de seguridad ya que al no tener acceso desde el itinerario, presenta hundimientos, tierras sueltas y barro, imposibilitando el acceso a personas con andadores, carros, sillas de rueda etc y niños. Otro problema es que al no tener acceso las zonas verdes de los parques infantiles están deterioradas por el paso de carros y personas creando zonas de estancamiento de agua cuando riegan o llueve.

El pavimento de la zona de los juegos infantiles de los tramos 4-5 y 9, es de arena morterena sin compactar, lo que dificulta la movilidad.

No existe vallado perimetral en los tramos 1-2, 3, 4-5, 9 y 12B-13-14-15, para evitar que los pequeños se salgan de la zona de juego, facilitando la vigilancia por parte de sus padres, y también reduce la posibilidad de acceso de mascotas.

Existe una carencia de iluminación en los parques infantiles, solo existiendo iluminación en los tramos 6 y 10-11-12A. En las demás zonas se iluminan gracias a las farolas ubicadas en los itinerarios peatonales próximos o por las luminarias de los viales superiores.

En todos los tramos del cauce menos en el tramo 10-11-12A no existen servicios higiénicos cercanos, pasando lo mismo con las fuentes de agua potable donde se encuentran dentro del área de los juegos en los tramos 1-2 y 10-11-12.

Exceptuando los tres últimos tramos que se han intervenido recientemente, no existen carteles informativos ni elementos de protección solar como pérgolas o arbolado que proporcione sombra a los usuarios en periodos estivales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Normativa vigente en materia de Accesibilidad en el Medio Urbano de la Comunidad Valenciana “*Orden de 9 de junio de 2004, de la Conselleria de Territorio y Vivienda, por la que se desarrolla el decreto 39/2004, de 5 de marzo, del Consell de la Generalitat, en materia de accesibilidad en el medio urbano*”.

Normativa Estatal “*Orden VIV/561/2010, de 1 de febrero, por la que se desarrolla el Documento Técnico de condiciones básicas de accesibilidad y no discriminación para el acceso y utilización de los espacios públicos urbanizados*”.

Figura 1: Tramos del Cauce del Río Turia. [https://es.wikipedia.org/wiki/Jardín del Turia](https://es.wikipedia.org/wiki/Jardín_del_Turia).

Tabla 1: Ficha de comprobación de cumplimiento grado de accesibilidad de parques infantiles. Normativa Orden de 9 de junio de 2004 y Orden VIV/561/2010, de 1 de febrero.

[1] Normativa vigente en materia de Accesibilidad de la Comunidad Valenciana “*Orden de 9 de junio de 2004, de la Conselleria de Territorio y Vivienda, por la que se desarrolla el decreto 39/2004, de 5 de marzo, del Consell de la Generalitat, en materia de accesibilidad en el medio urbano*”

[2] Normativa Estatal en materia de Accesibilidad “*Orden VIV/561/2010, de 1 de febrero, por la que se desarrolla el Documento Técnico de condiciones básicas de accesibilidad y no discriminación para el acceso y utilización de los espacios públicos urbanizados*”.

## EL CARÁCTER SOCIAL DE LA REHABILITACIÓN EN LA EXPERIENCIA DE ZARAGOZA

LÓPEZ, ELVIRA<sup>1</sup>; MAORAD, ANA<sup>2</sup>

*<sup>1</sup> Sociedad Municipal Zaragoza Vivienda, Zaragoza, España*

*E-mail: elopezv@zaragozavivienda.es, Web: www.zaragozavivienda.es*

*<sup>2</sup> Sociedad Municipal Zaragoza Vivienda, Zaragoza, España*

*E-mail: amaorad@zaragozavivienda.es, Web: www.zaragozavivienda.es*

**PALABRAS CLAVE:** “Rehabilitación”, “regeneración urbana”, “ayudas públicas”, “participación”, “fomento de la rehabilitación”

### RESUMEN

Repaso cronológico de las distintas fórmulas aplicadas para el fomento de la rehabilitación por la Sociedad Municipal Zaragoza Vivienda desde la perspectiva de la evolución de las estrategias para mantener las personas en el centro de su acción. Se enuncian los aspectos considerados fundamentales para ello, y se diferencian tres etapas consecutivas que representan distintos enfoques del carácter social de la rehabilitación. Éstos aparecen diferenciados por la incorporación progresiva de visiones y respuestas cada vez más completas y transversales ante las barreras a la rehabilitación: desde la asignación de ayudas según criterios socio-económicos (composición familiar, ingresos, destino de la vivienda), que se incorporaron tímidamente a través de la primera Ordenanza Municipal de Rehabilitación en el año 1989, hasta el apoyo en cuestiones relacionadas con la gestión, y la reciente incorporación de vecinos en el diagnóstico y diseño de estrategias y de herramientas para la regeneración urbana de sus barrios.

## 1. INTRODUCCIÓN

El cuidado de los aspectos sociales en los procesos de rehabilitación de edificaciones residenciales es imprescindible para garantizar su éxito y el de otros procesos más profundos de regeneración urbana. Mantener a las personas en el centro de nuestra acción nos garantiza una mayor facilidad en la toma de acuerdos, en el diseño adecuado de soluciones técnicas, en la gestión del proceso y en el mantenimiento de los resultados. Esta prioridad, que hoy podemos considerar consensuada, se ha incorporado de forma paulatina en los diferentes instrumentos de fomento de rehabilitación puestos en marcha en los últimos 30 años. En el presente artículo realizamos un repaso de esta evolución estudiando el caso de Zaragoza y las ayudas al fomento de la rehabilitación gestionadas por la Sociedad Municipal Zaragoza Vivienda.

Zaragoza Vivienda se dedica, desde el año 1989, a dar respuesta a las necesidades de alojamiento, en sentido amplio, en la ciudad de Zaragoza. Se trata de una entidad con una fuerte vocación social, que ha tratado de colocar a las personas siempre en el centro de su actividad. Sus acciones de revitalización urbana en los barrios de la ciudad persiguen conectar el medio físico, la calidad de vida y el bienestar social. Dentro de este enfoque integral, se enmarca la gestión de ayudas al fomento de la rehabilitación privada, que siempre ha procurado no limitarse a la mejora de los aspectos técnicos o formales de los edificios, si no a trabajar también sobre aspectos socio-económicos. En este texto compartimos los aprendizajes y propuestas de tres etapas de fomento de la rehabilitación en Zaragoza, resaltando la evolución en el carácter social en cada una de ellas. Para hacerlo, el ha dividido el documento tres partes:

a) en la primera se enuncian los aspectos que, en la gestión de ayudas a la rehabilitación, se consideran claves para garantizar mantener a la persona en el centro del proceso;

b) en la segunda se explican distintas fórmulas puestas en marcha para ello, a través de un recorrido cronológico por las tres etapas que en esta materia ha experimentado esta entidad pública: la gestión de una Ordenanza Municipal de Fomento de la Rehabilitación desde el año 1989 hasta el 2009, en la que se valoraban aspectos socio-económicos tanto para la priorización en la concesión de ayuda, como para definir su cuantía económica, pero que se encontraba todavía muy centrada en cuestiones de conservación y protección del patrimonio; después, a partir del año 2009 hasta el 2012, las Áreas de Rehabilitación Integral profundizaron enormemente en este campo: se tuvieron en cuenta criterios socio-económicos para la delimitación de ámbitos, y en ellos se pusieron en marcha puntos de asesoría e información y se ensayaron figuras de gestión convenidas que daban apoyo continuo a las comunidades de propietarios durante todo el proceso;

c) y, finalmente, la fórmula actual que integra la rehabilitación en procesos estratégicos de regeneración urbana a través de los Planes de Barrio, en los que la ciudadanía participa en la definición de las estrategias y fórmulas de regeneración de su propio barrio; se redefinen las áreas de intervención utilizando, entre otros, criterios socio-económicos, aunque también se atienden aspectos relacionados con la escena urbana, la movilidad, la convivencia, el comercio o las zonas verdes; y se diseñan herramientas que se adaptan de año en año, tanto a responder a las necesidades de las comunidades y personas más vulnerables como a apoyar rehabilitaciones integrales que mejoren profundamente la eficiencia energética de los edificios.

La última parte del artículo recoge, en sus conclusiones, un resumen de las fórmulas propuestas para garantizar el cuidado de la persona en todos las fases del proceso de rehabilitación.

Para justificar la importancia de mantener a las personas en el centro de los procesos de fomento de rehabilitación, partimos de un sencillo planteamiento: son personas las que habitan los edificios, y son sus necesidades y su voluntad las que movilizan y garantizan la sostenibilidad de los procesos de rehabilitación.

Las expectativas que depositamos sobre las viviendas, en términos generales, provienen de una mezcla entre las convenciones sociales, las exigencias normativas, los avances tecnológicos y las posibilidades económicas. Nuestras acciones van dirigidas a apoyar el desarrollo de cada uno de estos aspectos para lograr que se consolide una verdadera cultura de la rehabilitación. A continuación, enunciamos las dimensiones que creemos se deben atender durante la planificación de herramientas de fomento de la rehabilitación para alcanzar este propósito.

### **1.1 Apoyo económico y financiero**

En primer lugar, las subvenciones suponen un evidente estímulo económico, y están dirigidas a animar a la población en general y a posibilitar la realización de obras, en particular, por quienes cuentan con menos recursos económicos. El objetivo primero de las subvenciones ha sido funcionar como inyecciones económicas ante la falta de recursos y el cada vez más complicado acceso a financiación. Este último aspecto tiene, en la actualidad, una singular relevancia y supone uno de los retos a los que debemos responder de forma más ingeniosa. Esto, a pesar de que ha habido importantes novedades legislativas que han mejorado la situación. En tal sentido, el Real Decreto-ley 8/2011, de 1 de julio, de medidas de apoyo a los deudores hipotecarios, atribuyó a las comunidades de propietarios la facultad de “actuar en el mercado inmobiliario con plena capacidad jurídica para todas las operaciones, incluidas las crediticias, relacionadas con el cumplimiento de los deberes de conservación, mejora y regeneración, así como con la participación en la ejecución de actuaciones aisladas o conjuntas, continuas o discontinuas, que correspondan”.

La Ley 8/2013, de 26 de junio, de rehabilitación, regeneración y renovación urbana, derogó este artículo, pero volvió a incluir su contenido en su artículo 15.2, apartado a), añadiendo en el apartado h) que las citadas comunidades “podrán solicitar créditos con el objeto de obtener financiación para las obras de conservación y las actuaciones reguladas por esta Ley”. Todas estas mejoras normativas, sin embargo, siguen siendo insuficientes para el acceso al crédito, ya que el examen de la capacidad para la amortización del préstamo y la insuficiencia de garantías, desanima a los bancos para su concesión a las mismas comunidades, prefiriendo el otorgamiento de créditos solidarios a los copropietarios de la comunidad, planteamiento que, por la desconfianza entre propietarios, puede echar atrás el proceso. [1]

### **1.2 Generación de confianza e información accesible**

La experiencia nos demuestra que uno de los principales frenos a la rehabilitación es la falta de confianza de las comunidades de propietarios hacia el resto de agentes intervinientes, incluyendo otros propietarios de su misma comunidad, lo que, como veíamos en el

párrafo anterior, puede ser un aspecto decisivo en el acceso al crédito. Para trabajar sobre el retejido de estas relaciones, es necesario que existan canales de comunicación fiables y que se transmita una información comprensible y real, adaptada al lenguaje de quien la recibe. Las Administraciones y los profesionales no debemos tener miedo a hablar claro, pero además debemos estar preparados para hacerlo. La adecuada comprensión de posibilidades por parte de los vecinos y vecinas, de los costes reales, las molestias que van a vivir, las regulaciones que les afectan y los distintos puntos de vista, permitirá llegar a soluciones comunitarias más consensuadas. Sólo así se logrará la apropiación del proceso por parte de los propietarios, la adecuada elección de soluciones y el clima óptimo para resolver cualquier conflicto que pudiera surgir a lo largo del proceso. No olvidemos que las obras de rehabilitación integral pueden afectar enormemente a la vida de una comunidad de propietarios durante meses y su resultado durante años. Además, una mala experiencia puede funcionar como freno a la rehabilitación en las comunidades vecinas.

### **1.3 Apoyo en la gestión**

El tercer aspecto que se considera fundamental es apoyar a las comunidades de propietarios en la gestión y en el desarrollo de capacidades para realizarla. La gestión es una dimensión compleja que incluye aspectos como la comunicación, la negociación o la intermediación con los agentes, u otros relativos a la organización de tareas a realizar y la coordinación de las mismas [2]. Necesidades acuciantes en un edificio pueden no tener un líder detrás con capacidad para movilizar a la comunidad que tiene la responsabilidad de ejecutarlas. Incluso una vez una comunidad de propietarios está convencida en embarcarse en una rehabilitación, puede existir una absoluta desorientación sobre los pasos a dar, que incluyen los profesionales con los que contactar o la decisión de las soluciones óptimas para subsanar los problemas detectados. A todo esto, se suma la complejidad que arrastra la administración para acceder a ayudas, que generalmente requiere de la comprensión de complejos textos jurídicos y una burocracia para formalizar las solicitudes. Por ende, los propietarios, generalmente, se encuentran en posiciones muy vulnerables y son susceptibles de ser engañados, pues están a merced de un sector que desconocen y en el que la información suele ser poco accesible al público común. Es importante que las comunidades tengan capacidad para no aplicar criterios exclusivamente relativos al precio.

Todas estas dimensiones se entremezclan y se han de abordar de forma integrada. Vemos a continuación tres ejemplos de instrumentos de fomento de la rehabilitación.

## **2. EVOLUCIÓN DE LOS MECANISMOS DE FOMENTO DE REHABILITACIÓN**

A lo largo de las distintas etapas que la Sociedad Municipal ha vivido, se han puesto en marcha diferentes fórmulas para extender la adecuación de las viviendas y edificios a unos parámetros técnicos. Estos han ido variando, sobre todo, en función de las exigencias normativas y muchas veces se han situado más allá de lo que la ciudadanía puede considerar necesario. Existe bastante consenso en reconocer que la simple disposición de ayudas económicas a comunidades de propietarios para realizar obras de rehabilitación resulta insuficiente en una gran parte de los casos, pero el apoyo de las administraciones, atendiendo al resto de dimensiones antes enumeradas en la Introducción, se ha realizado a través de fórmulas e intensidades distintas. La reflexión y la experiencia han facilitado su evolu-

ción. Analizamos, por orden cronológico, tres etapas que responden a distintos modelos de fomento a la rehabilitación que cuentan como escenario con la ciudad de Zaragoza.

## **2.1 Ordenanza Municipal de Fomento de la Rehabilitación**

En el año 1989 se aprobó la primera Ordenanza Municipal de Fomento de la Rehabilitación. Entre 1989 y 2001, estaba vinculada al Centro Histórico y a los edificios catalogados de todo el término municipal. Aquí nos interesa fijarnos en la etapa que va desde 2001 hasta 2009, tiempo en el que se extiende su ámbito de aplicación a edificios de más de cuarenta años de toda la ciudad, lo que permitió la inclusión de unas 75.000 viviendas, que representaban un 28% del parque edificado total.

En los últimos años de aplicación de la Ordenanza, se pusieron de “relieve algunas de sus incapacidades y sobre todo alguna de sus incoherencias, ya que una normativa pensada inicialmente sólo para el Centro Histórico y en un contexto sin el Plan General aprobado, ha debido utilizarse para ámbitos y tipologías de edificación y estructuras sociales y de propiedad muy diferentes, no pudiéndose resolver situaciones de precariedad social y física aun a pesar de las importantes ayudas económicas previstas” [3].

Se establecían unas condiciones de acceso bastante rigurosas en cuanto a exigencias técnicas, ya que la acción se focalizaba en detener el deterioro físico de los edificios. Para ello, se obligaba a cumplir con unas condiciones determinadas de habitabilidad, adecuación funcional y estabilidad estructural en el edificio, exigencias todavía sin adaptar a la problemática de los nuevos edificios y habitantes incorporados en el 2001 con la ampliación del ámbito de la Ordenanza a todos los edificios de más de cuarenta años de la ciudad.

Dicho esto, analicemos el texto normativo desde la perspectiva que nos interesa, y veamos qué aspectos socio-económicos se tenían en cuenta y cuál eran los apoyos dados a la gestión. Se concedían ayudas en función del emplazamiento, la catalogación del edificio y, de una forma muy parcial, de las condiciones socio-económicas del solicitante. Tan sólo la renta, el número de miembros y el destino de la vivienda puntuaba de forma positiva en el cálculo de la cuantía de la ayuda. En relación al apoyo facilitado para la gestión, resulta interesante constatar que además de ayudas económicas, se definían y ofrecían ayudas técnicas. En la práctica ambas eran obligatorias, ya que era preciso un informe de actuaciones necesarias básicas que elaboraba un técnico municipal tras una visita al inmueble. De hecho, una solicitud de información por parte de alguno de los vecinos era suficiente para que los técnicos de Zaragoza Vivienda visitaran el edificio y emitieran un informe sobre las obras a realizar. En todo caso, resulta interesante que se señalase ya la necesidad de un apoyo técnico, jurídico y de gestión, al que se respondía con un potente equipo humano, conformado por una combinación de perfiles técnicos, administrativos y jurídicos. El asesoramiento técnico y el apoyo administrativo eran accesibles hasta la finalización de las obras.

La Ordenanza Municipal de la Rehabilitación ejemplifica el origen de estas iniciativas públicas de fomento a la rehabilitación en nuestro país, en las que existía únicamente el objetivo de preservar el patrimonio edificado de mayor interés arquitectónico vinculado a los centros históricos de las ciudades. Al extenderse a otros ámbitos de la ciudad sin el necesario estudio del parque edificado y de la población que lo habitaba, se produce una incoherencia, que se tratará de superar en la siguiente fase comenzando por estudio en profundidad de las viviendas sociales construidas entre 1940 y 1960.

## **2.2 Estudio de Conjuntos Urbanos de Interés y Actuación en Áreas de Rehabilitación Integral (ARI)**

Sólo cuando las políticas de fomento de rehabilitación alcanzaron una cierta madurez, se trató de resolver, al mismo tiempo, problemas de vivienda, problemas urbanísticos y problemas sociales vinculados al alojamiento. En el año 2005, se empieza a gestar una etapa para cuyo desarrollo el conocimiento de la realidad era el primer paso que permitiría adaptar las herramientas de fomento. Y no sólo se debía analizar el parque edificado: la estructura de la población, su capacidad de organización, sus características culturales y económicas... eran fundamentales para que esta revisión fuera adecuada. En ese momento, se estudian, de forma sistemática y replicable, veintidós Conjuntos Urbanos declarados de Interés en la ciudad de Zaragoza, y que se corresponden con promociones de vivienda social realizadas entre los años 1940 y 1960.

El enfoque de este trabajo, como señalamos, no se limitaba a cuestiones técnicas: analizaba la composición demográfica atendiendo a aspectos socio-económicos de los polígonos; identificaba las dificultades normativas y técnicas; y proponía soluciones a ambas, además de elaborar propuestas de gestión. La rehabilitación integral que se persigue en este momento pretende que los edificios se adecuen a parámetros actuales de calidad de vida y confort, impulsando medidas para la supresión de barreras arquitectónicas y de ahorro energético. El estudio justificó la posterior delimitación de Áreas de Rehabilitación Integral en el marco del Plan Estatal de Vivienda y Rehabilitación (2009-2012) y puso la semilla hacia una nueva forma de trabajo apoyada en equipos multidisciplinares.

Damos un salto hasta el año 2006, en el que el Ayuntamiento de Zaragoza decidió e impulsó el Acuerdo entre las diferentes administraciones públicas para la gestión de las distintas ayudas, a través de una ventanilla única. Se propuso su gestión por el propio Ayuntamiento, a través de Zaragoza Vivienda. Se constituyó, para este fin, la Oficina Técnica de Rehabilitación Urbana en Áreas de Rehabilitación Integral y Centro Histórico. Se lograba así una mayor eficacia en la actuación y se conformaba un espacio de referencia especializado en cuestiones de rehabilitación en la ciudad. En él se unificaban informaciones y criterios, impidiendo que la gestión de fondos provenientes de distintas administraciones supusiera una complicación para el ciudadano. Se apoyaba la difusión de las ayudas, se asesoraba y realizaba una labor previa que alcanzaba dos vertientes, la técnica y la social, consiguiendo llegar tanto a las necesidades del edificio y como de sus residentes.

Para el fomento de la rehabilitación en las Áreas de Rehabilitación Integral y del Casco Histórico (ARIs y ARCH), que presentaban situaciones de deterioro físico y social, se exploraron fórmulas de gestión a través de modos convenidos, en los que se hacía una mayor supervisión de los expedientes y un seguimiento coordinado por parte de los servicios técnicos y sociales del órgano gestor. Para firmar estos convenios, el personal especializado conformaba equipos multidisciplinares que se desplazaban a los barrios y, con un gran esfuerzo de comunicación y trabajo de campo, movilizaban a la comunidad para que pudiera dar los primeros pasos. Se establecieron puntos de información por Áreas que funcionaban a horas determinadas actuando, además, como dispositivos de apoyo en la gestión de los procesos en las comunidades, que iban desde el procedimiento para acceder a las ayudas, hasta la toma de acuerdos o la negociación de un crédito. Se mantuvo también la posibilidad de obtener información aunque no existiera un acuerdo comunitario, con una visita que permitía elaborar un informe técnico del edificio, en el que se recogían las defi-

ciencias y soluciones técnicas obligatorias a ejecutar en caso de firmar convenio para recibir ayudas. Destacar que sólo si se firmaba el Convenio (gestión convenida) se continuaba el proceso, con lo que este paso comportaba de compromisos mutuos de Zaragoza Vivienda y de las comunidades de propietarios.

La cercanía y la mediación se perfilan como aprendizajes fundamentales de este periodo. Este acompañamiento en la toma de decisiones, requiere de un asesoramiento técnico y social que permita aportar datos objetivos e informaciones claras que ayuden a decidir a la comunidad de propietarios sobre las alternativas posibles en la rehabilitación de su vivienda o edificio. En este sentido, otra gran apotación de este periodo fue la ejecución de Proyectos Piloto. Se establecía una competencia abierta entre comunidades de vecinos del Área. Para la adjudicación de las ayudas se priorizaban el nivel de acuerdo de la comunidad, la concurrencia conjunta de varias comunidades de un mismo bloque y el nivel socio-económico. Todos estos requisitos facilitaron la aparición de liderazgos y fomentaron el acuerdo interno entre las comunidades, aspectos necesarios para tener mayores posibilidades de optar a las subvenciones.



Figura 1: Antes y después de rehabilitación edificio piloto en Grupo Andrea Casamayor.

Fuente: Zaragoza Vivienda.

Esta estrategia impulsó las primeras actuaciones que ejemplificaron las posibilidades de los nuevos modelos en edificios piloto y permitieron contar con datos reales [Figura 1]. Sin embargo, la fórmula convenida requirió, al menos en las primeras experiencias, de una intervención intensa por parte de la administración, con dedicación de mucho tiempo y recursos, lo que redujo el alcance de comunidades beneficiadas. Este ensayo de figuras de

gestión convenidas en las que las administraciones públicas tengan funciones más activas de supervisión técnica y administrativa se debería reducir a determinadas situaciones de mayor fragilidad social y con colectivos menos estructurados o con menores habilidades de gestión. También en estos años se consolidaron, como ya hemos señalado, algunos equipos multidisciplinares en los que se combinan las visiones sociales, técnicas y jurídicas, para satisfacer las necesidades de las personas que habitan los edificios y la ciudad de una forma sostenible.

Otros aspectos relevantes, identificados por Jiménez, Molina y Nicolás [4] son el diagnóstico participado con propietarios y asociaciones de vecinos, con un enfoque participación-información, destacando la definición de un modelo de rehabilitación urbana a escala municipal, la identificación de las principales barreras, la experiencia adquirida en la gestión, la mejora en la coordinación e integración entre los distintos actores, organizaciones e instituciones, así como la mejora y modificación de normativas locales, regionales e incluso nacionales. Algunas ciudades españolas han estudiado la replicabilidad del modelo, como es el caso del barrio Lourdes Renove en Tudela (Navarra) [5].

Al final de este periodo, que coincidió con la crisis que azotó todo el país, las consecuencias de los nuevos desarrollos comenzaban a sentirse con fuerza en los barrios de la periferia tradicional. Al vaciamiento de casas y el envejecimiento de la población se sumaba la degradación de un parque edificado que no respondía a los estándares de la población actual. Estaba claro que la mejora de los edificios fomentaría la permanencia de los propietarios y promovería el acceso de población joven y la ocupación de viviendas vacías, pero la actuación exclusiva en aspectos de rehabilitación ya no iba a ser suficiente. El problema al que nos enfrentamos en la actualidad requiere de intervenciones mucho más integrales.

### **2.3 Planes de barrio: la rehabilitación como parte de una estrategia integral de regeneración**

En el año 2012, los recursos económicos destinados a fomentar la rehabilitación se redujeron de forma drástica. La Oficina Técnica de Rehabilitación Urbana en Áreas de Rehabilitación Integral y Centro Histórico tuvo que ser desmontada y el nuevo texto de la Ordenanza, aprobado en el año 2010, no pudo ser aplicado. No es hasta el año 2016 que podemos hablar de una recuperación en los presupuestos municipales destinados al fomento de la rehabilitación, todavía sin llegar a los límites anteriores pero ya de forma continuada. El momento coincide con una etapa de cambio de modelo de ciudad, en la que los barrios, la regeneración urbana de la Zaragoza consolidada y la participación están adquiriendo un fuerte protagonismo.

Ha sido quizás por eso el momento de replantearse la gestión de las ayudas desde una reflexión estratégica integral y a partir de los aprendizajes de anteriores experiencias. Las conclusiones extraídas nos están llevando a revisar la fórmula a plantear. Exponemos a continuación el proceso en el que nos encontramos.

La necesidad de una intervención más sistemática y extendida a toda la ciudad se hace evidente. La crisis ha expandido la problemática que antes se concentraba en ciertos sectores de la ciudad y actualmente es extraño el barrio que no cuenta con situaciones graves que deben ser atendidas: personas mayores o de movilidad reducida atrapadas en sus hogares por la falta de ascensor, o personas que sufren la pobreza energética en viviendas mal aisladas y sin calefacción adecuada. Ha llegado el momento de revisar las delimitaciones de

Áreas de Rehabilitación, que hoy en día dejan fuera muchas zonas de la ciudad de idénticas características socio-económicas y técnicas, con edificios del mismo año y tipología de construcción, u otros núcleos de la ciudad vulnerables o en igual riesgo de exclusión. Es el momento de extender lo aprendido a otras áreas de la ciudad. Los proyectos pilotos de la anterior etapa han permitido ejemplificar y mejorar las soluciones teóricas y han estimulado la formación de equipos multidisciplinares y profesionales especializados entre todos los agentes intervinientes en el proceso. En el contexto de los Planes de Barrio, y con una visión que integra aspectos de ámbito urbano que superan los edificios y sus habitantes, se están delimitando nuevas zonas para su estudio e intervención en toda la ciudad.

En las fórmulas actuales se constata un esfuerzo dedicado a la adaptación de los mecanismos de fomento de la rehabilitación a cada circunstancia, teniendo en cuenta las necesidades técnicas, la composición de las comunidades y respondiendo, así, de forma adecuada a la problemática detectada. Actualmente, existen hasta 4 líneas de ayudas diferentes y cada una trata de solventar distintas situaciones que bloquean procesos de rehabilitación. Por ejemplo, existen ayudas para propietarios con ingresos limitados cuya comunidad se ve envuelta en una obra de rehabilitación integral. Se están coordinando con otros programas, como el de Captación de Vivienda Vacía y se siguen estudiando fórmulas para la posible superación de barreras al crédito. Las convocatorias se encuentran en continua revisión y en cada una se incorporan los aprendizajes, propuestas y estudio de casos, para adecuarlos a las necesidades de las personas.

Por último, se plantea la recuperación de equipos multidisciplinares que conozcan y trabajen en el territorio. Actualmente se está diseñando la reincorporación de estas figuras, valorando la posibilidad de diferenciar entre dos grados de intervención: una dedicada a informar y asesorar a amplios polígonos de la ciudad, cuyos edificios no cumplen con los estándares básicos de accesibilidad y aislamiento. Y otra, focalizada en áreas de una mayor fragilidad, por coincidencia de aspectos de vulnerabilidad social, física y urbanística. En ambos casos, es fundamental también la medición de resultados y el acompañamiento posterior, puesto que los procesos de regeneración no terminan cuando acaban las obras.

### 3. CONCLUSIONES

La consolidación de una política estable de apoyo a la rehabilitación se ha de enmarcar en una planificación más amplia sobre modelo de ciudad, de tipo estratégico e integral. Para reflexionar en ese contexto, recopilamos a continuación un catálogo de orientaciones generales, extraídas de nuestra experiencia, para garantizar nuestro objetivo primero: mantener a las personas en el centro del proceso de la rehabilitación.

En primer lugar, para elaborar y ejecutar Estrategias de Regeneración Urbana, es necesario partir de la coordinación con las demás Áreas del Ayuntamiento, por un lado, y con otras instituciones, por otro, articulando mecanismos eficaces que permitan la adecuada combinación de las diferentes competencias. Han de facilitarse canales de comunicación ágiles que permitan resolver rápidamente las situaciones socio-urbanísticas que se generen durante el proceso de rehabilitación de los edificios, en la urbanización de la zona afectada por la rehabilitación de los edificios y hasta lograr la regeneración urbana integral.

Es fundamental conocer en profundidad la problemática que afecta a nuestro parque residencial, realizando diagnósticos tanto cuantitativos como cualitativos y, en todo caso, participados. Esto nos permitirá medir lo que queremos mejorar, conocer la magnitud del

problema y diseñar herramientas adecuadas y bien dimensionadas. Además, estos parámetros nos han de permitir definir indicadores para el seguimiento y la valoración de resultados.

Ofrecer cercanía, llegando, cuando se valore necesario, a la territorialización de oficinas de rehabilitación, y manejando mensajes y un lenguaje comprensible. Las estrategias de comunicación deben ser potentes, reflexionadas y adaptadas. Tenemos que reconocer a nuestros interlocutores y despertar su interés a través de información clara y real. Escoger de forma cuidadosa los canales de comunicación para lograr realizar una labor didáctica profunda y continua. Para ello, contamos con resultados, experiencias y propuestas piloto sobre las que apoyarnos.

Tiene que existir capacidad para una individualización de la metodología con el objetivo de permitir la adaptación a los procesos y comunidades distintas, incluyendo la adaptación de formas de difusión, mensajes y exigencias. La posibilidad de definición de cuantías y tipos de las ayudas en función de aspectos socio-económicos y capacidades de gestión. En determinados supuestos de mayor fragilidad social es necesario adecuar aspectos como los importes máximos, la forma de pago, o las condiciones exigibles a los beneficiarios, para lograr responder también en situaciones en las que las comunidades están poco estructuradas o hay situaciones personales de mayor complejidad. Es necesario el apoyo en la gestión de la comunidad y de la obra, desde la mediación en la comunidad, la planificación y la toma de decisiones de la obra de rehabilitación.

Finalmente, hemos de contar con un protocolo eficaz para el seguimiento posterior, que nos aporte retornos y nos permita reaccionar de forma ágil. Sólo así contaremos con las claves para poder reconocer los aciertos y errores, mejorarlos y valorar el alcance y adecuación de las políticas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS (Y CITAS EN EL TEXTO)

- [1] J.A. Ruiz Sainz-Aja (2016). “El problema de la rehabilitación: La financiación de las comunidades de propietarios”, en Revista del Consejo General de Colegios de Administradores de Fincas. Leído en [http://www.cgcafe.org/wp-content/uploads/2016/11/revista\\_aaff\\_177.pdf](http://www.cgcafe.org/wp-content/uploads/2016/11/revista_aaff_177.pdf).
- [2] Jiménez Romera, Carlos; Molina Costa, Patricia y Nicolás Buxens, Olatz (2017), “Procedimientos innovadores de gestión y financiación en actuaciones de rehabilitación y regeneración urbana”, en Ciudades, 20, pp. 89-110 [recurso digital]. DOI: 10.24197/ciudades.20.2017.22.
- [3] Exposición de motivos del texto refundido de la Ordenanza de Fomento a la Rehabilitación de Zaragoza (2010) Aprobación definitiva por Ayuntamiento Pleno el 25.06.2010. Publicado en BOPZ (Boletín Oficial de la Provincia de Zaragoza) nº 199 de 31.08.2010.
- [4] Jiménez Romera, Carlos; Molina Costa, Patricia y Nicolás Buxens, Olatz (2017), “Procedimientos innovadores de gestión y financiación en actuaciones de rehabilitación y regeneración urbana”, en Ciudades, 20, pp. 89-110 [recurso digital]. DOI: 10.24197/ciudades.20.2017.22
- [5]. Proyecto Lourdes Renove (2010) Ayuntamiento de Pamplona. Leído en <http://www.nasuvinsa.es/es/proyecto-lourdes-renove>.

## ESTUDIO DEL ÓPTIMO ECONOMICO EN REHABILITACIÓN DE VIVIENDAS SOCIALES EN FUNCIÓN DEL BINOMIO AISLAMIENTO - AHORRO DE ENERGÍA

DE LA CRUZ PÉREZ, SERGIO<sup>1</sup>; DE LA CRUZ PÉREZ, LUCIO<sup>2</sup>;  
SIMÓN NIÑO, JAVIER RICARDO<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ARQUIPRO, Zaragoza, España

E-mail: ldacruzperez@gmail.com, Web: www.arquipro.es

<sup>2</sup>COATZ, Zaragoza, España

E-mail: gerente@coatz.org, Web: www.coatz.org

<sup>3</sup>ARQUIPRO, Zaragoza, España

E-mail: javier@arquipro.es, Web: www.arquipro.es

**PALABRAS CLAVE:** Rehabilitación. Viviendas Sociales. Óptimo Económico. Aislamiento Térmico. Ahorro de Energía.

### RESUMEN

En la actualidad en España existe un parque de viviendas con una edad media muy elevada y del parque de viviendas aproximado de 25 millones, casi un 8% de los mismos son viviendas de alquiler social, que existen en número tan elevado por la política de vivienda de los años 50, por la que desde los poderes públicos se pretendió que los españoles optaran a un régimen de vivienda en propiedad [2].

En el artículo se estudia, en base a diversos análisis teóricos y a la experiencia de su implantación en obra, como varían los criterios de ahorro energético en un edificio rehabilitado, en función de la variación de su aislamiento, relacionando estos parámetros citados con su impacto económico directo en la ejecución de la obra. El estudio se realiza sobre rehabilitación de bloques “sociales” de vivienda adosados y que datan de la década de los 50.

Para ello, en primer lugar, se realiza el análisis energético del edificio en su situación inicial y posteriormente se analiza cómo les afecta a la transmitancia de sus paramentos y a la demanda energética final, las diferentes composiciones de aislamiento térmico añadido en los diferentes elementos de su envolvente. Todo ello, analizado también desde el punto de vista económico, para poder obtener un punto óptimo desde el aspecto económico-energético y que posteriormente también tenga en cuenta todos los condicionantes sociales que presentan este tipo de viviendas (renta media de los ocupantes, ayudas públicas, organización de la comunidad, etc.) y que inevitablemente tienen una importancia decisoria en la rehabilitación final o no del edificio. Como conclusión final se obtiene un óptimo en cuanto al tratamiento del aislamiento térmico en la rehabilitación energética de este tipo de bloques de viviendas sociales, tan común en muchos municipios de nuestra geografía, valorando el triple criterio económico, energético y social.

## 1. INTRODUCCIÓN

En el sector de la edificación en España existe una gran distancia que separa nuestro parque edificado de las exigencias europeas relativas a la eficiencia energética de los edificios y, a través de ellos, de las ciudades. Casi el 58 % de nuestros edificios se construyó con anterioridad a la primera normativa que introdujo en España unos criterios mínimos de eficiencia energética: la norma básica de la edificación NBE-CT-79 [2], sobre condiciones térmicas en los edificios. La Unión Europea ha establecido una serie de objetivos en el Paquete 20-20-20 «Energía y Cambio Climático» [1], que establece, para los 27 países miembros, dos objetivos obligatorios: la reducción del 20 % de las emisiones de gases de efecto invernadero y la elevación de la contribución de las energías renovables al 20 % del consumo, junto a un objetivo indicativo, de mejorar la eficiencia energética en un 20 %. Precisamente, la Directiva 2012/27/UE, relativa a la eficiencia energética, tras reconocer que los edificios representan el 40 % del consumo de energía final de la Unión Europea, obliga no sólo a renovar anualmente un porcentaje significativo de los edificios de las Administraciones centrales para mejorar su rendimiento energético, sino a que los Estados miembros establezcan, también, una estrategia a largo plazo, hasta el año 2020, para minorar el nivel de emisiones de CO<sub>2</sub> (y hasta el año 2050) con el compromiso de reducir el nivel de emisiones un 80-95 % en relación a los niveles de 1990, destinada a movilizar inversiones en la renovación de edificios residenciales y comerciales, para mejorar el rendimiento energético del conjunto del parque inmobiliario [3].

Es por ello que tras la inclusión en el marco normativo español, por trasposición parcial de la Directiva 2010/31/UE, del RD 235/2013 [4], por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios y tras la inclusión adicional de la citada certificación en el IEE, donde las actuaciones materia de rehabilitación energética de edificios toma una nueva dimensión, que puede permitir nuevas estrategias de fomento e incentivación de la rehabilitación edificatoria en climas propicios para ello, como es el caso de Aragón.

Por todo ello, la rehabilitación de las viviendas más antiguas y con peores características constructivas, como el edificio objeto del estudio representa una gran oportunidad.

## 2. METODOLOGÍA

La metodología que se ha empleado ha sido mediante un conjunto exhaustivo de simulaciones energéticas al edificio analizado, con señalamiento urbano en C/ Anzánigo, nº 4 del municipio de Zaragoza, para cada uno de los espesores de aislamiento más comúnmente utilizados en rehabilitación y se han comparado con la situación energética inicial del edificio. Para ello se ha utilizado el software oficial en la versión actualizada en el momento de redacción de la comunicación científica, Herramienta unificada LIDER-CALENER (HULC) versión 1.0.1564.1124 (fecha de actualización 03 de marzo de 2017). [6]

A través de este software informático se ha simulado el comportamiento térmico del edificio en cuanto a demanda, consumo de energía final y primaria no renovable y emisiones de CO<sub>2</sub> para los usos de calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria (ACS), en función de los diferentes espesores de aislamiento con el sistema constructivo elegido (tipo SATE) para fachadas y rehabilitación completa de la cubierta con adición de aislamiento térmico adicional.

Una vez obtenidos los parámetros energéticos para cada una de las situaciones analizadas, se han comparado éstas con la situación inicial y con los mínimos marcados por el Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE) del Código Técnico de la Edificación, para analizar cuales de las hipótesis eran per se viables desde el punto de vista de cumplimiento normativo.

Por último se han cruzado los resultados obtenidos en cada una de las hipótesis con el coste económico que tendría el gasto en energía en cada uno de los supuestos durante los 8 años posteriores a la rehabilitación, periodo éste que coincide con la duración del préstamo seleccionado por los vecinos y máximo que se otorga para obras de rehabilitación en la actualidad y con el coste de la inversión en el aislamiento térmico, para obtener con todo ello el óptimo económico.

## 3. CASO DE ESTUDIO

La intervención, actualmente en ejecución, en el inmueble sito en Zaragoza, c/Anzánigo nº 4, corresponde a un encargo realizado por la Comunidad de Propietarios, y consiste en la redacción del proyecto y la dirección de las obras de Rehabilitación del sistema envolvente, cerramientos verticales y cubiertas, del inmueble, así como la mejora de las instalaciones comunes y la accesibilidad del mismo, de acuerdo con el Informe de Evaluación del Edificio, la normativa técnica vigente y las indicaciones de la propiedad.

Con estas obras se pretende realizar obras de conservación y mejora del inmueble para, de modo razonable, eliminar las deficiencias recogidas en el Informe de Evaluación del Edificio; mejorar las condiciones de calidad y sostenibilidad del edificio interviniendo en la envolvente térmica, en la ventilación y en la eficiencia energética de sus instalaciones comunes, y lograr así una notable mejora en la demanda energética del; y mejorar la accesibilidad mediante la instalación de un ascensor.

El proyecto ha permitido llevar a la práctica por cuarta vez en el barrio del Picarral de Zaragoza, la idea de los autores de lo que debe de ser una intervención de conservación y rehabilitación del parque de viviendas, la parte más importante del conjunto del patrimonio construido en nuestras ciudades, relegada tradicionalmente en nuestro país a un carácter secundario frente a intervenciones de este tipo en monumentos y equipamientos públicos,

pese a dirigirse al objetivo básico de la arquitectura y la edificación: la satisfacción de las necesidades básicas de las personas. Nuestra sociedad ha carecido, hasta ahora, del hábito de restaurar adecuadamente los bloques de vivienda, habiéndose instaurado durante muchos años un pensamiento de “usar y tirar” arquitectónico incompatible con las nuevas ideas sociales de sostenibilidad, reciclaje y reutilización.

El tipo de vecindario que reside en este bloque, personas mayores y/o con ingresos reducidos, ha requerido de un esfuerzo no sólo técnico sino de asesoramiento en los aspectos burocráticos y de financiación que nos ha permitido asumir los deseos y exigencias de nuestros clientes ligándolos a una arquitectura energéticamente eficiente, de uso sostenible, vinculada a la historia de la ciudad y con garantías de durabilidad, pero con unos costes económicos ajustados a sus posibilidades. De esta manera, y tras importantes esfuerzos durante muchas jornadas de trabajo y reuniones, la obra cuenta con dos subvenciones: una debida a la línea I “Ayudas en zonas delimitadas para la mejora de la eficiencia energética y accesibilidad en edificios” correspondiente a las Ayudas 2016 de la Sociedad Municipal Zaragoza Vivienda; y otra procedente de las “Ayudas de fomento a la rehabilitación edificatoria, correspondientes a la provincia de Zaragoza, dentro del convenio de colaboración entre el Ministerio de Fomento y la Comunidad Autónoma de Aragón para la ejecución de la prórroga del Plan Estatal de fomento del alquiler de viviendas, la rehabilitación edificatoria y la regeneración y renovación urbanas, 2013-2016”

Con esta intervención se pretende reivindicar la función social de la rehabilitación, ya que conservar el patrimonio construido adaptándolo a las exigencias de seguridad, confort, sostenibilidad y eficiencia que exige la sociedad actual, es la mejor opción si somos conscientes de la existencia de recursos limitados y de nuestra obligación de resolver las necesidades habitacionales de las personas.

### 3.1 Características del edificio

El edificio objeto de nuestra intervención se ubica en Zaragoza, c/Anzánigo nº 4, dentro de un bloque de 120 viviendas construido a finales de los años cuarenta del siglo XX (año 1.949), en el marco de una actuación superior conocida como “Grupo de viviendas Francisco Franco” y de la que dicho bloque era la primera construcción, coincidente hoy con c/Anzánigo nº 2 a nº 16. El bloque c/Anzánigo nº 2 -16 consta de ocho casas con 120 viviendas de tres tipos (2, 3 y 4 dormitorios), con acceso por c/Anzánigo, de cuatro plantas (B+3) todas destinadas a viviendas, sin sótano y cuatro viviendas por planta. Orientada N-S, la fachada norte queda expuesta al cierzo. Las dos fachadas son iguales, sencillas y uniformes y al exterior traducen su estructura interior. La composición es monótona sin más elementos diferenciadores que los portales junto a los cuales se abren tiendas. El portal que nos atañe en este proyecto se ubica entre medianeras, destinado a 15 viviendas y un local, que consta de planta baja y tres alzadas, con una distribución en planta en forma de “H” debido a la existencia de dos patios interiores compartidos con los bloques colindantes. Consta de cuatro viviendas por planta excepto la baja, que sólo tiene tres y un local. Presenta fachada principal a la c/Anzánigo y trasera a c/Somport. Las viviendas del portal c/Anzánigo nº 4 son de muy pequeño tamaño, las sitas a la izquierda entrando de 35,82 m<sup>2</sup>, 7 viviendas; las sitas a la derecha entrando, con un dormitorio más, de 44,72 m<sup>2</sup>, 8 viviendas. Por lo que se comprende el adjetivo de ultrabaras con el que han sido conocidas desde su construcción. Las viviendas pequeñas constan de un aseo, salón comedor con cocina incorporada y dos

dormitorios; las grandes cuentan con un tercer dormitorio. La adaptación de las viviendas a los estándares habitacionales actuales requeriría una reestructuración interior, sin que dimensionalmente se pudieran solucionar sus carencias. Muchos vecinos han reformado la disposición de cocina y baño.

El edificio presenta tres crujías: 8,95 m en viviendas a c/Anzánigo; 4,50 m para el patio, y 8,95 viviendas a c/Somport, conjugadas con los 3,25 m entre ejes de los muros perpendiculares a fachada. El bloque tiene una altura de 11,40 m. Las alturas libres de las plantas varían entre 2,40 m en el punto más bajo de la bóveda hasta 2,60 en la clave. La cimentación es de relleno de hormigón en zanja corrida. La estructura portante es de muros de carga de fábrica de ladrillo y adobe, de 25 cm de espesor, perpendiculares a fachada con una distancia entre ejes de 3,25 m. Todas las fachadas tienen un espesor de 48 cm, siendo de ladrillo macizo en los encuentros de los muros transversales y adobe en el resto. Aparecen revocadas con mortero bastardo [5]. Las bóvedas de techo de planta baja y los huecos aparecen recercados con ladrillo macizo, que junto a los muros de carga transversales del mismo material, caracterizan las fachadas. La transmitancia de la fachada tiene un valor de  $U=1,90$   $W/m^2K$  y la cubierta inclinada de  $U=2,70$   $W/m^2K$ .



Figura 1: Vista de la fachada exterior del edificio.

### 3.2 Escenario y estudio energético

El análisis se ha dividido en dos partes, la primera analiza el impacto en cuanto a los parámetros energéticos que tiene la rehabilitación energética del mismo, mediante la adi-

ción de aislamiento térmico por el exterior en el caso de la fachada y debajo del material de cobertura en la cubierta y la segunda mediante el análisis económico de cada una de las soluciones adoptadas.

El coste de electricidad promedio es de 0,25 €/kWh, con IVA e incluyendo término fijo y variable, así como el impuesto de la electricidad. Este coste ponderado por unidad consumida es muy alto debido al excesivo peso del término fijo por alta potencia contratada (promedio 4,3 kW) y bajos consumos en general. Todas las instalaciones son eléctricas y para la realización de este estudio se continua con esta hipótesis. Los costes de inversión en la obra son los reales de ejecución de la misma y los de las hipótesis analizadas son los mejores obtenidos en el mercado a fecha enero 2018.



Figura 2: Vista de cubierta del edificio.

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Todos los datos y resultados obtenidos se reflejan en las tablas siguientes, en función del espesor de aislamiento elegido.

Tabla 1: Resultados comparados análisis espesor de aislamiento 0-6 cm.

	ESPESOR DE AISLAMIENTO (FACHADAS Y CUBIERTA)					
	0 cm	2 cm	3 cm	4 cm	5 cm	6 cm
Demanda calefacción (kWh/m <sup>2</sup> )	163,0	98,6	92,6	89,0	84,3	82,0
Demanda refrigeración (kWh/m <sup>2</sup> )	17,9	6,0	4,7	4,4	4,2	4,1
<b>Demanda GLOBAL (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>200,9</b>	<b>103,6</b>	<b>97,2</b>	<b>92,4</b>	<b>88,5</b>	<b>86,1</b>
Demanda límite edificio de referencia (kWh/m <sup>2</sup> ) (HE-1)	88,7	88,7	88,7	88,7	88,7	88,7
Demanda calefacción total año (kWh)	137.817,3	74.255,7	69.661,8	66.272,8	63.486,3	61.754,2
Demanda refrigeración total año (kWh)	13.480,8	3.755,5	3.539,6	3.313,6	3.163,0	3.087,7
<b>Demanda GLOBAL total año (kWh)</b>	<b>151.297,8</b>	<b>78.021,2</b>	<b>73.201,3</b>	<b>69.586,4</b>	<b>66.649,4</b>	<b>64.841,9</b>
Reducción de demanda respecto edificio original (%)	0,0%	48,4%	51,6%	54,0%	55,9%	57,1%
Consumo e. final calefacción (kWh/m <sup>2</sup> )	160,8	114,9	108,2	103,3	99,7	96,7
Consumo e. final refrigeración (kWh/m <sup>2</sup> )	9,6	2,5	2,3	2,2	2,1	2,0
Consumo e. final ACS (kWh/m <sup>2</sup> )	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5
<b>Consumo e. final GLOBAL (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>202,8</b>	<b>140,9</b>	<b>134,0</b>	<b>129,0</b>	<b>125,3</b>	<b>122,2</b>
Consumo e. final calefacción (kWh)	127.846,3	86.531,2	81.485,4	77.795,2	75.084,1	72.824,8
Consumo e. final refrigeración (kWh)	7.190,5	1.882,8	1.732,1	1.656,5	1.581,5	1.506,2
Consumo e. final ACS (kWh)	17.697,9	17.697,9	17.697,9	17.697,9	17.697,9	17.697,9
<b>Consumo e. final GLOBAL (kWh)</b>	<b>152.743,7</b>	<b>106.111,8</b>	<b>100.915,4</b>	<b>97.148,9</b>	<b>94.363,4</b>	<b>92.028,8</b>
Consumo e. primaria no renovable calefacción (kWh/m <sup>2</sup> )	203,0	203,0	191,5	183,2	177,0	171,9
Consumo e. primaria no renovable refrigeración (kWh/m <sup>2</sup> )	4,9	4,9	4,6	4,3	4,1	4,0
Consumo e. primaria no renovable ACS (kWh/m <sup>2</sup> )	46,0	46,0	46,0	46,0	46,0	46,0
<b>Consumo e. primaria no renovable global (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>253,9</b>	<b>253,9</b>	<b>242,1</b>	<b>233,5</b>	<b>227,1</b>	<b>221,9</b>
Consumo e. primaria no renovable calefacción (kWh)	152.879,3	152.879,3	144.218,7	137.987,9	133.298,7	129.457,9
Consumo e. primaria no renovable refrigeración (kWh)	3.890,2	3.890,2	3.464,3	3.238,3	3.087,7	3.012,4
Consumo e. primaria no renovable ACS (kWh)	34.642,6	34.642,6	34.642,6	34.642,6	34.642,6	34.642,6
<b>Consumo e. primaria no renovable global (kWh)</b>	<b>191.212,1</b>	<b>191.212,1</b>	<b>182.325,5</b>	<b>175.848,9</b>	<b>171.029,0</b>	<b>167.112,9</b>
Emissiones calefacción (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	35,8	35,8	33,8	32,3	31,2	30,3
Emissiones refrigeración (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7
Emissiones ACS (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8
<b>Emissiones GLOBALES (kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>)</b>	<b>44,4</b>	<b>44,4</b>	<b>42,4</b>	<b>40,8</b>	<b>39,7</b>	<b>38,8</b>
Emissiones calefacción (kgCO <sub>2</sub> )	26.961,0	26.961,0	25.454,8	24.325,1	23.406,7	22.818,0
Emissiones refrigeración (kgCO <sub>2</sub> )	602,5	602,5	602,5	527,2	527,2	527,2
Emissiones ACS (kgCO <sub>2</sub> )	5.874,2	5.874,2	5.874,2	5.874,2	5.874,2	5.874,2
<b>Emissiones GLOBALES (kgCO<sub>2</sub>)</b>	<b>33.437,6</b>	<b>33.437,6</b>	<b>31.931,4</b>	<b>30.726,5</b>	<b>29.808,1</b>	<b>29.220,3</b>
Catificación energética	G	E	E	E	E	E
Gasto en energía año (€)	19.093,9 €	17.243,2 €	16.398,9 €	15.786,9 €	15.334,1 €	14.954,7 €
Coste unitario fachada (€/m <sup>2</sup> )	0,0	53,9	56,7	59,4	62,1	64,8
Coste unitario cubierta (€/m <sup>2</sup> )	0,0	15,4	17,6	19,8	22,2	24,4
Coste aislamiento fachadas (€ IVA incluido)	0,0	31.415,1	33.017,9	34.620,7	36.194,4	37.782,2
Coste aislamiento cubierta (€ IVA incluido)	0,0	3.760,7	4.297,9	4.835,2	5.418,1	5.955,3
Coste medios y obras auxiliares (€ IVA incluido)	0,0	26.789,4	26.789,4	26.789,4	26.789,4	26.789,4
<b>Coste total aislamiento (€ IVA incluido)</b>	<b>0,0</b>	<b>61.965,2</b>	<b>64.105,2</b>	<b>66.245,3</b>	<b>68.398,9</b>	<b>70.506,9</b>
<b>Coste económico total (inversión + gastos energía 8 años) (€)</b>	<b>152.743,7 €</b>	<b>199.910,5 €</b>	<b>195.295,2 €</b>	<b>192.540,1 €</b>	<b>191.071,4 €</b>	<b>190.144,4 €</b>

Tabla 2: Resultados comparados análisis espesor de aislamiento 7-12 cm.

	ESPESOR DE AISLAMIENTO (FACHADAS Y CUBIERTA)					
	7 cm.	8 cm.	9 cm.	10 cm.	11 cm.	12 cm.
Demanda calefacción (kWh/m <sup>2</sup> )	79,8	78,0	76,5	75,2	74,2	73,2
Demanda refrigeración (kWh/m <sup>2</sup> )	3,9	3,8	3,8	3,7	3,6	3,6
<b>Demanda GLOBAL (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>83,7</b>	<b>81,8</b>	<b>80,3</b>	<b>78,9</b>	<b>77,8</b>	<b>76,8</b>
Demanda límite edificio de referencia (kWh/m <sup>2</sup> ) (HE-1)	88,7	88,7	88,7	88,7	88,7	88,7
Demanda calefacción total año (kWh)	60.097,4	58.741,8	57.612,2	56.633,1	55.880,0	55.126,9
Demanda refrigeración total año (kWh)	2.937,1	2.861,8	2.861,8	2.786,5	2.711,2	2.711,2
<b>Demanda GLOBAL total año (kWh)</b>	<b>63.034,5</b>	<b>61.603,6</b>	<b>60.473,9</b>	<b>59.419,6</b>	<b>58.591,2</b>	<b>57.838,1</b>
<b>Reducción de demanda respecto edificio original (%)</b>	<b>58,3%</b>	<b>59,3%</b>	<b>60,0%</b>	<b>60,7%</b>	<b>61,3%</b>	<b>61,8%</b>
Consumo e. final calefacción (kWh/m <sup>2</sup> )	94,3	92,4	90,8	89,4	88,3	87,2
Consumo e. final refrigeración (kWh/m <sup>2</sup> )	2,0	1,9	1,9	1,8	1,8	1,8
Consumo e. final ACS (kWh/m <sup>2</sup> )	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5
<b>Consumo e. final GLOBAL (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>119,8</b>	<b>117,8</b>	<b>116,2</b>	<b>114,7</b>	<b>113,6</b>	<b>112,5</b>
Consumo e. final calefacción (kWh)	71.017,3	69.586,4	68.381,5	67.327,1	66.498,7	65.670,3
Consumo e. final refrigeración (kWh)	1.506,2	1.430,9	1.430,9	1.355,6	1.355,6	1.355,6
Consumo e. final ACS (kWh)	17.697,9	17.697,9	17.697,9	17.697,9	17.697,9	17.697,9
<b>Consumo e. final GLOBAL (kWh)</b>	<b>90.221,4</b>	<b>88.715,2</b>	<b>87.510,2</b>	<b>86.380,6</b>	<b>85.552,2</b>	<b>84.723,8</b>
Consumo e. primaria no renovable calefacción (kWh/m <sup>2</sup> )	167,8	164,6	161,7	159,4	157,4	155,6
Consumo e. primaria no renovable refrigeración (kWh/m <sup>2</sup> )	3,8	3,7	3,7	3,6	3,5	3,5
Consumo e. primaria no renovable ACS (kWh/m <sup>2</sup> )	46,0	46,0	46,0	46,0	46,0	46,0
<b>Consumo e. primaria no renovable global (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>217,6</b>	<b>214,3</b>	<b>211,4</b>	<b>209,0</b>	<b>206,9</b>	<b>205,1</b>
Consumo e. primaria no renovable calefacción (kWh)	126.370,2	123.960,3	121.776,3	120.044,1	118.537,9	117.182,4
Consumo e. primaria no renovable refrigeración (kWh)	2.861,8	2.786,5	2.786,5	2.711,2	2.635,9	2.635,9
Consumo e. primaria no renovable ACS (kWh)	34.642,6	34.642,6	34.642,6	34.642,6	34.642,6	34.642,6
<b>Consumo e. primaria no renovable global (kWh)</b>	<b>163.874,6</b>	<b>161.389,3</b>	<b>159.205,3</b>	<b>157.397,9</b>	<b>155.816,4</b>	<b>154.460,8</b>
Emissiones calefacción (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	29,5	28,9	28,4	28,0	27,7	27,3
Emissiones refrigeración (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Emissiones ACS (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8
<b>Emissiones GLOBALES (kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>)</b>	<b>38,0</b>	<b>37,3</b>	<b>36,8</b>	<b>36,4</b>	<b>36,1</b>	<b>35,7</b>
Emissiones calefacción (kgCO <sub>2</sub> )	22.216,5	21.764,6	21.386,0	21.086,8	20.860,9	20.559,6
Emissiones refrigeración (kgCO <sub>2</sub> )	527,2	451,9	451,9	451,9	451,9	451,9
Emissiones ACS (kgCO <sub>2</sub> )	5.874,2	5.874,2	5.874,2	5.874,2	5.874,2	5.874,2
<b>Emissiones GLOBALES (kgCO<sub>2</sub>)</b>	<b>28.617,8</b>	<b>28.090,6</b>	<b>27.714,1</b>	<b>27.412,8</b>	<b>27.186,9</b>	<b>26.885,7</b>
Calificación energética	E	E	E	E	E	E
<b>Gasto en energía año (€)</b>	<b>14.661,0 €</b>	<b>14.416,2 €</b>	<b>14.220,4 €</b>	<b>14.036,8 €</b>	<b>13.902,2 €</b>	<b>13.767,6 €</b>
Coste exterior fachada (€/m <sup>2</sup> )	67,5	70,3	73,2	75,9	102,5	106,2
Coste exterior cubierta (€/m <sup>2</sup> )	26,6	28,8	31,0	33,2	35,4	37,6
Coste aislamiento fachadas (€ IVA incluido)	39.365,0	40.967,8	42.634,7	44.237,6	50.741,1	61.897,6
Coste aislamiento cubierta (€ IVA incluido)	6.492,5	7.029,8	7.567,0	8.104,3	8.641,5	9.178,7
Coste montajes y otros auxiliares (€ IVA incluido)	26.789,4	26.789,4	26.789,4	26.789,4	26.789,4	26.789,4
<b>Coste total aislamiento (€ IVA incluido)</b>	<b>72.647,0</b>	<b>74.787,0</b>	<b>76.991,2</b>	<b>79.131,2</b>	<b>85.172,0</b>	<b>97.865,8</b>
<b>Coste económico total (inversión + gastos energía 8 años) (€)</b>	<b>189.934,8 €</b>	<b>190.116,7 €</b>	<b>190.754,5 €</b>	<b>191.426,0 €</b>	<b>206.389,8 €</b>	<b>208.006,6 €</b>

El material utilizado para el aislamiento en fachadas, tanto exteriores como las del patio de luces, ha sido el sistema TRADITERM que se usa como aislamiento térmico por el exterior de muros de edificación y se une al soporte mediante adhesivo y fijaciones mecánicas suplementarias. Se compone de elementos no portantes y no participa en la estabilidad ni en la estanquidad al aire del soporte sobre el que se aplica. Para las fachadas se ha elegido EPS y XPS para la cubierta.

A continuación, se presentan los resultados gráficamente teniendo en cuenta el objetivo final de pretender obtener el óptimo económico en cuanto al aislamiento térmico en una rehabilitación de la tipología analizada.

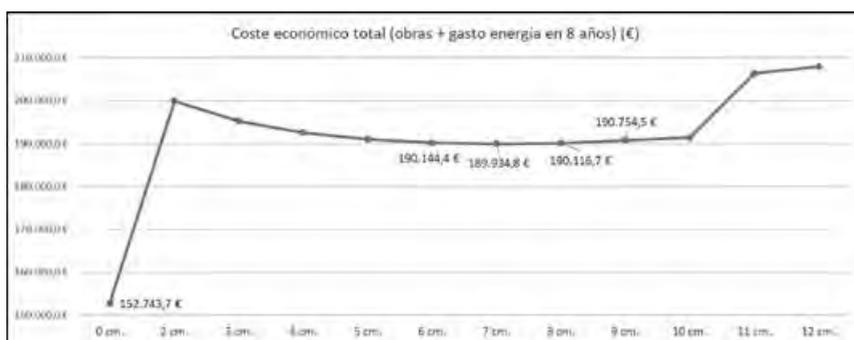


Figura 3: Coste económico (€) de la inversión inicial y el gasto en energía durante los 8 años siguientes a la rehabilitación, en función del espesor de aislamiento.

Tal como puede apreciarse en la *Figura 3*, una vez tomada la decisión de proceder a la rehabilitación energética del edificio, el óptimo económico del coste de la suma de la inversión inicial más el gasto estimado en energía para calefacción, refrigeración y ACS durante los ocho años posteriores a la finalización de las obras se obtiene para un espesor de aislamiento de 7 cm, aunque la diferencia económica total es muy pequeña en la franja entre 6 y 9 cm., lo que podría decantar la balanza hacia un espesor algo menor de 7 cm., ya que en este tipo de intervenciones el limitar al máximo la inversión inicial marca la diferencia en que el proyecto pueda salir adelante o no, ya que el conjunto social de los vecinos es un grupo de personas de bajo poder adquisitivo.

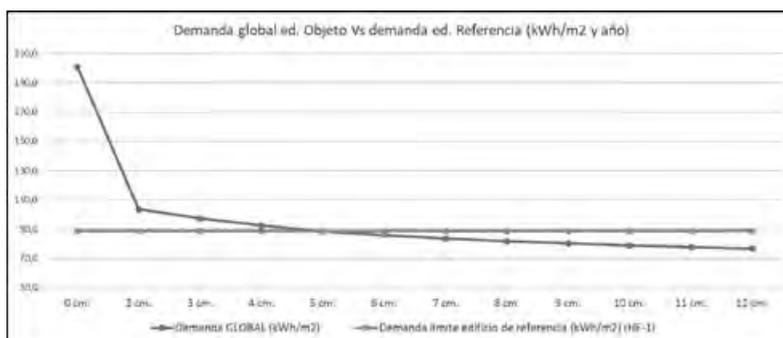


Figura 4: Demanda global edificio comparada con la exigida demanda del edificio de referencia (kWh/m2 y año).

Desde el cumplimiento normativo y como puede observarse en la *Figura 4*, a partir de un aislamiento de 5cm. se obtiene la demanda mínima del edificio objeto marcada por el HE 1 del DB-HE [7]. Para los cálculos económicos del gasto de energía, se ha realizado la ponderación de un 50 % en la hipótesis previa a la rehabilitación y un 65% tras la realización de la misma, de acuerdo a datos obtenidos en bloques anteriores intervenidos.

## 5. CONCLUSIONES

Del estudio realizado se obtienen varias conclusiones que pueden ser extrapolables a experiencias similares, que tienen mucha presencia en la ciudad de Zaragoza. En primer lugar y debido a que el consumo energético del edificio está por debajo del consumo teórico acorde con sus características constructivas, la inversión para rehabilitación energética en bloques de este tipo y con el perfil social de sus habitantes no responde a una inversión económicamente rentable en un plazo corto de tiempo, ya que el periodo de retorno de la misma sería superior a los 10 años y arrojaría un VAN negativo. Por todo ello, para poder llevar a cabo intervenciones de este tipo es necesario que los poderes públicos, mediante políticas de fomento ayuden económicamente a las inversiones. En el caso a estudio, el edificio ha obtenido una subvención algo superior al 50 % del coste subvencionable.

En segundo lugar, y como objetivo principal del estudio, el resultado arroja un óptimo económico de instalación de 7 cm. de aislamiento en fachadas y cubierta, aunque las diferencias son muy pequeñas en la franja comprendida de 5 a 10 cm., por ello y dado que en estas intervenciones de rehabilitación el factor determinante es la inversión inicial, se opte en muchas ocasiones por el mínimo espesor necesario para lograr el cumplimiento normativo (5 cm. en este caso), o en su defecto el mínimo aislamiento necesario para obtener la máxima puntuación en las convocatorias de las ayudas públicas a rehabilitación, que hasta ahora se obtiene con una reducción de un 50% de la demanda respecto de la situación inicial.

## 6. RECONOCIMIENTOS

Este documento se ha desarrollado con la colaboración de la Comunidad de Propietarios del edificio calle Anzánigo, nº 4 y con la inestimable colaboración de la Administración de Fincas del inmueble (Fincas Alfa) y la constructora Construcciones Cetón.

## 7 ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

ACS: Agua Caliente Sanitaria.

EPS: Poliestireno Expandido.

XPS: Poliestireno Extruido.

SATE: Sistema de Aislamiento Térmico Exterior.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS (Y CITAS EN EL TEXTO)**

- [1] European Commission, «Energy-efficient buildings: multi-annual roadmap for the contractual PPP under Horizon 2020.» 2013.
- [2] Eurostat, «Estadísticas sobre vivienda,» 2017.
- [3] Comisión Europea, «EU Buildings Database,» 2017.
- [4] Ministerio de la Presidencia. Gobierno de España, *Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios*, 2013.
- [5] S. Dominguez Amarillo, S.S. J., I. Oteiza San Jose, La envolvente energética de la vivienda social en el periodo 1939-1979. El caso de Sevilla, Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, Sevilla, 2015.
- [6] Herramienta unificada LIDER-CALENER (HULC). <https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-recursos/menu-aplicaciones/282-herramienta-unificada-lider-calener.html>
- [7] Ministerio de la Presidencia. Gobierno de España, *Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación*. [8] Ministerio de la Presidencia. Gobierno de España, *Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación*.
- [9] A. Cuchí, I. de la Puert

**ANÁLISIS DE PATOLOGÍAS EXPANSIVAS MANIFESTADAS EN SOLERAS  
TRAS EL RECALCE DE LA CIMENTACIÓN EN LA IGLESIA DE SAN ANDRÉS  
(CALATAYUD)**

LÓPEZ JULIÁN, PEDRO LUIS<sup>1</sup>; ORTE RUIZ, DANIEL<sup>2</sup>; PÉREZ BENEDICTO,  
JOSÉ ANGEL<sup>3</sup>; ALEGRE ARBUÉS, JESÚS FERNANDO<sup>4</sup>

<sup>1</sup> *Escuela Universitaria Politécnica de La Almunia, La Almunia, España*  
*E-mail: pllopez@unizar.es, Web: <http://www.eupla.unizar.es/>*

<sup>2</sup> *Escuela Universitaria Politécnica de La Almunia, La Almunia, España*  
*E-mail: daniorte81@gmail.com, Web: <http://www.eupla.unizar.es/>*

<sup>3</sup> *Escuela Universitaria Politécnica de La Almunia, La Almunia, España*  
*E-mail: joanpebe@unizar.es, Web: <http://www.eupla.unizar.es/>*

<sup>4</sup> *Arquitecto, Zaragoza, España*  
*E-mail: alegrearbues@hotmail.com, Web: <http://www.grucontec.com/>*

**PALABRAS CLAVE:** Patologías, expansividad, taumasita, restauración.

**RESUMEN**

Las patologías constructivas relacionadas con fenómenos expansivos en el sustrato de apoyo de edificaciones son bien conocidas, siendo la etringita el mineral responsable de dichos procesos y existiendo estrategias para su minimización, principalmente el uso de cementos sulfato resistentes. No obstante y a pesar del uso de dichas formulaciones, se ha observado que existen patologías asociadas a fenómenos expansivos en los cuales es la taumasita el mineral responsable. El potencial expansivo de este minerales tres veces mayor que el de la taumasita, por lo que su posible aparición debe ser prevista y analizada en detalle. En este trabajo se presentan los resultados del estudio de patologías por expansividad manifestadas tras la actuación de recalce por micropilotaje en la Iglesia de San Andrés (Calatayud), donde, tras su ejecución, se comenzaron a manifestar levantamientos

centimétricos de las soleras en las zonas no sometidas a cargas verticales bajo la torre. El estudio detallado del fenómeno, principalmente desde el punto de vista del contenido mineralógico de los distintos niveles del subsuelo en las zonas afectadas, ha permitido identificar el origen del proceso (expansividad por formación de sales sulfatadas, relacionada con la operación de recalce estructural previa). También se han analizado las especiales condiciones que han concurrido en este caso y en las cuales, a pesar de emplear para el recalce un cemento sulfato resistente para así evitar la formación de etringita, la presencia de cal en el subsuelo ha dado lugar a la cristalización de taumasita, mineral que ha sido el responsable del fenómeno expansivo posterior a la intervención. El conocimiento de las condiciones de manifestación de este proceso servirá para adoptar precauciones en los proyectos de restauración monumental que impliquen la utilización de hormigones y morteros con cemento portland, así como para impulsar las investigaciones encaminadas a diseñar dosificaciones de cementos que permitan su minimización.

## 1. INTRODUCCIÓN

Durante los trabajos de restauración o rehabilitación de edificios antiguos es muy común la utilización de materiales relativamente nuevos, como estrategia de sustitución de técnicas constructivas que después de muchísimos años se demuestran obsoletas por diferentes motivos, como por ejemplo la pérdida de los oficios, o en aplicación de los nuevos estándares de seguridad estructural que limitan las deformaciones de las estructuras, obligando a los técnicos contemporáneos a la utilización de nuevas técnicas que en numerosas ocasiones resultan contraproducentes para la conservación de estos edificios, además de irreversibles.

A raíz de nuestra experiencia sobre las intervenciones realizadas durante nuestra vida profesional se constata la preocupación que este tema produce, y se empieza a hablar sobre una técnica relacionada con la “desrestauración” de edificios de reciente intervención, y que están obligando a realizar estudios sobre cómo se están comportando los materiales contemporáneos en nuestros edificios históricos.

Se analiza en la presente comunicación la interacción de silicatos, carbonatos, sulfatos, agua y temperaturas bajas, que cuando actúan en conjunto son causantes de la formación de sales sulfatadas expansivas, concretamente de taumasita. Esta combinación de minerales aparece en los recalces de edificios que emplean hormigón de portland, pero que previamente habían sido cimentados con un conglomerante a base de cal aérea y apoyados en sustratos yesíferos.

Los estudios geotécnicos previos a la restauración, tal y como prescribe la normativa de referencia (EHE-08 en España; [1]), recomiendan utilizar cementos de bajo contenido en alúmina, denominados cementos sulfato resistentes, para cimentaciones o recalces en suelos con ambientes agresivos por presencia de sulfatos, y éste es el criterio que obviamente se ha utilizado para los recalces en edificios históricos.

Para el presente estudio se ha analizado el comportamiento anómalo que se detectó a raíz de una de las intervenciones en la Capilla Bautismal de la Iglesia Parroquial de San Andrés en Calatayud, que también se restauró en base a los criterios que la normativa marca y que como vamos a comentar en esta documentación se considera no tienen en cuenta otras causas de agresividad al cemento portland que aportan sales y entumecimientos a las estructuras anteriormente mencionadas.

Según el estudio geotécnico que se realizó previamente a la intervención estructural,

este monumento se cimienta sobre un terreno constituido superficialmente por un nivel de rellenos antrópicos de unos 5 m de espesor, de naturaleza arcillo-limosa y que incorporan fragmentos de gran tamaño y restos de materiales de construcción, con un contenido muy elevado de yeso (que supone un grado de exposición Qc según la EHE-08; [1]). Es un nivel de resistencia muy baja, lo que dio lugar a una recomendación de recalce mediante micropilotaje para detener la evolución de las patologías asociadas a fenómenos de asentamientos excesivos. Dicho nivel presentaba además un contenido elevado en humedad, entre un 10 y un 25%, a pesar de que el nivel freático se localizó en esta zona a unos 10 m de profundidad.

## **2. METODOLOGÍA**

### **2.1 Inspección visual de patologías**

Después de la intervención de recalce realizada en la nave de la Iglesia Parroquial de San Andrés en Calatayud, se llevó a cabo la restauración de la capilla bautismal ubicada bajo la torre campanario. Uno de los problemas que presentaba la capilla era la mala conservación de sus paramentos así como de sus solerías, que exhibían graves deterioros relacionados con humedades y con precipitación de sales asociadas a un ascenso capilar de agua desde el subsuelo. Los paramentos fueron saneados y se hizo una recolocación de los azulejos originales. Se hizo además un saneado en profundidad de los restos que existían bajo solados hasta buscar el cimiento de la torre, se ejecutó solera de hormigón y se recolocó el pavimento original colocando algunas piezas nuevas.

Una vez finalizada dicha restauración, y en un intervalo corto de tiempo (2 años), comenzó a manifestarse un levantamiento de la solera, resultando más pronunciado en la zona central y menos en las proximidades de los paramentos, lo que daba a la solera un aspecto convexo. A pesar de encontrarse en la zona central, el apoyo de la pila bautismal no sufrió ascenso alguno. Los valores medidos del levantamiento de la solera llegaron a alcanzar un máximo de 5 cm, tomando como referencia tanto la zona adyacente a las paredes (que formaban parte de la estructura de soporte de la torre) como la pila bautismal, cuya cota de apoyo quedó por tanto por debajo del pavimento. En la Figura 1 se observan los detalles del aspecto de la solera afectada por la patología descrita.



Figura 1. Arriba, aspecto general de la Capilla Bautismal tras la restauración.  
Abajo, detalle de la solera afectada por expansividad por ataque sulfatado con formación de taumasita.

## 2.2 Análisis de morteros

La aparición de la patología tras la intervención llevó a plantear la posibilidad de que se hubiese producido la precipitación de alguna sal expansiva, a pesar de haberse empleado cemento sulfato resistente, y que dicha expansividad se manifestase en las zonas donde la solera no recibía carga vertical alguna. Para confirmar o descartar esta hipótesis se procedió a la toma de muestras bajo la solera de la capilla. De los distintos niveles identificados se recogieron muestras que fueron posteriormente analizadas por difracción de rayos X en

el laboratorio de la planta de la empresa CEMEX en Morata de Jalón. Esta metodología analítica permite la determinación de las fases mineralógicas presentes en un agregado sólido, y la ventaja de analizarlo e interpretarlo en dicho laboratorio estriba en su amplia experiencia en el análisis de morteros y cementos, ya que se utiliza intensivamente para el control de calidad de la planta. En concreto, se empleó un equipo D4 Endeavor de BRUKER (tensión máxima del equipo 50kV e intensidad máxima 50 mA). El análisis se realizó con un voltaje de 35 kV y una intensidad de 45 mA. El escaneo del eje  $2\theta$  empezó a los  $10^\circ$  y terminó a los  $65^\circ$  y el escaneo del ángulo  $\theta$  empezó a  $5^\circ$  y terminó a  $32,5^\circ$ . El detector que se utilizó fue un LynxEye. Para cuantificar las fases se utilizó el programa TOPAS3 que utiliza el método Rietveld, y la base de datos de las estructuras usadas es el PDF-2.

### 3. RESULTADOS

Tras la inspección visual, se decidió desmontar las piezas de la solera, de barro cocido superficial, bajo las cuales apareció una capa de mortero compacto y con aspecto laminado, de unos 8 cm de espesor, y por debajo se encontró una capa de mortero de aspecto disgregado y muy húmedo. Bajo este nivel apareció ya el cimiento de la torre a base de yesones, que constituía la cimentación de apoyo de la torre.

En el nivel de morteros disgregados se tomaron 3 muestras a distintas profundidades, y una muestra más, representativa esta última del mortero laminado superior. El análisis mineralógico por difracción de rayos X de todas estas muestras se ofrece en la Tabla 1.

Para la interpretación de los resultados obtenidos hay que tener en cuenta que las muestras, previamente a su análisis, se secaron en estufa a  $104^\circ\text{C}$  durante 24 horas, lo que ha podido influir en la presencia o ausencia de algunas fases minerales concretas. Por ejemplo, no se ha detectado la presencia de yeso, pero sí la de bassanita (hemihidrato, sulfato cálcico con media molécula de agua), debido precisamente a la necesidad de esta preparación previa de la muestra y que en este caso concreto ha provocado la citada transformación mineralógica.

El análisis realizado muestra la presencia en las muestras de un importante número de fases mineralógicas, pero todas ellas se pueden agrupar en tres grupos principales: los minerales presentes en la fracción de árido (y/o filler), los hidratos generados en el fraguado del cemento y, finalmente, las sales minerales formadas con posterioridad. En la Tabla 2 se presentan los valores porcentuales que suponen cada una de estas clases para las muestras analizadas, observándose varios aspectos destacables. Recordando que las muestras fueron tomadas a diferentes profundidades, se comprueba que desde la superficie y hacia el contacto con el sustrato hay un descenso acusado en la proporción de minerales procedentes de los áridos. Los dos morteros más superficiales tienen un contenido algo superior al 50% en peso, mientras que en los dos más profundos su presencia se reduce drásticamente, hasta alcanzar un mínimo del 13%.

Tabla 1: Contenidos mineralógicos (en % en peso) de las muestras analizadas. Los minerales se han agrupado en tres categorías, según correspondan a la fracción de árido, a los productos de hidratación o a las sales formadas.

Fase Mineral		Mortero compacto (prof.5 cm)	Mortero 1 (prof. 10 cm)	Mortero 2 (prof. 13 cm)	Mortero 3 (prof. 16 cm)
ÁRIDOS	Calcita	24,96	16,88	7,31	2,75
	Calcita Mg	2,86	2,56	0,54	1,10
	Cuarzo	16,02	29,21	10,03	3,18
	Vaterita	7,10	3,81	3,05	1,30
	Magnesita	0,22	-	-	4,67
HIDRATOS	Portlandita	7,73	3,15	1,21	-
	C <sub>3</sub> S	0,44	0,47	0,04	1,18
	C <sub>6</sub> S <sub>3</sub> H	6,87	5,77	1,88	1,84
	C <sub>3</sub> S <sub>3</sub> H	8,49	6,14	6,35	5,87
	C <sub>2</sub> AS	1,27	1,16	0,68	-
	Mullita	0,73	0,81	3,39	4,57
SALES	Arcanita	3,91	3,65	2,11	-
	Tobermorita	2,46	1,74	2,15	-
	Taumasita	0,34	1,41	2,01	2,34
	Ca-Langbeinita	0,78	0,90	1,11	-
	Langbeinita	-	1,28	-	3,88
	Singenita	4,39	3,27	-	-
	Bassanita	8,97	16,05	54,62	64,17
	Etringita	-	-	0,56	-
Akermanita	-	-	-	3,15	

Por su parte, el contenido total en minerales procedentes de la hidratación del cemento disminuye ligeramente, desde casi un 18% en el mortero más superficial hasta un 12-13% en los dos morteros situados a mayor profundidad. Finalmente, en el caso de los minerales salinos, cuya presencia normal no debería superar el porcentaje asociado al yeso (o su equivalente deshidratado, la bassanita) usado como retardante del fraguado, cuyo valor máximo es del 3%, se observan unos valores muy superiores a dicho umbral en todas las muestras, incrementándose su porcentaje en profundidad hasta un máximo del 73%. Dentro de este último grupo de minerales salinos, destaca la presencia de taumasita en todas las muestras analizadas, con unos contenidos totales bajos pero crecientes en profundidad. También se ha detectado la presencia de ettringita, pero sólo en una de las muestras y en una proporción muy reducida.

De la observación de los resultados obtenidos se concluye que los morteros existentes bajo la solera de la capilla presentan una pauta de variación mineralógica en profundidad, consistente en una disminución cuantitativamente importante del porcentaje de árido, un aumento llamativo en la proporción de sales, así como una reducción progresiva aunque de menor magnitud en las fases minerales formadas en el fraguado y endurecimiento del cemento.

Tabla 2: Contenidos totales (en % en peso) de los grupos de minerales identificados.

Grupo Mineral	Mortero compacto (prof.5 cm)	Mortero 1 (prof. 10 cm)	Mortero 2 (prof. 13 cm)	Mortero 3 (prof. 16 cm)
Áridos	51,16	52,46	20,93	13,0
Hidratos cementantes	17,8	15,16	12,34	13,46
Sales	20,85	28,3	62,56	73,54

#### 4. DISCUSIÓN

La presencia de taumasita en los análisis aquí realizados viene a confirmar la hipótesis de partida, según la cual el abombamiento de la solera de la capilla, manifestado después de la intervención estructural en la iglesia (y que no se había observado previamente a dicha actuación), debía tener su origen en algún tipo de reacción con formación de sulfatos expansivos. El uso de cemento sulfato resistente en la obra de recalce conducía el razonamiento hacia la posible formación de taumasita, mineral que puede aparecer afectando incluso a formulaciones de cementos de este tipo.

La taumasita es un mineral sulfatado responsable de importantes procesos de degradación de hormigones y morteros, principalmente cuando estos materiales constructivos se encuentran enterrados o en contacto directo con el sustrato y sometidos a condiciones frías (con temperaturas por debajo de 15 °C), muy húmedas y con presencia en el medio de iones carbonato y sulfato [2]. Las reacciones de los sulfatos y carbonatos con la pasta hidratada del mortero dan lugar a la formación de la taumasita, una sal compleja cuya fórmula estequiométrica es  $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 15\text{H}_2\text{O}$  [3] [4], caracterizada por presentar los átomos de silicio en coordinación octaédrica. La precipitación de este mineral salino en morteros y hormigones produce daños irreparables, bien por su carácter expansivo o bien por desintegración del gel C-S-H a velocidad lenta [5], o bien por ambas acciones combinadas.

La disponibilidad de iones carbonato para la manifestación de este proceso es bastante común, ya que muchos hormigones emplean áridos (gruesos o finos, o ambos) con un contenido apreciable en minerales con esta composición. Además, si la obra se localiza en una zona con presencia de carbonatos en el subsuelo, aspecto éste muy común al tratarse de uno de los minerales sedimentarios más abundantes, la fuente de ion carbonato estará garantizada si hay una circulación de agua subsuperficial apreciable. Y finalmente, por si esto fuera poco, la generalización del uso de filler calizo también supone un factor adicional de riesgo, importante para este proceso [6].

En general, la disponibilidad de iones sulfato en proporción significativa está relacionada con sustratos ricos en yeso, mineral salino muy soluble, por lo que en las zonas en las que está presente en el sustrato se incorpora muy fácilmente por disolución a las aguas subterráneas circulantes. En el caso concreto estudiado, la presencia de abundante yeso en el subsuelo de Calatayud es ampliamente conocida, lo que condiciona la generalización del uso de formulaciones sulfato resistentes para prácticamente todas las obras que se realizan en esta ciudad, sobre todo las ubicadas en el casco histórico.

En teoría, una vez se dan las condiciones favorables para su formación, la taumasita reemplaza gradualmente a la matriz de la pasta de cemento del hormigón, consumiendo portlandita y otros hidratos, llegando a provocar incluso la desintegración del hormigón

[7]. En este caso concreto, y a la vista de los resultados obtenidos y que se recogen en las Tablas 1 y 2, se puede afirmar que bajo la solera de la capilla estudiada se está produciendo un deterioro por ataque sulfatado con formación de taumasita, cuya intensidad aumenta al profundizar en el terreno. Dicho de otra manera, el proceso de reacción progresa de abajo hacia arriba, y es plenamente compatible con la distribución en los porcentajes de árido, hidratos y sales (especialmente taumasita) obtenidas mediante el análisis mineralógico. La distribución de grupos de minerales en profundidad parecen indicar que el proceso no está concluido, por lo que se prevé que la deformación siga amplificándose todavía durante un periodo de tiempo impredecible, si no se toman las medidas oportunas.

Tal y como se ha discutido anteriormente, en este caso concreto se dan todos los condicionantes para la formación de taumasita: elevada humedad en el subsuelo, bajas temperaturas, presencia de iones sulfato y carbonato y, finalmente, disponibilidad de fases silicatadas procedentes de la actuación de restauración. Todo ello, a pesar de que se empleó cemento sulfato resistente, que es efectivo frente al ataque sulfatado por etringita pero que, como se ha comprobado aquí, no sirve para evitar la formación de taumasita, con las subsiguientes patologías constructivas.

De lo discutido hasta ahora cabe abordar la cuestión desde dos puntos de vista. Por un lado está la posible actuación en un caso como el aquí estudiado, una vez identificado que el origen de las patologías reside en la formación de taumasita. La mejor solución pasaría por retirar todos los restos de mortero u hormigón presentes en el subsuelo de la solera, que en este caso particular es abordable al constituir un volumen no muy elevado, y sustituirlo por un mortero tradicional de yeso y cal. Esta solución evitaría que las patologías siguiesen evolucionando y que fuesen necesarias actuaciones periódicas adicionales, pero, por el contrario, supondrían un aporte de sales al subsuelo que, en las condiciones de humedad elevada que ya provocaron la formación de taumasita, favorecerían la generación de eflorescencias salinas en la solera y en los paramentos. Por tanto, esta solución necesitaría combinarse con otra tendente a evitar los ascensos capilares para garantizar la efectividad de la reparación.

Por otro lado está el conocimiento de las condiciones en las que es esperable que una patología de este tipo se pueda manifestar con el motivo de una restauración en su fase de proyecto. Dado que el material aglomerante por excelencia en las últimas décadas es el cemento portland, cuando se va a emplear en restauración monumental es necesario evaluar la posible incidencia de los factores que provocan el ataque sulfatado por taumasita, es decir, las condiciones de elevada humedad, baja temperatura y alta disponibilidad de iones carbonato y sulfato. Para ello sería necesario un adecuado conocimiento de las características del subsuelo (composición mineralógica, determinación de los niveles de humedad y/o freáticos, y composición química de las aguas subterráneas), y de las correspondientes a los materiales constructivos, tanto los preexistentes como los que se van a emplear en la restauración, principalmente la composición de los áridos y del filler, evitando el uso en estas fracciones de materiales de mineralogía carbonatada.

Este trabajo forma parte de una línea de investigación que, partiendo de la identificación de las patologías ocasionadas por la formación de taumasita con posterioridad a una intervención estructural en monumentos, pretende simular en laboratorio las condiciones necesarias para su génesis y así, en una última fase, abordar las posibles soluciones para evitar este tipo de reacciones adversas. Estas posibles soluciones podrán venir bien del estudio de materiales, principalmente investigando qué tipo de adiciones a hormigones y morteros pueden ser capaces de neutralizar esta reacción, bien en la línea de recomendaciones

de ejecución encaminadas al uso de materiales cementantes tradicionales combinadas con métodos de reducción o eliminación de humedades en sustratos y paramentos.

## 5. CONCLUSIONES

Con el análisis realizado se puede concluir que para la utilización de hormigones en recalces de edificios históricos, no es suficiente utilizar cementos sulfato resistentes, sino que hay que tener en cuenta que será necesario evitar el uso de fracciones minerales carbonatadas como árido grueso, fino o filler, en la elaboración de los hormigones y morteros, siendo imperativo el uso exclusivo fracciones de mineralogía silicatada en sus dosificaciones.

Dado que las condiciones de elevada humedad son imprescindibles para que se produzcan estas reacciones, será siempre necesario el saneado de humedades o el rebaje de niveles freáticos con carácter previo a la ejecución de los recalces, garantizando un mantenimiento permanente de las condiciones de sequedad en las zonas susceptibles de dar lugar a la reacción que conduce a la formación de taumasita.

Finalmente y con una perspectiva más general, es preciso comentar que todavía se dan procesos patológicos en materiales tan utilizados, pero relativamente nuevos, como son los hormigones y morteros basados en cementos portland cuando se aplican a restauración monumental. Esto nos debería hacer reflexionar sobre la realización de actuaciones no reversibles en edificios que, en el caso de recalces y con las técnicas actuales, sólo nos permiten realizar actuaciones paliativas que en la medida de lo posible frenen estos procesos patológicos.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento a la empresa CEMEX, y en particular al personal del laboratorio de análisis de su planta de Morata de Jalón, por la realización e interpretación de los análisis mineralógicos por difracción de rayos X.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] VV.AA. (2008). *EHE-08. Instrucción de Hormigón Estructural*. Ministerio de Fomento. Gobierno de España. 724 págs.
- [2] Torres, S.M., Kirk, C.A., Lynsdale, C.J., Swamy, R.N. & Sharp, J.H. (2004). Thaumasite-ettringite solid solutions in degraded mortars. *Cement and Concrete Research*, 34, 1297-1305.
- [3] Crammond, N. (2003). The thaumasite form of sulfate attack in the UK. *Cement and Concrete Composites*, 25 (8), 809-818.
- [4] Irassar, E.F., Bonavetti, V.L., Trezza, M. & González, M. (2005). Thaumasite formation in limestone filler cements exposed to sodium sulphate solution at 20 °C. *Cement and Concrete Composites*, 27 (1), 77-84.
- [5] Izquierdo, S., Díaz, J., Mejía de Gutiérrez, R. y Torres, J. (2016). Durabilidad de morteros adicionados con FCC expuestos a sulfato de magnesio y sulfato de sodio. *Revista Ingeniería de Construcción*, 31 (3), 183-190.
- [6] Tsvivilis, S., Chaniotakis, E., Kakali, G. & Batis, G. (2002). An analysis of the properties of Portland limestone cements and concrete. *Cement and Concrete Composites*, 24 (3-4), 371-378.
- [7] Thaumasite form of sulfate attack on concrete (TSA). MPA Cement Fact Sheet 2. Accedido el 31 de enero de 2018, desde <http://cement.mineralproducts.org/documents/>

## INTERVENCIÓN EN PATRIMONIO NO PROTEGIDO. CONOCER PARA CONSERVAR

RODRÍGUEZ MARTÍN, JOSÉ ANTONIO

*JARM Arquitectura, Cartagena, España*

*E-mail: [jarm.at@gmail.com](mailto:jarm.at@gmail.com), Web: <http://jarm-arquitectura.com/>*

**PALABRAS CLAVE:** patrimonio, conservación, intervención, Cartagena, desprotección.

### RESUMEN

La crisis que ha sufrido el sector de la construcción en la última década ha derivado en un aumento de obras donde se interviene en edificios existentes. Cuando nos enfrentamos a un edificio protegido, están claros los criterios y el nivel de conservación que debemos aplicar, pero ¿qué pasa con los edificios o partes de él que no están protegidos? Muchísimos de ellos se encuentran en centros históricos y contienen valores patrimoniales que se están perdiendo por el hecho de no estar protegidos. La labor de los técnicos en estos casos es fundamental para poder asesorar y conservar aquellos elementos de interés del edificio y favorecer su conservación frente a la sustitución.

Tras años de investigación sobre los materiales, artesanos e industriales que participaron en los edificios del casco histórico de Cartagena, se pretende desarrollar esta comunicación dando a conocer los principales valores de los elementos que nos solemos encontrar en los edificios históricos y que, en muchos casos, desconocemos su valor real. Rejerías, carpinterías, papel pintado, artesonados, pavimentos, vidrios, azulejerías y un largo etc. acaban en el contenedor de obra por no estar protegidos y, sobre todo, por desconocer que tenían algún valor. El estudio, localizado en Cartagena y su comarca, y centrado en los edificios más numerosos que se conservan: siglo XIX y principios del XX; es exportable a cualquier

intervención a realizar en cualquier punto de España. Es nuestra labor como técnicos conocer los valores de los elementos en que intervenimos para poder mantener ese legado a las generaciones futuras.

## 1. INTRODUCCIÓN

La intervención en cualquier edificio de cierta antigüedad necesita de un estudio previo de los valores patrimoniales que puede presentar. En muchos casos, los edificios llevan casi intactos desde que se construyeron y, los técnicos, deberíamos ser capaces de identificar estos valores. El desconocimiento de la tipología constructiva, la falta de información en relación a la historia del edificio, o la falta de diligencia por parte de los intervinientes hacen que cada día, parte de nuestro patrimonio desaparezca para siempre.

Habitualmente sólo son objeto de aprecio aquellos edificios que, previamente, han sido declarados como bienes protegidos, ya sea en grado integral o parcial. Alguien se preocupó de protegerlos por determinados valores patrimoniales y, habitualmente, nadie piensa más allá de lo que la ley te permite para los casos concretos. Como técnicos, deberíamos llegar más allá y saber valorar, primero, las partes que han sido protegidas, y porqué, pero, más importante, debemos tener capacidad de valorar aquellas partes originales que, por algún motivo, no han sido protegidas. La identificación de los valores patrimoniales de los elementos de los edificios donde se interviene hará que, por un lado no se pierda irremediablemente nuestro patrimonio, sino que muy probablemente será un bien mejor valorado en el futuro, ese futuro que debemos dejar como legado. Este legado nos ha llegado a nosotros en unas condiciones y debemos tener la prudencia y, a la vez, la valentía de saber decidir si lo mantenemos o no.

No se pretende con esta comunicación establecer axiomas sobre el criterio que hay que seguir en cada caso. Ya se sabe que cada edificio es un mundo, y los valores patrimoniales son muy difíciles de identificar si uno no está lo suficientemente formado o informado. Con el título de técnico, ya sea arquitecto o arquitecto técnico, no nos viene una varita mágica que nos de el don de la sabiduría. Debemos saber buscar la ayuda o la colaboración necesaria que nos de las pistas para poder identificar esos valores que puede que no sepamos encontrar. Se trata de reflexionar sobre algo tan habitual como, por ejemplo, la decisión de eliminar un alicatado, una carpintería o un pavimento de un edificio de 100 años. Habrá que identificar si el alicatado es original y, si además, es de alguna fábrica importante o un modelo exclusivo. Puede que el pavimento sea de cerámica Nolla, y lo confundamos con un pavimento moderno, o que no le demos el valor que realmente tiene.

El presente de la arquitectura pasa por ser capaces de trabajar con equipos multidisciplinarios donde la colaboración entre distintos profesionales se hace primordial en cualquier proyecto, pero, sobre todo, en intervención en edificios con cierta antigüedad. Así mismo, la administración pública, aunque esto es mucho más complicado de conseguir, debería ser más diligente a la hora de la concesión de licencias de obras en determinados tipos de edificios. Así, lejos de tener que proteger todo lo que sea “antiguo” se debería crear un sistema de control de obras, en las que sea el solicitante el que justifica, mediante fotografías y planos detallados los elementos originales que tiene su vivienda y la propuesta de obras que se realiza. Esto evita una protección desmesurada de cascos históricos y, a la vez, permite descubrir aquellos elementos patrimoniales que, por pertenecer al ámbito privado, puede que nunca hayan sido valorados.

## 2. METODOLOGÍA Y ÁMBITO DEL ESTUDIO

El estudio realizado es la consecuencia de varios años de investigación sobre artesanos e industriales que participaron en la arquitectura de Cartagena entre los años 1870 y 1940, fechas que delimitan una época en la ciudad que ha configurado gran parte del casco histórico de la misma. Aunque el ámbito geográfico estudiado profundamente está centrado en el municipio de Cartagena, se han estudiado municipios limítrofes y se ha hecho un barrido con lo construido en ciudades que tuvieron un desarrollo importante en esta época, de forma que sirva de comparativa y de análisis de conclusiones. Dentro de la metodología utilizada, se ha visitado archivos históricos de Cartagena, Murcia, Madrid o Esplugues de Llobregat, y se ha visitado más de 100 edificios históricos que contienen elementos originales, identificando materiales, técnicas constructivas e industriales que pudieron participar.

## 3. LOS VALORES PATRIMONIALES

Según la Ley 16/1985, de 25 de junio, del Patrimonio Histórico Español:

“Art.1.2 Integran el Patrimonio Histórico Español los inmuebles y objetos muebles de interés artístico, histórico, paleontológico, arqueológico, etnográfico, científico o técnico. También forman parte del mismo el patrimonio documental y bibliográfico, los yacimientos y zonas arqueológicas, así como los sitios naturales, jardines y parques, que tengan valor artístico, histórico y antropológico. Asimismo, forman parte del Patrimonio Histórico Español los bienes que integren el Patrimonio Cultural Inmaterial, de conformidad con lo que establezca su legislación especial”.

Y añade:

“Art. 1.3. Los bienes más relevantes del Patrimonio Histórico Español deberán ser inventariados o declarados de interés cultural en los términos previstos en esta Ley”.

Por tanto, el patrimonio es todo aquel objeto que tenga interés (valores) artísticos, históricos, paleontológicos, etc. y que solo los más relevantes deberán ser inventariados o declarados de interés cultural. Queda claro en la propia ley de Patrimonio que no todo el patrimonio debe ser protegido. Esto quiere decir que existe patrimonio sin proteger que debemos ser capaces de identificar y de actuar en él con la profesionalidad que merece.

El patrimonio arquitectónico debe considerarse en su conjunto, desde la composición general del edificio, hasta bajar a los elementos constructivos. Es evidente que los edificios son piezas vivas, y deben, necesariamente, adaptarse a las necesidades de la época o usos para los que sirve. Debemos ser capaces de adaptar el edificio sin perder los valores patrimoniales que contiene. El alma del edificio se presenta tanto en su interior como en su exterior. El no entender esto ha llevado al recurso del “fachadismo” [1], como una falsa protección del patrimonio, perdiendo buena parte de los valores que se encontraban en el interior y que eran parte del alma del mismo. El edificio también forma parte de un entorno urbano, su alma no funciona como elemento aislado, sino que es una parte del conjunto. Por tanto, el patrimonio es también la imagen del conjunto. La protección de elementos aislados lleva de nuevo a la confusión de que el resto es eliminable, provocando que el bien protegido no tenga razón de ser por estar descontextualizado. Pero el aspecto urbano no es objeto de esta comunicación, que pretende centrarse en el aspecto más cercano, el del constructivo.

En arquitectura suele ser habitual reducir los valores patrimoniales a los artísticos, obviando aquellos valores históricos, etnográficos o técnicos. En estos encontramos valores

que suelen ser despreciados. Un edificio es el resultado de la suma de técnicas constructivas, aplicación de materiales y de una industria complementaria. Hay que considerar los valores intrínsecos del arte y de la industria que atesora el edificio. Si nos acercamos al edificio, el artista o artesano dejó la técnica plasmada en la ejecución de su obra y el industrial dejó su “tecnología” en las piezas fabricadas para el edificio. La sustitución de estos elementos por otros nuevos supone la pérdida total de ese valor patrimonial que es la “técnica” constructiva e industrial. Incluso en el caso de recolocaciones estamos ante una pérdida patrimonial. Así, una simple reja metálica, que a priori podría tener poco o nulo valor artístico, dispone de unos valores que son un legado para el futuro: la técnica de la forja utilizada, la unión de elementos mediante roblonado u otras técnicas artesanas, la habilidad del herrero para realizar geometrías casi perfectas, y un largo etc. La sustitución por una nueva reja puede dar resultado estéticamente, incluso habrá quien le parecerá más bonita por una falsa sensación de “nuevo”, sin embargo, carece de los valores patrimoniales de la original que se pierden para siempre.

Por tanto, podemos diferenciar dos aspectos fundamentales que suelen obviarse en intervenciones en edificios: los valores industriales, y los valores artesanos.

#### 4. VALORES INDUSTRIALES

Considero valores industriales aquellos que dan valor a piezas fabricadas bajo una tecnología o condiciones que pueden marcar una época. Así, la introducción de la prensa en las cerámicas permitió la realización de ladrillos prensados o de tejas cerámicas planas de forma industrial [2]. La evolución de los diferentes tipos de hornos permitió la realización de azulejos cada vez más sofisticados y en cantidades mucho mayores. Los condicionantes en cada época marcaron unos acabados, una textura, tamaño o formas que añaden distintos valores patrimoniales a esas piezas. Puede tratarse de piezas que hoy día se fabrican de forma muy distinta o que, simplemente, ya no se fabriquen.

El valor industrial de una pieza, en muchos casos está vinculado a otros valores artesanos. Así, el valor de una pieza de cerámica de Nolla, está vinculada al valor artesano de la técnica de colocación. El valor de una pieza de piedra artificial realizada en serie, lleva vinculado el valor artesano o artístico de la realización de la pieza de madera (o escayola) que sirve de modelo, la de la realización del molde y la de la técnica constructiva de su colocación en obra. Vamos a definir en este apartado los valores exclusivamente industriales y dejamos para el siguiente apartado los relativos a los artesanos. Debido a que los elementos industriales que podemos encontrar en el ámbito de estudio pueden ser numerosos, se presentan aquellos que son más característicos en estos edificios. Los mostrados no pretenden ser una lista exhaustiva, sino sólo orientativa y elegidos por su constancia en los edificios encontrados.

##### 4.1 Pavimentos

Son el elemento que suele conservarse con más frecuencia. Es importante la distinción de los tipos más habituales para saber distinguirlos y poder actuar en consecuencia sobre ellos [3].

**Baldosas de barro cocido:** La mayoría de estas piezas se solían hacer en cerámicas locales, por lo que si son prensadas pueden tener la marca de la fábrica. Solían ser los pavi-

mentos más habituales de los edificios más antiguos del siglo XIX relegando poco a poco su uso a espacios secundarios, como almacenes, cocinas o patios.

**Baldosa hidráulica:** Es el pavimento por excelencia de esta época. Tuvo un sobresaliente éxito debido a su espectacular acabado a un precio más que asequible. La facilidad de fabricación radicaba principalmente en la inexistencia de un horno que tuviera que cocer las piezas, como pasaba con las piezas cerámicas. El proceso consistía en la realización de un molde, generalmente cuadrado de 20x20, donde se introducía otro molde denominado “tropa” que disponía del diseño realizado con chapa de latón o bronce. En los huecos de las chapas se introducía cemento coloreado dependiendo del diseño. Posteriormente se eliminaba la tropa y se ponían el resto de capas de cemento de la losa. El paso final era la introducción en una prensa que compactaba todas las capas. Después se pasaban al almacén a esperar los días recomendados para el fortalecimiento (curado) del cemento. El gran problema de la baldosa hidráulica es, que al ser realizada con cemento, le afectan los ácidos que atacan al mismo, por ejemplo el Sulfuric, que es muy habitual entre los productos de limpieza.

**Mosaico de gres:** El Mosaico de gres fue uno de los productos de más calidad que se pudieron fabricar durante más de un siglo. De origen inglés, Miguel Nolla montó su propia fábrica a mediados del siglo XIX en Meliana (Valencia) y consiguió una calidad casi insuperable. Posteriormente aparecieron otras fábricas, como La Alcludiana [4], pero que no tuvieron el éxito de Nolla, el cual obtuvo numerosos premios nacionales e internacionales por la calidad del producto. Se trata de un magnífico pavimento compuesto por pequeñas piezas de cerámica monocolor que van formando dibujos en forma de mosaicos. La calidad del producto venía dada por los materiales utilizados en la fabricación y la cocción a altas temperaturas que le conferían una calidad similar al actual gres porcelánico, pero comenzado a fabricar hace más de 150 años.

**Cerámica incrustada:** Se trata de una baldosa cerámica de poco espesor, de gran durabilidad y que es intermedia entre las dos anteriores. Al ser de un tamaño aproximado de 13x13 cm no tiene la dificultad de colocación del mosaico Nolla y al ser realizada en cerámica la durabilidad ante ataques de ácidos es muy superior a la del pavimento hidráulico que, al ser cemento, es muy susceptible de estropearse con determinados productos químicos. Como en el anterior, se necesitaban instalaciones con hornos capaces de cocer la cerámica a altas temperaturas, por lo que la tecnología ya no era algo tan sencillo y de hecho en España el industrial más conocido era la casa Romeu Escofet, de Barcelona, siguiéndole de cerca la casa Llevat.



Figura 1: Diversos tipos de pavimento: 1. Pavimento de Mosaico Nolla, 2. Teselas de Mosaico Nolla, 3 y 4. Baldosas hidráulicas en su envés y revés. 5 y 6. Baldosas de cerámica incrustada en su envés y revés. (Fotografías del autor).

## 4.2 Azulejería

Los azulejos han sido siempre los menos apreciados en las viviendas históricas. En las reformas o modernizaciones son los primeros en desaparecer. Quizás la estética es uno de los factores que ha jugado tradicionalmente en su contra. El carácter industrial de este producto va en aumento conforme avanzamos en los años. La producción en el siglo XIX tenía un componente artesanal muy importante, donde cada azulejo era tratado casi de forma individual. De hecho, la mayor parte de la producción eran encargos de paños de azulejos decorativos para salones, pavimentos, arrimaderos o fachadas decoradas. La llegada del azulejo de serie permitió la producción en grandes cantidades con modelos que se repetían continuamente [5]. Las técnicas usadas para la fabricación de azulejos variaban según la zona de fabricación. Así, entre las más habituales de las técnicas tradicionales tenemos: azulejo pintado con trepa, pintado con estarcido, mediante cuerda seca, de cuenca y arista, entubado (entubat en valenciano), y estampado. Todas ellas, salvo el estampado, son técnicas semi-artesanas, y por tanto aportan un alto valor al producto.

Digno de estudio son los diseños de los motivos de los azulejos que fueron evolucionando desde clásicos e historicistas pasando por modernistas. Las fábricas sevillanas utilizaban habitualmente la técnica de pintura sobre estarcido con diseños clásicos para azulejerías de encargo, y para las seriadas solían utilizar las técnicas heredadas de la época islámica: la Cuerda Seca y la de Cuenca o Arista. Los diseños eran habitualmente arabescos y se utilizaban principalmente en decoraciones neoárabes. Las fábricas que suministraron estos azulejos en la zona de Cartagena fueron principalmente: Pickman (La Cartuja), José Mensaque y la fábrica de Ramos Rejano. En las fábricas valencianas, ubicadas principalmente en Onda (Castellón) y Manises (Valencia), las técnicas para la azulejería en serie que más utilizaban eran las del uso de trepas, incluso la técnica del entubado, que en valenciano se conoce como “entubat”, una técnica de gran precisión y que genera una calidad en el azulejo asombrosa. En este caso son muchísimas las fábricas que trabajaron la zona, pero destacaría las fábricas de Valencia Industrial, La Campana, La Moderna, Virgen de Lidón, El Progreso, Eloy Domínguez, Justo Vilar, Francisco Valldecabres y Onofre Valldecabres [6]. Por último, quedarían las fábricas de la zona catalana donde cabe destacar la fábrica de Pujol i Bausis de Esplugues de Llobregat, que realizaba una azulejería de diseños modernistas de gran fama y que llegaron a utilizar en edificios como el Palau de la Música de Barcelona de Domenech i Montaner o el Parque Güell de Gaudí. Además de los diseños de afamados arquitectos y diseñadores de Barcelona destaca por la realización de magníficos elementos cerámicos en relieve para combinar con los azulejos.

Las fábricas más importantes solían marcar los azulejos por el revés del azulejo, aunque no en todos los azulejos y no en todos los modelos. Los diseños, salvo los exclusivos, solían copiarse de unas a otras fábricas, por lo que no es fácil, a veces, identificar al fabricante. En todo caso, la técnica utilizada, el tamaño y grosor de azulejo, el diseño y otras características del mismo nos hace identificar la época en que pudo ser fabricado y más o menos la procedencia. Esto nos dará juicio de valor a la hora de actuar en consecuencia cuando nos enfrentemos a ellos. Es habitual ver cómo desmontan azulejos del siglo XIX confundidos como modernos.

### 4.3 Elementos de fundición, acero y derivados

Los elementos de fundición los podemos encontrar en multitud de elementos distintos dentro de los edificios históricos. Suelen ser elementos que se mantienen si están colocados en fachada, pero no tienen la misma suerte en los interiores, que si se mantienen es porque siguen teniendo la misma utilidad que inicialmente. Los elementos más habituales de fundición suelen ser decorativos: balaustres, arranques de escalera, soportes de iluminación, mobiliario o esculturas; o pueden ser elementos constructivos o estructurales: soportes o pilares, ménsulas, escaleras, etc. La mayoría de elementos de fundición suelen ser locales, por lo que suelen ser piezas muy especiales o incluso únicas, lo que las hace muy interesantes y puede dar fe de la capacidad industrial del entorno.

En el caso del acero, y debido al avance de esta industria en los años finales del siglo XIX y principios del XX encontramos en los distintos elementos metálicos un reflejo de este progreso tecnológico. Se suelen presentar en los edificios como parte de la estructura, en dinteles o, muy raramente, como elementos decorativos. Interesante es la técnica de unión de perfiles mediante roblones y chapas de unión.

En cuanto a elementos decorativos, incluso en algún caso constructivo, surgieron fábricas de piezas de latón, chapa de acero, bronce o cinc que realizaban canalones, elementos decorativos de fachadas, motivos florales de chapa estampada, persianas metálicas, celosías, así como todo tipo de herrajes. La falta de mantenimiento y de nuevo la idea de que es mejor sustituir que reparar-restaurar, ha llevado a que estos elementos hayan ido desapareciendo de los edificios y de nuevo debemos ser capaces de identificarlos para evitar perder el valor histórico industrial que contienen.

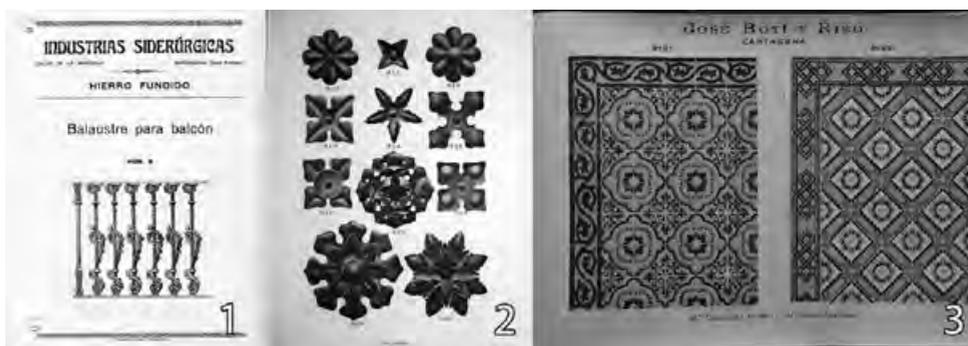


Figura 2: Diversos catálogos de industriales: 1. Catálogo de balaustres de hierro fundido, de la casa Industrias Siderúrgicas, de Barcelona (catálogo del autor),  
 2. Catálogo de piezas de hierro estampado, de la casa Ballarín y C<sup>a</sup> de Barcelona (catálogo del autor),  
 3. Catálogo de pavimentos hidráulicos de la casa José Botí y Rizo, de Cartagena (catálogo propiedad de Joaquín Botí Martínez)

#### 4.4 Piedra artificial y artesonados de staff

La utilización de moldes para realizar elementos decorativos en serie supuso un cambio radical en los precios de ejecución final en la decoración de interiores y de fachadas. Los sillares labrados en piedra para conformar elementos decorados como jambas, dinteles, guardapolvos, ménsulas, metopas o cornisas, pasaron a realizarse en piedra artificial en serie. De esta manera la resolución de una fachada de elementos repetitivos se simplificaba muchísimo. El valor principal de estos elementos radica en el salto tecnológico que supuso para la época y cómo familias con menos medios económicos llegaron a adecuar sus viviendas [7]. La piedra artificial no se quedó en elementos decorativos, sino que sirvió para todo tipo de elementos constructivos, como peldaños de escaleras, losas de balcones, aplacados, etc.

En los interiores destacan los elementos decorativos realizados en una mezcla de yeso con cartón y malla de hilo, denominado staff, que se colocaban en techos y paredes imitando los antiguos artesonados realizados a mano. De nuevo nos encontramos aquí con fábricas que solían ser locales. Sólo en Cartagena llegaron a haber cinco fábricas de elementos de piedra artificial, que solían compaginarlo con baldosas hidráulicas y piezas decorativas de staff.

### 5. VALORES ARTESANOS Y TÉCNICOS

A diferencia de los valores industriales, que se ven, se aprecian y se pueden llegar a valorar por el hecho de poder tocarlos, el valor artesano, e incluso artístico en algunos casos, es mucho más difícil de apreciar o de valorar. Por valor artesano, técnico, entiendo todos aquellos valores intrínsecos del saber hacer del personal que participó en la realización de las edificaciones. Los encontramos en la técnica constructiva, en la realización de elementos personales específicos, de elementos de forma manual, etc. Si el listado de valores industriales podría ser largo, en este caso, los valores pueden llegar a infinitos, pues los límites son difíciles de marcar. Por desgracia, las técnicas constructivas de la época de este estudio, pese a ser recientes, no suelen ser conocidas por la mayoría de técnicos que trabajamos en las obras de reforma-rehabilitación. Tan sólo tenemos ciertos conocimientos generales que, a la hora de valorar la técnica concreta nos deja sin argumentos. Debido a la cantidad de valores que podemos encontrar, vamos a ceñirnos a los que se suelen perder con bastante asiduidad.

#### 5.1 Colocación de pavimentos

Es la pérdida más habitual de los valores artesanos y técnicos. Cada tipo de pavimento de los comentados en puntos anteriores tiene su técnica de colocación, e incluso, en los modelos con cenefa perimetral se solían colocar de forma que, como una alfombra, quedara perfectamente situada en el centro de la estancia dejando los errores de replanteo o de construcción en una especie de franja lateral que los absorbía. En zonas frías de España, se solían colocar rastreles de madera incrustados en el pavimento que servían para, en invierno, clavar las alfombras que ocupaban toda la estancia. Los morteros utilizados, la dosificación de los mismos, las juntas, el replanteo, todo, solía estar pensado para el uso a que estaba destinado. El levantado del pavimento para volver a recolocarlos suele llevar aparejado la rotura de piezas y nunca, o casi nunca, vuelve a colocarse del mismo tamaño. El resultado suele,

simplemente, parecerse al original, pero pierde, amén de todos los valores constructivos, la esencia de un pavimento alterado y envejecido durante sus más de 100 años de vida, con sus virtudes y defectos. Sólo queda el valor estético del conjunto, a veces ni eso, pero se pierda para siempre la técnica original de colocación y todo lo que lleva aparejado.

En el caso del pavimento de teselas de cerámica, de la fábrica Nolla, nos encontramos con un problema mucho más grave que el anterior. El pavimento de una estancia puede contar con miles de piezas de cerámica, de un tamaño medio de unos 4cm de lado. La colocación era un método sofisticado y eran muy pocos los especializados en su colocación [8]. Los encargados de hacerlo eran mosaiqueros especializados y prácticamente sólo se dedicaban a eso, por ello solían trabajar en amplias zonas geográficas. Para poder entender la complejidad de la colocación, podemos indicar que las piezas solían tener una variación dimensional pequeñísima de una a otra pieza. La colocación entre piezas era a hueso, con una junta del orden de 0,6mm, por lo que no había margen para corregir errores en las juntas. Por ello, la pequeña diferencia dimensional de las piezas, a la hora de formar el complejo dibujo en el suelo, podía derivar en errores de varios centímetros en el extremo del mosaico, algo inadmisibles. El mosaiquero era capaz de, con sólo tocar la pieza, saber si era de un tamaño más grande o más pequeño (era capaz de detectar variaciones de décimas de milímetro). La correcta elección de las distintas piezas en cada sitio era fundamental para que el dibujo no se deformara en la colocación de miles de ellas. Llegado a este punto podemos imaginar que si se desmonta un mosaico sin clasificar las piezas, es imposible volverlas a colocarlas bien, y al final, debido a la falta de mosaiqueros especializados hoy día, el resultado es totalmente desastroso. Animo a fijarnos en este tipo de pavimentos y cómo, el mosaiquero es capaz de resolver determinados encuentros en esquinas, cambios de alineación en paredes u otros detalles que sólo son apreciables acercándose al suelo. En este caso, además de perder la impresionante técnica constructiva, algo ya irrecuperable, perdemos la estética final de este tipo de pavimentos.

## 5.2 Carpinterías y cerrajerías

Quizás es el caso más habitual de sustitución por elementos “nuevos”. En la sustitución de carpinterías de madera suele haber una confusión derivada exclusivamente del valor económico. No se valoran cuestiones como el tipo de madera utilizado o la técnica utilizada en la realización de los elementos y se sustituyen con demasiada alegría, en la mayoría de casos con maderas de mucha peor calidad y, por supuesto, con técnicas muy lejanas a la sabiduría del maestro carpintero. No caemos en que la madera que eliminamos puede estar ahí cien años, y que, si fuésemos capaces de invertir en su recuperación, podría durar otros tantos. Sin embargo, lo habitual es la sustitución por maderas modernas, de mala calidad, y sin el buen curado que tenían las originales, lo que conlleva a que, en un plazo de tres o cinco años está peor que lo estaba la original que había soportado cien.

La cerrajería suele ser un verdadero libro de maestría del herrero, donde la unión de las piezas, el plegado, los martillazos de la forja o la habilidad para adaptarse a cualquier hueco o espacio manteniendo el diseño es de un valor incalculable. Quizás, uno de los trabajos que más llama la atención es la ejecución de la barandilla de la escalera de forma continua en varias plantas de un edificio, manteniendo el ritmo de los diseños y cómo estos se adaptan, se deforman y se curvan milimétricamente a la forma del ojo de la escalera, sin cortes ni aparentemente empalmes, que están perfectamente disimulados.

### **5.3 Otros valores artesanos**

Lo expuestos en puntos anteriores se puede interpolar a todos los sistemas constructivos de los edificios históricos. La falta de espacio no permite el desarrollo de tantos elementos que tienen grandes valores patrimoniales dignos de mención y, por supuesto, de conservación. Cabe destacar los sistemas de forjados, de cubiertas, bóvedas de escalera, falsos techos, estucos, esgrafiados, trencadís, vidrios, y un largo etc.

## **6. CONCLUSIONES**

En esta comunicación se pretende iniciar un proceso de reflexión sobre la intervención de edificios históricos que no tienen protección alguna. Por un lado, los técnicos debemos de ser capaces de identificar los valores históricos de nuestros edificios, sin que ninguna normativa nos tenga que obligar a ello. Por otro lado, la administración pública debe trabajar en la creación de mecanismos y herramientas que permitan a los técnicos, y propietarios, tomar decisiones en la línea de mantener y transmitir el legado heredado de nuestros antepasados.

De la misma manera que nos informamos y nos formamos para realizar la obra nueva con los materiales y técnicas más avanzadas y actuales, a la hora de afrontar la intervención en un edificio histórico debemos formarnos e informarnos de todo lo concerniente a la historia del edificio y ser capaces de tener en cuenta los valores patrimoniales del mismo. En esto, el apoyo de especialistas en determinadas técnicas o materiales históricos se hace fundamental para formar un equipo multidisciplinar.

Los valores industriales y artesanos están ahí esperando a ser estudiados, a ser apreciados y, por supuesto a ser puestos en valor para que se puedan transmitir a futuras generaciones.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS (Y CITAS EN EL TEXTO)

- [1] Pérez Yelo, M., & Rodríguez Martín, J. (2016). *Guía del Patrimonio Arquitectónico de Cartagena*. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena - Fundación Cajamurcia.
- [2] Rodríguez Martín, J. A. (2015). El ladrillo en la arquitectura de la ciudad. Cartagena 1870-1940. *P+C Proyecto y Ciudad. Revista de temas de arquitectura*, 113-128.
- [3] Rodríguez Martín, J. (2016). Los pavimentos en la arquitectura burguesa de finales del siglo XIX y principios del XX. El caso de Cartagena. *Contart 2016. La convención de la edificación* (págs. 245-254). Granada: Universidad de Granada.
- [4] Reig Ferrer, A. M., & Espí Reig, A. (2010). La aplicación del diseño a la industria del mosaico valenciano del siglo XIX: Nolla y Piñón. *Archivo de Arte Valenciano*, 201-216.
- [5] Estall i Poles, V. (2008). El Azulejo, evolución técnica: del taller a la fábrica. *Los grandes cambios técnicos en la industria azulejera española durante el siglo XIX: los inventos y la mecanización*, (pág. 65). Onda.
- [6] Rodríguez Martín, J. A. (2016). La cerámica catalana y valenciana en la arquitectura modernista de Cartagena. Madrid.
- [7] Rodríguez Martín, J. A. (2015). Arte e Industria en la Arquitectura del Campo de Cartagena. *IV Congreso Nacional de Etnografía del Campo de Cartagena. La vivienda y la arquitectura tradicional del Campo de Cartagena* (págs. 220-242). Cartagena: CRAI Biblioteca. Universidad Politécnica de Cartagena.
- [8] Laumain, X., & López Sabater, Á. (2016). Nolla y el Modernismo: un mosaico entre la industria y la artesanía. *Congreso Internacional el Modernismo en el Arco Mediterráneo* (págs. 643-650). Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena - CRAI Biblioteca.

**INTERVENCIONES Y ACTUACIONES PARA CONSERVAR Y MEJORAR EL  
PARQUE EDIFICADO. HERRAMIENTAS Y EJEMPLOS  
DEL TÉCNICO DE CABECERA**

MARROT TICO, JORDI<sup>1</sup>; SEGURA LABANDA, MANUEL<sup>2</sup>

<sup>1</sup> CAATEEB, Barcelona, España

*E-mail: jmarrot@apabcn.cat, Web: [https://www.apabcn.cat/ca\\_es/Pagines/inici.aspx](https://www.apabcn.cat/ca_es/Pagines/inici.aspx)*

<sup>2</sup> CAATEEB, Barcelona, España

*E-mail: msegura@apabcn.cat, Web: [https://www.apabcn.cat/ca\\_es/Pagines/inici.aspx](https://www.apabcn.cat/ca_es/Pagines/inici.aspx)*

**PALABRAS CLAVE:** Técnico de cabecera, mantenimiento, conservación, mejora, intervención.

**RESUMEN**

El desarrollo económico y urbanístico de nuestro país se ha basado en el crecimiento continuo de suelo urbanizable y en la producción masiva de vivienda de nueva construcción. Este desarrollo a menudo ha respondido a motivaciones ajenas al objetivo de satisfacer necesidades sociales de alojamiento y ha condenado al mantenimiento de los edificios existente, a un papel secundario, cuando no marginal. La connivencia de la acción política con este modelo de desarrollo económico, por activa o por pasiva, han facilitado este escenario, y las políticas de suelo y vivienda, más allá de la buena voluntad que se les quiera reconocer, han sido incapaces para subvertir –o ni tan solo moderar- la lógica del mercado, con resultados globalmente imperceptibles o de escasa significación estando centradas en el mejor de los casos en temas de mantenimiento correctivo o rehabilitación.

Las políticas urbanas y de vivienda, inmersas en una lógica de desarrollo económico y de crecimiento “sin límites”, han condicionado la actividad del mantenimiento. Como consecuencia, el peso del mantenimiento de los edificios residenciales es irrisorio y muy inferior al que debería de ser.

En el mejor de los casos, las obligaciones de mantener los edificios residenciales de nuestro país se concretan en la redacción de manuales de uso y mantenimiento que forman parte de un libro del edificio.

Para conseguir implantar todo este sector y programar las inspecciones, operaciones y tareas planificadas en los manuales de uso y mantenimiento es fundamental que los propietarios encarguen la tarea de gestión a un técnico competente, tal y como se recoge en el artículo 8.2 de la Parte 1 del CTE.

Este técnico competente no puede ser otro que el “Técnico de Cabecera”. Este perfil profesional fue generado el año 1995 por el CAATEEB y presentado en la Feria Construmat del año 1997. Este perfil profesional fue ligado al “Test Mantenimiento<sup>1</sup>” que se generó en una campaña ciudadana conocida como “La casa en forma” y 20 años más tarde se ha querido volver a dar un nuevo impulso mediante nuevas iniciativas que se presentan en esta comunicación, esperando que este importante sector pueda, por fin, arrancar en nuestro país.

## 1. INTRODUCCIÓN

El mantenimiento del parque edificado de nuestro país, no se percibe por parte de los propietarios como una parte integrante de la calidad de los edificios y de las prestaciones de confort y de habitabilidad de las viviendas. La falta de incentivos adecuados y suficientes a los propietarios que hacen mantenimiento, y un mercado inmobiliario orientado al beneficio a corto plazo han hecho de la vivienda y del suelo urbano un bien especulativo y una inversión revalorizable independientemente de su estado de conservación. En consecuencia, no se ha considerado el mantenimiento como una inversión de futuro para dar valor a los edificios, para seguir ofreciendo las mejores prestaciones y para preservar su función social.

Esta percepción de los propietarios no se corresponde con las obligaciones legales que desde mediados de siglo pasado se ha establecido en diferentes tipos de legislación española, y donde se establece de forma clara el mandamiento que tenemos los propietarios sobre el deber de mantenimiento y conservación de los inmuebles.

Además, nos encontramos que el gran reto medioambiental del Planeta no puede plantearse sin una propuesta clara para los edificios existentes que debe pasar forzosamente por el mantenimiento adecuado a lo largo de su vida útil y por el mantenimiento corrector mediante la rehabilitación y renovación, cuando sean obsoletos y requieran mejoras. Es por todo ello que el compromiso medioambiental tiene uno de sus pilares fundamentales en el mantenimiento y la conservación de los edificios.

El mantenimiento preventivo permite alargar la vida de los edificios y de esta forma se reduce la producción de residuos y el consumo de materiales naturales o primarios, permite mejorar el comportamiento de los edificios haciéndolos más duraderos y reduciendo la transformación y consumo de nuevo suelo. Por otra parte, el mantenimiento corrector mediante la rehabilitación y la renovación de los edificios existentes permite mejorar las prestaciones y corregir los requerimientos que el paso del tiempo comporta. Al intervenir en el parque edificado existente, tecnológicamente obsoleto y poco eficiente energéticamente, se ofrece una gran oportunidad de mejora de la salud el bienestar de los usuarios, así como de rescate de los gases productores del efecto invernadero, reduciendo las emisiones de CO<sub>2</sub>, el calentamiento del Planeta y colaborando de forma importante en la lucha global contra el cambio climático.

Por todos estos aspectos es importante impulsar el sector del mantenimiento de los edificios residenciales, aprovechando la obligación de encargar a un técnico competente la programación de las operaciones que ya se establece en el artículo 8.2 de la Parte 1 del CTE vigente. En este mismo sentido el Decreto 67/2015, de ámbito autonómico catalán, establece literalmente en su preámbulo, que su principal objetivo es el de fomentar la cultura del mantenimiento de los edificios de viviendas y facilitar el conocimiento del estado en que se encuentran, para que las personas propietarias y, en su caso, las comunidades de propietarios, puedan *programar* las actuaciones y acordar la aportación de los fondos necesarios que hay que adoptar, a corto y medio plazo, para la rehabilitación, la conservación y la adecuación de las viviendas a los requerimientos técnicos que regula la normativa vigente. Por otro lado, el Ayuntamiento de Barcelona estableció, dentro de las medidas de gobierno 2016-2019, una nueva estrategia para la rehabilitación en Barcelona, que presentó el mes de febrero del 2016 y que da un papel relevante a la figura del “Técnico de Cabecera” como agente para la conservación y mantenimiento de los edificios.

Todas estas nuevas estrategias coinciden plenamente con una parte del plan estratégico que des del CAATEEB se quiere promocionar mediante dos grandes líneas de acción:

- La promoción del técnico de cabecera en la *ciudadanía*, mediante nueva web, contenidos, campaña en prensa y acciones directas en ferias y fiestas locales mediante stand con técnicos de cabecera.
- La promoción del técnico de cabecera entre *los arquitectos técnicos*, dotándolo de herramientas para desarrollar su trabajo para ofrecer a los ciudadanos un servicio profesional diferenciado del resto del sector.

## 1. COMUNICACIÓN

La figura del “Técnico de Cabecera” es un perfil profesional creado el año 1995 por el CAATEEB y presentada públicamente en el Construmat del año 1997. Este perfil profesional fue ligado a una campaña ciudadana conocida como “La casa en forma”. A lo largo de estos años ha ido haciendo acciones campañas de concienciación e impulso.



Figura 1: Imagen de la campaña de 1995



Figura 2: Imagen de la campaña de impulso 2009

Habiendo transcurrido 20 años desde su creación y observando que en la sociedad existe la necesidad, cada vez más clara, de que este perfil profesional se ha querido dar un nuevo

impulso, mediante nuevas iniciativas que se presentan en esta comunicación, esperando que este importante sector pueda, por fin, arrancar en nuestro país.

## 2.1 Nueva página web dirigida a los ciudadanos

El primer paso de esta nueva campaña ha sido crear una nueva web dirigida a los ciudadanos, en la que se ha incorporado nuevos contenidos.

El mensaje que se quiere potenciar en esta web es la de un profesional de confianza que organiza y gestiona la **conservación del edificio**, programa las **operaciones de mantenimiento preventivo** para alargar su vida útil, y planifica las **actuaciones de rehabilitación** y mejora que se deban de realizar.

La idea es promocionar el técnico de cabecera, como un “médico” que cuida de la salud del edificio y que también puede **informar, orientar y solucionar** cualquier tema relacionado con el mantenimiento y la rehabilitación de edificios de viviendas.



Figura 3: Imagen de la nueva web dirigida a los ciudadanos [www.tecnicdecapcalera.cat](http://www.tecnicdecapcalera.cat).

Esta página web incorpora una zona privada con acceso restringido a los colegiados, donde se agrupa todos aquellos contenidos que el CAATEEB puede ofrecer a los “técnicos de cabecera” colegiados.

## 2.2 Campaña con la ciudadanía

Para conseguir difundir el rol del técnico de cabecera entre la ciudadanía se hacen campañas radiofónicas y artículos en los principales periódicos, y se ha creado un grupo de arquitectos técnicos colegiados que participan en diferentes acciones que se organizan en ferias y fiestas locales para aproximar la figura del técnico de cabecera y el mantenimiento entre la ciudadanía. Las acciones se concretan en la participación en un stand en el que los arquitectos técnicos pueden entrar en contacto con los ciudadanos para ofrecer sus servicios y difundir la figura. Esta iniciativa se acompaña de un taller “Con la casa sí que se juega” para difundir conocimiento sobre como ahorrar energía y buenos hábitos en la vivienda.

**Una normativa urbana desoconegada**

# Edificis més segurs: cosa de tots

**Fa falta que ens conscienciem que una vivenda no es manté sola, cal invertir-hi**

**JOSEP GONZÁLEZ**

Després d'entregar el informe d'obligació de passar de dues a quatre habitacions (4+4) a les vivendes de més de 100 m<sup>2</sup> de superfície construïda, el sector immobiliari i el sector de l'edificació han de treballar junts per aconseguir un canvi de paradigma que permeti garantir la seguretat i la sostenibilitat dels edificis existents i dels nous que es construïen.

La normativa actual no garanteix la seguretat dels edificis existents i dels nous que es construïen. És necessari un canvi de paradigma que permeti garantir la seguretat i la sostenibilitat dels edificis existents i dels nous que es construïen.

**EL PRINCIPAL** objectiu del sector és aconseguir un canvi de paradigma que permeti garantir la seguretat i la sostenibilitat dels edificis existents i dels nous que es construïen.

La normativa actual no garanteix la seguretat dels edificis existents i dels nous que es construïen. És necessari un canvi de paradigma que permeti garantir la seguretat i la sostenibilitat dels edificis existents i dels nous que es construïen.

Figura 4: Artículo del presidente del CAATEEB en “El Periodico”.



Figura 5: Estand del técnico de cabecera en la Fiesta mayor del distrito de “Nou Barris” Barcelona.



Figura 6: Estand del taller “la casa si que se juega” en la Feria de la Candelera de Molins de Rei.

Para formar parte del grupo de técnicos de cabecera se exige:

- ser arquitecto técnico colegiado en el CAATEEB, sin inhabilitación para ejercer y que esté constituido como empresa, trabajador autónomo o profesional liberal
- tener una experiencia demostrada de 3 años realizando trabajos en el ámbito de la rehabilitación y / o mantenimiento de edificios.

### 2.3 Nuevas herramientas para los técnicos de cabecera

Para poder realizar la programación de las operaciones preventivas y las actuaciones de rehabilitación y mejora que se han de llevar a cabo en el mantenimiento de los edificios residenciales, se ha desarrollado un sistema informático que pretende facilitar esta tarea y el trabajo de los técnicos competentes que las tienen que llevar a cabo.

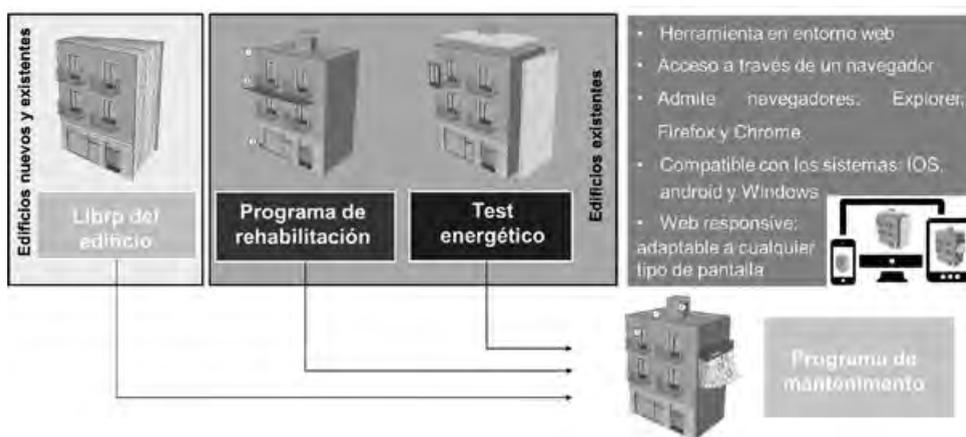


Figura 7: Herramientas informáticas desarrolladas por el CAATEEB.

#### 2.3.1 Programa de mantenimiento electrónico (PME)

El programa de mantenimiento es un programa informático que programa las operaciones de mantenimiento preventivo, las actuaciones de rehabilitación (conservación) y las de renovación (mejora) del mantenimiento correctivo, mediante la organización de un proceso en el que se enumeran las intervenciones en lo que se aplican los costes de forma calendarizada en el tiempo, que se acompaña de un documento de planificación financiera mediante una gestión de los flujos de tesorería de las inversiones y gastos.

##### Objetivos del Programa de Mantenimiento electrónico (PME)

El programa de mantenimiento electrónico (PME) busca dotar a los técnicos competentes de un sistema ágil para organizar y gestionar el mantenimiento de los edificios, facilitando esta tarea al técnico de cabecera para realizar las tareas de gestión del mantenimiento de los edificios básicamente residenciales de forma similar a lo que hace el “facility Manager” en los edificios terciarios.

### **Características técnicas del Programa de Mantenimiento electrónico**

Las principales características del programa mantenimiento electrónico, en formato web son:

- Utilizable desde cualquier dispositivo con conexión a internet como PC, tablet, Iphone.
- Compatible con todos los sistemas operativos existentes actualmente en el mercado como IOS, Android, Windows.
- Adaptable a múltiples tipos de pantalla. La aplicación está diseñada en “web responsive” que permite la adaptación de la visualización de la web en cualquier dispositivo.
- Cumplimiento normativa de la Ley del Derecho a la Vivienda y el Decreto 67/2015 (ámbito catalan).
- Garantía jurídica de identificación de usuarios y agentes.
- Permite incorporar fotografías, croquis o esquemas en formatos de imagen y adjuntos en PDF.

#### **Para su utilización se requiere:**

- Conexión a la red.
- Navegador actualizado: Google Chrome, FireFox, Internet Explorer, Mozilla, etc.
- Email del técnico, y/o presidente de la comunidad y/o administrador de fincas.

### **Ventajas del programa de mantenimiento electrónico**

Relacionaremos algunas de las ventajas de estas herramientas, teniendo en cuenta que no se trata de un listado exhaustivo y que, a buen seguro, los usuarios encontrarán nuevas posibilidades que ofrecen estas herramientas y que no hemos incluido aquí:

- La herramienta se ha programado en formato web y diseñada en “web responsive” que permite el acceso y su visualización desde cualquier dispositivo, ya sea fijo o portátil.
- La herramienta utiliza un formato de utilización muy intuitivo que favorece la simplicidad en la realización de las acciones de planificación y programación del mantenimiento.
- Los documentos incorporan todas las partes necesarias y obligatorias que deben incorporar estos documentos, estandarizando formalmente los documentos.
- El formato digital facilita y reduce el tiempo dedicado por los técnicos en aspectos repetitivos mejorando el rendimiento y la eficacia de estos procesos productivos.

### **Esquema de funcionamiento del programa de mantenimiento electrónico**

La organización del mantenimiento de un edificio se realiza en dos fases. Por un lado, está la *planificación* en el que se establece lo que hay que realizar y por otra la *programación* que es donde se establece cómo se ha de realizar.

Para realizar las tareas de *planificación* el CAATEEB ha desarrollado unas herramientas informáticas.

- Libro del edificio electrónico
- Programa de rehabilitación electrónico
- Test energético.

La programación de mantenimiento se realiza en el programa de mantenimiento electrónico (PME).



Figura 8: Esquema de organización del mantenimiento con las herramientas desarrolladas por el CAATEEB.

Para programar el mantenimiento del edificio nos podemos encontrar con dos situaciones diferentes:

1. **Edificio existente** en el que hay que disponer o formalizar las actuaciones de conservación y mejora que forman parte del Programa de Rehabilitación, las recomendaciones de mejora que se establecen en el certificado de eficiencia energética (CEE) o en el test energético del edificio y programar las operaciones de mantenimiento preventivo para un período de 10 años.
2. **Edificio de reciente construcción** en el que hay que disponer o formalizar las instrucciones de uso y mantenimiento que forman parte del Libro del Edificio y programar las operaciones de mantenimiento preventivo para un período de 10 años.

### FASE 1. PLANIFICACIÓN

La planificación del mantenimiento preventivo se realiza en las instrucciones de uso y mantenimiento del Libro del Edificio y la planificación del mantenimiento correctivo se realiza en el Programa de Rehabilitación a partir del informe ITE. También se pueden establecer recomendaciones de mejora en los certificados de eficiencia energética (CEE).

#### Libro del edificio web

Esta herramienta informática genera:

- El libro del edificio, que es el conjunto de documentos o ficheros, sea cual sea su formato, que dan información sobre las características del edificio y dotan a la propiedad de las instrucciones de uso y mantenimiento necesarias para alargar la vida útil del edificio y evitar su degradación.
- El manual de la vivienda, que es el conjunto de documentos de la vivienda que han

de disponer cada uno de los propietarios de cada vivienda de un edificio para conocer de manera individualizada de su vivienda.

- El calendario de mantenimiento, que es un documento en el que se organiza por años las operaciones de mantenimiento establecidas en las instrucciones de uso y mantenimiento. La herramienta informática edita el libro del edificio y el manual de la vivienda en formato PDF y el calendario de mantenimiento se editable en formato word y exportable en formato XML

### **Programa de rehabilitación web**

El programa de rehabilitación web organiza las actuaciones de rehabilitación (conservación) y renovación (mejora) que deban realizarse en el edificio, a partir de la información contenida en el informe ITE, según establece el Decreto 67/2015 (ámbito catalán).

Para la formalización de este documento se ha consensado un modelo entre el CCA-ATEEC y el COAC que actualmente se editable en un editor de textos. La herramienta informática que se ha desarrollado permite realizar este documento consensado, mediante una aplicación informática en entorno web.

La herramienta informática edita el programa de rehabilitación en formato PDF y en formato XML.

### **Test energético web**

El CAATEEB ha desarrollado una metodología de trabajo y una herramienta para realizar un diagnóstico energética de los edificios con el objetivo de dar respuesta a la demanda social de mejorar el comportamiento energético del parque edificado y el consumo que hacen sus usuarios.

Esta herramienta aporta por un lado unas recomendaciones de actuación de mejora en el edificio y por otra unos consejos de uso a sus usuarios.

La herramienta informática edita el Test Energético en formato PDF y en formato XML.

## **FASE 2. PROGRAMACIÓN**

### **Programa de mantenimiento electrónico (PME)**

Con el fin de programar las operaciones de mantenimiento preventivo y las actuaciones de rehabilitación (conservación) y renovación (mejora) del mantenimiento correctivo, se ha desarrollado una herramienta informática que facilita el trabajo de gestión de estas tareas mediante la organización de un proceso en el que se enumeran las intervenciones aplican los costes de forma calendarizada en el tiempo y acompañado de un documento de planificación financiera mediante una gestión de los flujos de tesorería de las inversiones y gastos.

## IMÁGENES DE LAS HOMES DE LAS HERRAMIENTAS WEB

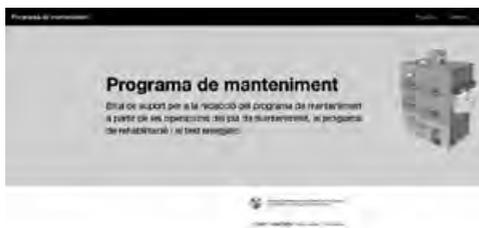


Figura 9: Programa de mantenimiento electrónico (PME).



Figura 10: Libro del edificio web.



Figura 9: Programa de rehabilitación web.



Figura 10: Test energético web.

### 3. ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

- CAATEEB: Col·legi d'Aparelladors, Arquitectes Tècnics i Enginyers d'Edificació de Barcelona.
- CCAATEEC: Consell de Col·legis d'Aparelladors, Arquitectes Tècnics i Enginyers d'Edificació de Catalunya.
- COAC: Col·legi d'Arquitectes de Catalunya.
- CTE: Código Técnico de Edificación.
- PME: Programa de mantenimiento electrónico.
- CEE: Certificado de eficiencia energética.
- PC: Siglas en inglés de personal computer.
- XML: Siglas en inglés de eXtensible Markup Language.
- IOS: Sistema operativo móvil de la multinacional Apple Inc.

### 4. CONCLUSIONES

El mantenimiento visto con una visión amplia (preventivo y correctivo), da respuestas eficaces a las demandas sociales, económicas y ambientales actuales y por ello, hay que construir un marco adecuado que permita desarrollarse con todas sus potencialidades y ofrecer las mejores respuestas con las mejores garantías.

Apostar por el mantenimiento es apostar por un futuro más sostenible y en ello han de tener un papel fundamental los arquitectos técnicos. Para ello es importante ser pioneros y adelantarse a los nuevos retos. El año 1995 lo hizo el CAATEEB impulsando la figura profesional del “técnico de cabecera” y la campaña ciudadana de “la casa en forma”. Espe-

ramos que estas nuevas iniciativas que se proponen ayuden a impulsar este importante perfil profesional que los edificios necesitan, el propio Planeta requiere, la sociedad precisa y los arquitectos técnicos demandan para poder desarrollar con toda plenitud un nuevo marco más razonable.

## **5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS (Y CITAS EN EL TEXTO)**

- [1] Servei de Rehabilitació (15 de octubre de 1995) El Col·legi presenta el “Test Manteniment”. El Informatiu. Col·legi d’Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona. Pàgina 8.
- [2] Xavier Casanovas ... [et al.] (1994) 25 consells per tenir la casa en forma. Serveis Tècnics del Col·legi d’Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona. ISBN 84-87104-18-S.

## RESTAURACIÓN DE LA CARTUJA DE NUESTRA SEÑORA DE LAS FUENTES. CRITERIOS DE INTERVENCIÓN

BONED CALVO, JARA<sup>1</sup>; PUERTAS MIRAMÓN, CRISTINA<sup>2</sup>;  
ARTIEDA PEREZ, MARIO<sup>3</sup>; BERDIEL GONZÁLEZ, MARTA<sup>4</sup>

*<sup>1</sup> Diputación Provincial de Huesca, Huesca, España*

*E-mail: jaraboned@msn.com, Web: <http://www.dphuesca.es/>*

*<sup>2</sup> Diputación Provincial de Huesca, Huesca, España*

*E-mail: crispuertasmiramon@gmail.com, Web: <http://www.dphuesca.es/>*

*<sup>3</sup> Diputación Provincial de Huesca, Huesca, España*

*E-mail: artiedaperez@gmail.com, Web: <http://www.dphuesca.es/>*

*<sup>4</sup> Diputación Provincial de Huesca, Huesca, España*

*E-mail: berdielgonzalez@gmail.com, Web: <http://www.dphuesca.es/>*

**PALABRAS CLAVE:** Plan director, monasterio cartujano, patrimonio, bien de interés cultural, proyecto de restauración.

### RESUMEN

La Cartuja de Nuestra Señora de las Fuentes —Sariñena (Huesca)—, construida principalmente en ladrillo, se caracteriza por la sencillez y pureza de sus volúmenes exteriores de claras y neutras líneas, características propias del barroco tardío del siglo XVIII. A lo largo del tiempo, la desaparición de sus fundadores y benefactores; la falta de recursos económicos; las desamortizaciones y conflictos; los usos indebidos; el abandono; y, en definitiva, la desconsideración de su valor histórico y riqueza artística ocasionaron graves daños al monumento. Motivo por el que la Diputación Provincial de Huesca adquirió, en junio de 2015, el monumento, Bien de Interés Cultural desde 2002, con el fin de recuperarlo.

En aquel momento el edificio presentaba muchas deficiencias pero se centraron los primeros trabajos en la rehabilitación de las cubiertas, según el grado de interés de las estancias que acogen.

Sin embargo, todavía no se ha elaborado el Plan Director del conjunto edificado, necesario para ordenar y coordinar los esfuerzos, cuantificar las inversiones y optimizar los resultados de la gestión de recuperación del patrimonio. Se debería realizar, según métodos coherentes, el estudio histórico del edificio, su relación con el entorno, la composición y estructura; y el análisis del proceso restaurativo entre otros aspectos.

En este contexto de debate, impulsado alrededor de la instrumentación del Plan Director, este artículo busca explicar cómo abordar un proyecto de restauración que no prevé todavía una visión global; desde un acercamiento a las actuaciones ejecutadas hasta el momento; analizando las acciones llevadas a cabo por los técnicos responsables de las obras, el proceso seguido en la redacción y recopilación de datos, la relación con las entidades competentes y la propia ejecución de los trabajos de emergencia.

## 1. INTRODUCCIÓN

En plena comarca de los Monegros, junto al pueblo de Lanaja –Sariñena (Huesca)– se encuentra la Cartuja de Nuestra Señora de las Fuentes, primer monasterio cartujo levantado en tierras aragonesas. Fundada en 1507 por los Condes de Sástago, se eligió como primer emplazamiento la antigua ermita de la Virgen de las Fuentes, que sería ampliada posteriormente. Sin embargo, durante el siglo XVIII, en vista de la precariedad de las primeras instalaciones, se emprende la construcción de un monasterio de nueva planta, que es, tal y como puede apreciarse en la figura 1, la Cartuja que conocemos actualmente.



Figura 1: Vista general de la Cartuja de Nuestra Señora de las Fuentes.  
Estado inicial. Fuente: [1].

Su perímetro queda definido por una muralla cuyo trazado en planta constituye un rectángulo de proporciones  $\frac{3}{4}$  respecto a la longitud de sus lados, cercando una superficie de 5,83 Ha. La simetría y la ortogonalidad que se perciben en la Figura 2 rigen el trazado y la organización del conjunto, principalmente en ladrillo.

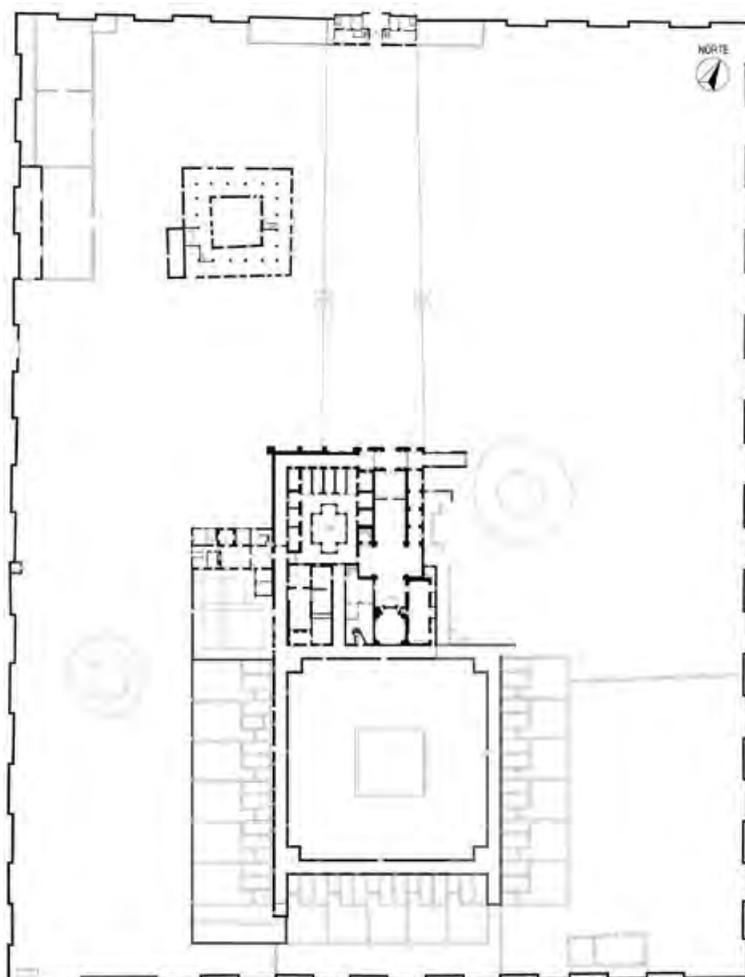


Figura 2: Planta general de estado actual. Fuente: elaboración propia.

La Cartuja se encuentra caracterizada por la sencillez y austeridad propias de la orden cartujana, definiendo volúmenes puros de claras y neutras líneas. Sin embargo, la austeridad característica de su arquitectura se enriquece con elementos clasicistas del barroco tardío y, principalmente, con las pinturas murales que envuelven los espacios interiores. Dichas pinturas fueron llevadas a cabo por Fray Manuel Bayeu, hermano de Ramón y Francisco Bayeu y monje de la comunidad, que se encargó de la decoración de techos, muros, capillas y bóvedas entre 1770 y 1780 [2].

La historia del edificio mucho tiene que ver en cómo la Cartuja ha llegado a nuestros días, pues los distintos acontecimientos la han sumido en un estado de progresivo deterioro y abandono. Tiempo después de su fundación, la fortuna que había acompañado a los primeros años se vio truncada por la temprana muerte de sus fundadores y desaparición de sus benefactores, sumiendo al monasterio en un periodo de pobreza y precariedad. Todo ello, unido a la dificultad de vivir en un lugar tan inhóspito e inadecuado para el cultivo de tierras

acompañado por un clima árido y hostil, derivó en el abandono del convento por parte de los monjes, trasladándose a la Cartuja del Aula Dei en Zaragoza [3].

En 1589, años después de su abandono y posterior venta a los carmelitas, los monjes cartujos tuvieron que regresar nuevamente al monasterio para poder recibir una herencia vinculada a la fundación. Tras un periodo de infortunios y escasez de recursos económicos, no será hasta la segunda mitad del siglo XVII cuando se den los primeros síntomas de recuperación. La llegada de nuevos benefactores y la consiguiente mejora económica, permitieron el levantamiento de un nuevo monasterio emplazado en un llano próximo al original. La construcción se llevó a cabo entre 1714 y 1797, sin embargo la falta de recursos económicos impidió la edificación completa del conjunto monástico [3].

Ya entrado el siglo XIX, la Cartuja sufrió las consecuencias de la Guerra de la Independencia y, más tarde, de los decretos desamortizadores. Dichos acontecimientos, culminando con la desamortización de Mendizábal, marcarían el fin de la vida monástica. A partir de este momento, la Cartuja pasó a manos privadas y durante las décadas posteriores adoptó los usos más diversos: se pensó en un primer momento como balneario y fue utilizada como acuartelamiento durante la Guerra Civil y con fines agropecuarios, ocasionando graves daños al monumento. El último propietario privado fue la familia Bastarás que, durante años, trató de mantener el monumento dentro de sus posibilidades hasta la inevitable venta a la administración pública, siendo ésta la mejor manera de conservar el monasterio.

Este referente del patrimonio aragonés, declarado en 2002 Bien de Interés Cultural [4], no podía dejarse a su suerte y permitir que cayera en abandono. Esta precaria y alarmante situación, denunciada conjuntamente por los propietarios y distintos colectivos de Aragón, llevó a la adquisición de la propiedad por parte de la Diputación Provincial de Huesca en junio de 2015.

## **2. DESARROLLO/METODOLOGÍA**

Desde que en marzo de 2015 la Cartuja de Nuestra Señora de las Fuentes pasase a titularidad pública, por la compra del conjunto arquitectónico por parte de la Diputación Provincial de Huesca, se han ido realizando obras de rehabilitación en el monasterio dirigidas a subsanar las patologías más relevantes que comprometiesen tanto al edificio como a las pinturas que alberga en su interior.

### **2.1 Fases de obra ejecutadas**

Las obras ejecutadas han estado enfocadas en la rehabilitación de las cubiertas del monasterio, ya que es donde se evidenciaba el precario estado inicial que presentaba el conjunto edificado. Debido a limitaciones presupuestarias no fue posible acometer la rehabilitación de todas ellas en una sola fase, por lo que las obras se abordaron en tres fases. [5]

La primera de ellas, consistió en rehabilitar las que afectaban a estancias que albergaban la mayor cantidad de pinturas murales de Fray Manuel de Bayeu, por el riesgo de posible pérdida. De esta manera, las cubiertas sobre las que se actúa en esta fase son las correspondientes a la nave del coro de la iglesia, la nave transepto, la nave cabecera, el cimborrio sobre el crucero de la iglesia, la capilla del Santísimo y las capillas laterales [5].

Restauradas las cubiertas más prominentes del edificio monacal, la segunda fase de rehabilitación de cubiertas se centró en la intervención sobre aquéllas que acogían espacios

con pinturas murales que no habían podido ser atendidas durante la primera fase por falta de presupuesto, así como aquéllas que se encontraban en un estado más precario. Las zonas a intervenir durante la segunda fase de ejecución se pueden identificar enumerándolas de la manera que sigue: Claustro de capillas, Sala Capitular y anejos, Priorato, ático prioral y prolongación oeste del claustro. [6]

Finalmente, la última fase ejecutada, corresponde al resto de cubiertas del edificio principal del conjunto cartujano. Las cubiertas intervenidas en esta fase son las correspondientes al Gran Claustro y anejos, Atrio y su anejo este, Sacristía y galería central del claustro. [7]

En general, el procedimiento llevado a cabo durante la ejecución de las 3 fases de rehabilitación de cubiertas ha sido el siguiente:

Tras la instalación de los andamios y llevar a cabo las pertinentes medidas de seguridad, se desmontan las tejas, haciendo una selección de aquellas que son susceptibles de ser recuperadas. A continuación se retiran las tablas o el cañizo existentes bajo las tejas, para dejar a la vista el entramado de cubierta. Una vez descubierto, se analiza el estado de los elementos que lo componen para decidir si sustituir, reforzar o protegerlos. Simultáneamente, se limpian los extradados de las bóvedas, retirando parte de los escombros de los senos con el fin de determinar la existencia de posibles fisuras o grietas. Evaluado el estado real de los elementos que componen la cubierta, se actúa en consecuencia, para, posteriormente, cubrir el entramado con malla de Nervometal, hormigón y tejas cerámicas árabes de recuperación.

No obstante, durante el trascurso de la ejecución de las tres fases de rehabilitación de cubiertas han surgido modificaciones respecto a las soluciones planteadas en los respectivos proyectos, debidas a que, *como se indica en la documentación final de obra de la 1ª fase de rehabilitación de cubiertas*, [5] “al acometer obras en zonas donde, sin los medios auxiliares apropiados, son de difícil acceso y no se puede realizar una inspección efectiva, en un primer momento no se conocía el estado de algunas zonas, como son los entramados de la estructura de las cubiertas. Por otra parte, el natural desarrollo de las obras de rehabilitación de patrimonio arquitectónico, fuerza, en múltiples ocasiones, a tomar decisiones in situ”. Los ejemplos más representativos fruto de esta situación se describen a continuación.



Figura 3: Entramado de cubierta del cimborrio del crucero de la iglesia con refuerzos metálicos.

Fuente: Elaboración propia.

Hubo varias modificaciones respecto al proyecto durante la ejecución de la primera fase de rehabilitación de cubiertas. Una de ellas fue la realizada sobre el entramado del cimborrio del crucero de la iglesia, como se puede apreciar en la figura 3; los rollizos de

madera que componían la estructura se encontraban en peor estado del que cabía esperar y, debido a su singular composición, hacía muy difícil la sustitución de varios de ellos, por lo que se optó por reforzar el entramado con elementos metálicos de anclaje y sujeción a base de chapa de acero de 10mm y pasantes atornillados, tratados con minio electrolítico y Oxirón. [8]



Figura 4: Rehabilitación de plafón nordeste y vista del refuerzo de estructura de la esquina sureste de las galerías del claustro.

Fuente: Elaboración propia.

Durante la ejecución de la segunda fase, la zona más conflictiva y que mayores modificaciones supuso fueron las esquinas del claustro, cuyas muestras ejemplificadoras podemos apreciar en la figura 4, debido, principalmente, a la dificultad de acceso y a vicios ocultos que poseía. Específicamente, la esquina nordeste, es claro ejemplo de ello. El plafón había sido restaurado en una intervención anterior y, el mortero de yeso y cal, se había sustituido por entramado de cañizo. Durante el transcurso de la obra, parte de este cañizo colapsó, por lo que hubo que reconstruir el plafón, *según se describe en la documentación final de obra de la 2ª fase de rehabilitación de cubiertas* [9] “mediante la colocación de fleje de Nervometal, sujeto a los rastreles inferiores de la estructura con clavos y grapas. Posterior vertido de pasta de yeso sobre el fleje y acabado con la aplicación de una capa de yeso de terminación en la capa inferior del plafón”.

## 2.2 Obras puntuales y de emergencia

En el marco de la ejecución de las obras más urgentes de rehabilitación de la Cartuja, han surgido imprevistos y necesidades propias de la normal actividad del inmueble. Debido a que el conjunto monástico es Bien de Interés Cultural, *según la ley de patrimonio cultural de Aragón (ley 3/1999 del 10 marzo artículo 33 capítulo I título II)* [10] “los propietarios y titulares de derechos sobre los bienes de interés cultural tienen el deber de conservar adecuadamente el bien, facilitar el ejercicio de las funciones de inspección administrativa, el acceso de investigadores y **la visita pública**, al menos cuatro días al mes, en los términos establecidos reglamentariamente”. La obligatoriedad de visitas que hace referencia el artículo anteriormente citado, se materializa en un régimen de visitas guiadas por la iglesia y las galerías del claustro de capillas dos días por semana. Este hecho ha propiciado que se ejecuten obras puntuales de mantenimiento y mejora del entorno que rodea al edificio monacal, consistentes en el acondicionamiento de una zona provisional de estacionamiento de vehículos, la adecuación de la portería, comprendiendo la restauración de las carpinterías

y el pavimentado del acceso al recinto, así como el desbroce y limpieza anual de todo el recinto.

Por otra parte, durante el trascurso de la primera fase de rehabilitación de cubiertas, se hizo notorio el estado precario, prácticamente de ruina, del chapitel de la torre campanario de la iglesia, que ponía en peligro a los operarios que trabajaban en las inmediaciones y suponía un riesgo para el propio edificio. Lo que obligó a reconstruir dicho chapitel como obra de emergencia.

La falta de un Plan Director ha obligado a ejecutar estas obras puntuales y de emergencia paralelamente a las obras de rehabilitación de cubiertas según iban surgiendo las necesidades, ya que con una planificación previa y la definición de un uso para el conjunto monástico, las intervenciones ejecutadas responderían a la programación definida en el preceptivo Plan Director. La carencia de este documento, como se ha visto, supone que sólo se hayan acometido las obras más urgentes y que, puntualmente se haya intervenido en zonas por razones de necesidades puntuales. Para una intervención general y efectiva es imperativo contar con un documento guía elaborado por un equipo multidisciplinar como es un Plan Director.

### 3. DISCUSIÓN

Las razones por las que el conjunto monástico se ha ido deteriorando, y ha perdido su funcionalidad o su valoración social o cultural, son múltiples. Por un lado, los materiales y la construcción van erosionándose y deteriorándose por la acción de los agentes atmosféricos, que acaban provocando su pérdida de cohesión y resistencia. Por otro lado, la evolución y transformación socio-cultural y económica en la que se han ido viendo inmersos los diferentes grupos sociales que han ocupado el edificio ha hecho modificar también sus usos, costumbres y preferencias; por lo que ha mermado su funcionalidad.

Por lo general, los cambios descritos se han producido lentamente, lo que ha ido provocando un acumulo de pequeñas deficiencias superadas con los trabajos imprescindibles de *mantenimiento* que realizaron durante años sus anteriores propietarios. No obstante, cuando la arquitectura no responde a las expectativas de carácter funcional, constructivo o formal, debe someterse a una obra de *rehabilitación* que modifique su configuración, la distribución de sus espacios o la reforma de sus instalaciones. Es decir, se debe realizar una *gran intervención* para responder a las nuevas demandas de uso y para garantizar su pervivencia en el tiempo y la continuidad de su evolución, motivo por el cual la Diputación Provincial de Huesca decidió adquirirlo.

#### 3.1 Necesidad de un cambio de metodología

Hasta el momento, al abordar la restauración del monumento histórico se ha seguido la metodología de proyectos, es decir, se ha intentado comprender el proceso creativo y constructivo que permitió a su predecesor definir su diseño, entendiendo y estudiando sus modos de trabajo. Siguiendo esta metodología, la mayoría de intervenciones que se han elaborado, en particular en las obras realizadas en cubiertas, restituyen la arquitectura reproduciendo de nuevo el proyecto que permitió su ejecución.

En cambio, una vez superadas las intervenciones desarrolladas en el apartado anterior, se debería comprender el monumento histórico como un sistema constituido por los ele-

mentos que lo componen y por el conocimiento del grupo social que lo ocupó, del medio en el que se encuentra y de las relaciones que se producen entre ellos. Así, este modo de entender la realidad exige un cambio de metodología de investigación acudiendo a todas las disciplinas con capacidad para aportar datos e información sobre el mismo, abordándose desde campos tan diversos como la geología, biología, ingeniería, arquitectura, historia, arqueología, geografía, antropología, etc. [11].

Normalmente este tipo de intervenciones se escapan de nuestro ámbito de actuación y así se hace complicado darles una solución dentro de los cauces habituales en los que se mueve la restauración arquitectónica. Por este motivo, es necesario formar *equipos multidisciplinarios* de especialistas con una experiencia probada, que dispongan de la tecnología adecuada y del conocimiento de las técnicas, y que estén habituados a trabajar en equipo; de tal modo que los resultados obtenidos por cada especialista puedan ser comprendidos y utilizados por sus compañeros en su propia investigación [11].

### 3.2 Desarrollo del Plan Director de Restauración

La figura que actualmente permite la contratación de un trabajo con este contenido es la del *Plan Director de Restauración*, cuyo objetivo es elaborar el modelo del monumento al que nos hemos estado refiriendo, la coordinación de su trabajo, la definición de los estudios necesarios y la gestión tanto del desarrollo del Plan Director como de la restauración.

El trabajo debe iniciarse con la designación de un equipo de coordinación que deberá estar formado por lo menos por tres responsables de las tres áreas fundamentales de la investigación: historia y arqueología, conservación, y arquitectura y restauración. Esto se debe a que la creación de equipos multidisciplinarios no es una condición suficiente para garantizar el éxito de la investigación, ya que es probable que sin una *dirección adecuada* cada especialista actúe individualmente estudiando los problemas que afectan exclusivamente a su disciplina [11].

Con el equipo ya formado, antes de cualquier intervención, se deberá procurar un conjunto de *estudios previos interdisciplinares*, empezando por el estudio y conocimiento de las características de los materiales constructivos y continuando por estudiar todo el edificio en relación con el medio en el que se encuentra inmerso. También será necesario conocer el proceso histórico que ha provocado su transformación en el tiempo así como realizar una catalogación y una valoración histórico-artística del monumento, de los elementos artísticos y decorativos integrados en su arquitectura y del patrimonio mueble existente [12].

Con este material y una serie de inspecciones in situ se deberá redactar un primer proyecto en el que se incluyan todos los estudios y ensayos necesarios para la investigación, los medios auxiliares necesarios para llevarlos a cabo y las obras de limpieza, desescombro y de conservación imprescindibles para acometer el trabajo de investigación previsto en las condiciones de seguridad y accesibilidad idóneas [11].

Una vez concluida la redacción del documento, y tan importante como su elaboración, será la gestión y seguimiento de los proyectos de restauración y del resto de actuaciones que se hayan previsto hasta la conclusión de la transformación proyectada. Por ello, es deseable que sea elaborado con el mayor consenso posible entre la Administración y todas las entidades vinculadas a la conservación de estos bienes, marcando su horizonte de programación entorno a los 10 años, con una revisión intermedia a los 5 años según el Plan Nacional elaborado por el Ministerio de Educación, Cultura y Deporte [13].

### 3.3 Otros instrumentos a tener en cuenta

Remarcar que, el Plan Nacional de Abadías, Monasterios y Conventos [13]; que es un instrumento técnico de gestión de la conservación de este conjunto de bienes en el que se establecen estrategias metodológicas, de programación de actuaciones de ejecución y seguimiento; plantea una serie de criterios entre los que cabe destacar:

- *Necesidad De Declaración De Bien De Interés Cultural O Figura Asimilable Como Máximo Grado De Protección.* En El Caso Del Monumento De Estudio Es Considerado Conjunto Histórico-Artístico Y Bien De Interés Cultural Desde 2002 [4].
- *Existencia De Plan Director Y De Documentación,* Necesidad Sobre La Que Versa Este Artículo.
- *Actuaciones Urgentes: Estabilidad Y Estanqueidad, Riesgo Para Las Personas Y Los Bienes;* Precisamente Son Parte De Las Intervenciones Que Han Sido Realizadas En Las Tres Primeras Fases De Actuación.
- *Actuaciones Integrales,* Necesarias A Partir De Ahora.
- *Grado De Cumplimiento De Protocolos De Conservación Preventiva Y De Mantenimiento.*
- *Grado De Accesibilidad, Difusión Y Promoción Del Patrimonio Cultural Del Monasterio.*
- *Existencia De Programas Y Actividades De Difusión Y Promoción Del Patrimonio,* Teniendo En Cuenta La Posibilidad De Darle Un Cambio De Uso.

Por último, es importante conocer los aspectos normativos y legales a tener en cuenta cuando se actúa sobre el Patrimonio. Los criterios de intervención aplicables deberán observar, con el mayor rigor posible, los relativos a conservación de patrimonio establecidos en la vigente Ley 16/1985 del Patrimonio Histórico Español [10], en las legislaciones autonómicas sobre patrimonio cultural, así como en las recomendaciones nacionales e internacionales sobre la materia y en los criterios más asentados actualmente en la disciplina de la conservación y restauración [13].

## 4. CONCLUSIÓN

Es el momento de redactar un Plan Director para la Cartuja de N<sup>o</sup> Señora de Fuentes. Las intervenciones ejecutadas hasta el momento han tenido en su mayor parte un carácter de emergencia, solventando amenazas inminentes sobre la integridad del edificio. Estas han concernido principalmente a las cubiertas y por tanto no era difícil dirimir el camino a seguir en estas primeras fases de rehabilitación. Pero una vez alcanzado este punto, las labores deben de ir más allá de la pura conservación. Se abren ahora diversas vías de actuación y será un documento, que recoja los necesarios estudios y planificaciones el que marque la dirección de las obras.

El propio equipo técnico responsable de las actuaciones realizadas en la Cartuja desde su adquisición por parte de la DPH en 2015, se ha visto en la situación de redactar un Plan de etapas de intervención sobre el monumento, paso previo al necesario Plan Director, sin la ayuda de actores provenientes de otras disciplinas. La aproximación a este trabajo sin las pertinentes investigaciones propias de un equipo multidisciplinar ha tenido como conse-

cuencia la incertidumbre ante ciertos planteamientos.

Tan sólo con la colaboración de arqueólogos, historiadores, restauradores y otros expertos bajo la coordinación del equipo técnico formado por arquitectos será posible la redacción de un Plan Director completo que establezca las pautas a seguir para la conservación, puesta en valor y uso de este BIC.

Este último elemento, el uso, debe constar de la mayor relevancia dentro de dicho documento. El marco geográfico en el que se encuentra la Cartuja de N<sup>o</sup> Señora de Fuentes, en el centro de la región de Los Monegros, unido a la fuerte identidad y arraigo de los que goza entre la población, le confieren un enorme potencial como elemento reactivador de la comarca. Es una oportunidad única de frenar la despoblación del territorio a la vez que se protege un edificio tan trascendental en la historia de Aragón. La clave para que esta oportunidad se convierta en una realidad, es que se lleve a cabo la redacción de un Plan Director, con un equipo multidisciplinar detrás, y un estudio objetivo de puesta en uso en el horizonte.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS (Y CITAS EN EL TEXTO)

- [1] PierreG\_09. (2008). La Cartuja de Nuestra Señora de las Fuentes [Figura]. Recuperado de [https://www.flickr.com/photos/pierreG\\_09](https://www.flickr.com/photos/pierreG_09).
- [2] Historia de la Cartuja de Nuestra Señora de las Fuentes. Accedido el 26 de Enero, 2018, desde <http://www.dphuesca.es/historia1>.
- [3] Barlés Báguena, E. (2014). *Arquitectura cartujana en Aragón (siglos XVII y XVIII)*. Zaragoza: Institución Fernando el Católico.
- [4] España. Decreto 60/2002, de 19 de Febrero, de Gobierno de Aragón. Boletín Oficial de Aragón, 6 de marzo de 2002, núm. 28, p. 2370.
- [5] Zabala Latorre, D. y Sanz Lahoz, J.M. “Proyecto de Restauración de la Cartuja de Nuestra Señora de las Fuentes. Rehabilitación Parcial de Cubiertas: fase 1<sup>o</sup>” (Huesca 2015).
- [6] Zabala Latorre, D, Puertas Miramón C. y Sanz Lahoz, J.M. “Proyecto de Restauración de la Cartuja de Nuestra Señora de las Fuentes. Rehabilitación Parcial de Cubiertas: fase 2<sup>o</sup>” (Huesca 2016).
- [7] Zabala Latorre, D, Puertas Miramón C. y Sanz Lahoz, J.M. “Proyecto de Restauración de la Cartuja de Nuestra Señora de las Fuentes. Rehabilitación Parcial de Cubiertas: fase 3<sup>o</sup>” (Huesca 2016).
- [8] Zabala Latorre, D. “Documentación final de obra, 1<sup>o</sup> fase de rehabilitación de cubiertas” (Huesca 2016).
- [9] Zabala Latorre, D. “Documentación final de obra, 1<sup>o</sup> fase de rehabilitación de cubiertas” (Huesca 2017).
- [10] España. Ley 16/1985, de 25 de Junio, del Patrimonio Histórico Español. Boletín Oficial del Estado, 29 de Junio de 1985, núm. 18, p. 191.
- [11] Latorre, P. (2012). El monumento como un todo. El plan director de restauración. Informes de la construcción, 64, 45-56.
- [12] Robles, L. G. (2010). Los valores del monumento restaurado. Una aproximación a la restauración científica. Revista ph, (75).
- [13] Jiménez Cuenca, C. (2004). Plan Nacional de Abadías, Monasterios y Conventos. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.

**MAS DE BUROT. EJEMPLO DE BUENAS PRÁCTICAS EN ARQUITECTURA  
TRADICIONAL Y REFERENTE DEL PATRIMONIO ETNOLÓGICO  
DEL PN ELS PORTS**

ESTEVE ROIG, DANIEL<sup>1</sup>; BENET RAMOS, OSCAR<sup>2</sup>

*<sup>1</sup> Calle Carnisseries, 11, bajos 1, Gandesa, España*

*E-mail: coordinacio@masdeburot.cat;*

*<sup>2</sup> Calle Mayor, 44, 1º, Amposta, España*

*E-mail: oscarbenet@hotmail.com*

**PALABRAS CLAVE:** ARQUITECTURA TRADICIONAL; BIOCONSTRUCCIÓN;  
RESTAURACIÓN; MASÍA; PARQUE NATURAL ELS PORTS

**RESUMEN**

El “mas de Burot”, situado en Horta de San Joan en un punto privilegiado del Parque Natural Els Ports al pie de las Rocas de Benet, se muestra como un ejemplo de intervención en la arquitectura rural y tradicional del macizo.



Figura 1: Vista aérea de la zona.

Esta masía originaria de finales del siglo XIX, en estado de abandono desde hace años, es una edificación sólida y austera que sigue el patrón de las técnicas constructivas de su época, cuando era habitual el uso de materiales naturales y no adulterados procedentes del entorno cercano, lo que actualmente denominamos bioconstrucción.

Construida con piedra caliza, madera de pino, cañizo, arcilla, yeso, cal y arena, la conforma un cuerpo principal rectangular, de planta baja y piso, y varias ampliaciones realizadas posteriormente. Completa el conjunto arquitectónico un cercado exterior adosado a la masía de piedra en seco que recuerda su uso ganadero. El espacio más importante de la casa es la cocina-comedor con un horno de piedra, situado en la planta baja, junto a un pesebre y un corral. En el primer piso se distribuyen tres pequeñas habitaciones y estancias anexas. La superficie total construida es de 270 m<sup>2</sup>.

La rehabilitación devolverá la edificación a su estado original, convirtiéndolo en un referente de rehabilitación respetuosa y un nuevo activo pedagógico y turístico de referencia en la zona, dando a conocer su patrimonio arquitectónico y etnológico.

El proceso desarrollará los siguientes pasos:

- Derribo de los elementos inestables que presentan riesgo.
- Consolidación de la estructura del edificio.
- Sólo después de inventariar y documentar todos los elementos que se deben restaurar, se pueden retirar con cuidado para su restauración o sustitución.

El proceso de la obra también sirve para dar a conocer estas técnicas a profesionales del mundo de la construcción interesados, mediante unas jornadas de formación teórico-prácticas que se celebran de forma paralela.

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

El macizo de Els Ports, declarado Parque Natural de Els Ports mediante el Decreto 160/2001 engloba una superficie de 35.050 hectáreas repartidas entre 9 municipios al sur de la provincia de Tarragona (Alfara de Carles, Arnes, Horta de Sant Joan, Mas de Barberans, Paüls, Prat de Comte, Roquetes, la Sénia y Tortosa).

La actividad del hombre se ha desarrollado durante siglos al macizo de Els Ports. A pesar de su particular orografía, la ocupación del territorio se ha llevado a cabo mediante actividades de tipo agrícola y ganadera, así como de explotación otros recursos naturales. Esta humanización nos ha dejado una serie de construcciones que constituyen un legado arquitectónico y paisajístico de gran coherencia intrínseca. Si bien se trata de edificaciones sencillas, con elementos estilísticos poco relevantes, la racionalidad en cuanto a la ocupación del territorio, los sistemas constructivos y los materiales empleados, así como su relación con el paisaje, le confieren un valor particular.

El abandono de estas actividades, junto con las intervenciones poco afortunadas y la utilización de nuevos materiales, que poco tienen que ver con la naturaleza de estas construcciones, traen a la progresiva destrucción de este patrimonio arquitectónico y etnológico. Por estos motivos, desde la administración que gestiona el Parque Natural de Els Ports, se inician una serie de acciones bajo las siguientes premisas:

- Es necesario valorar nuestro patrimonio.
- Queremos conservar el valor histórico, cultural, etnológico i paisajístico.
- Las intervenciones no deben suponer una pérdida.

### 1.2 Inventario de construcciones

Entre el 2003 y el 2014, se realiza un inventario exhaustivo de todas las construcciones existentes en el Parque Natural con el único fin de identificarlas (no catalogarlas). Se constata un total de 1.024 edificaciones en todo el ámbito de actuación.

### 1.3 Estudio de caracterización de la arquitectura



Figura 2: Croquis identificativo de la tipología constructiva.

Durante el período comprendido entre el 2008 y el 2014, se elabora un estudio y caracterización de la arquitectura tradicional del Parque Natural, de tal manera que se identifica los trazos más característicos de este tipo de construcciones, así como sus aspectos más destacados y singulares y los que se puede considerar como tradicionales (ya sean más o menos comunes) de la arquitectura rural de la cada zona dentro del Parque Natural.

#### 1. 4 Manual de buenas prácticas

Esta guía para intervenir en el patrimonio arquitectónico del Parque Natural de Els Ports, “pretende ser una herramienta práctica, para propietarios, profesionales, técnicos del mundo de la construcción y responsables de la Administración para guiar las futuras intervenciones, así como una herramienta de difusión de nuestro patrimonio que nos permita crear conciencia y dar valor a aquello que nos define como pueblo y cultura”.

En el manual, se definen 10 puntos que pretenden establecer las bases de una intervención futura, de forma clara, sencilla y concisa y mediante criterios objetivos. Se recurre a la utilización de imágenes clarificadoras y ejemplos de soluciones no adecuadas bajo los criterios allí definidos.

Este documento, de carácter voluntario, cuenta con el consenso de lo Colegios profesionales y Administraciones competentes en materia de Urbanismo y Cultura.



Figura 2: Portada de la publicació.

## 1.5 Difusión y formación

Como continuación a estas acciones, se organiza una campaña de difusión que culmina con la rehabilitación, a modo de ejemplo de intervención respetuosa, del Mas de Burot, promovido por su propietario el Ayuntamiento de Horta de Sant Joan y la organización de unas jornadas de formación en bioconstrucción y técnicas de arquitectura tradicional de carácter teórico y práctico con la colaboración del Colegio de Aparejadores, Arquitectos Técnicos e Ingenieros de la Edificación de Terres de l'Ebre y el Colegio de Arquitectos de Cataluña, Demarcación Terres de l'Ebre, además de técnicos y empresas especializados en restauración de patrimonio arquitectónico y técnicas tradicionales y de bioconstrucción.

## 2. DESARROLLO/ METODOLOGÍA

### 2.1 Historia

En 1880 Vicent Roig Barberà, alias el 'Negre', recibe en herencia de su padre una parte de la finca del valle de Blanco, lugar donde construirá el mas del Negre, conocido después como mas de Burot.

La casa es citada por primera vez en 1897 en un documento municipal. La primera generación de propietarios son la pareja formada por Roig y Manuela Sebastià, que tienen siete hijos pero solo cuatro llegan a la edad adulta. Una de las hijas, Rosa, se casa con Joan-Baptista Lleonart y forman la segunda generación de propietarios. Tienen dos hijos, el primogénito, Francisco, es el heredero de la masía, quien tendrá tres hijos. La familia y sus descendientes viven las vicisitudes de la guerra civil y la dictadura.

El Ayuntamiento de Horta de Sant Joan había vendido terrenos en el macizo de Els Ports a particulares, privatizando de este modo los bosques comunales, entre los siglos XVIII y XIX. Sin embargo, en la década de los 60 del siglo pasado se vivió el proceso inverso. En colaboración con el Patrimonio Forestal del Estado, se inició un proceso de adquisiciones de aquellos enclaves que siglos atrás el ayuntamiento había adjudicado a particulares

En 1963 ya no quedan pastores en Els Ports de Horta, han sido expulsados por la administración. Trece años más tarde, el último propietario vende la masía y las últimas tierras al Ayuntamiento. A partir de ese momento, excepto usos puntuales, la masía queda abandonada.



Figura 3: Foto de la masía antes del proceso de restauración.

## 2.2 Usos y distribución

El Mas de Burot fue de uso ganadero desde sus orígenes. Los pastores optaron por formar rebaños de cabras, por ser la especie más adecuada en adaptarse a un medio accidentado, con abundancia de acantilados y barrancos, como es el caso de Els Ports y con una dieta basada principalmente en la hierba de los pastos.

Las tierras que rodeaban la masía eran pocas y se situaban en pequeñas fajas de terreno cultivable pero su extensión era insuficiente para el sustento de toda la familia. Según Baptista Leonart cultivaban trigo, olivos, viña y almendros. Era una agricultura para el consumo familiar.

En la masía tenían gallinas, pollos, conejos y, según las épocas, uno o dos cerdos. En cuanto a la apicultura contaban con tres o cuatro cajas de abejas. No eran cazadores, ni de escopeta ni de ratoneras.



Figura 4: Usos y distribución en planta baja.

## 2.3 Evolución. Las tres fases constructivas

Las edificaciones tradicionales de Els Ports, al igual que toda la arquitectura rural, evolucionan y aumentan en función de las necesidades del núcleo familiar y la actividad que se desarrolla en el edificio. En este caso, se pueden distinguir 3 fases distintas.

La primera fase o edificio primario, consta de dos plantas independientes, la baja destinada a corral i la primera destinada a vivienda. A medida que se amplía el ganado y aumenta la familia, el edificio sufre varias transformaciones que modifican su volumetría exterior i sus usos i distribuciones interiores.

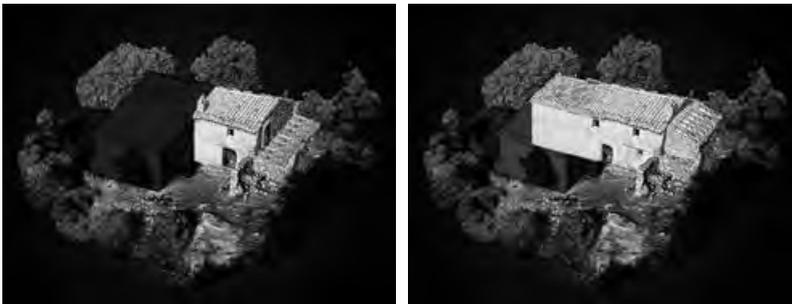


Figura 5: Simulación fases 1 (izquierda) y 2 (derecha).



Figura 6: Simulación fase 3. Estado antes de la rehabilitación.

### 2.4 Funcionamiento térmico del edificio

El funcionamiento térmico de los edificios concebidos mediante criterios de arquitectura tradicional, se basan en la inercia térmica, el ahorro energético y la transpiración y ventilación a través de sus elementos constructivos.

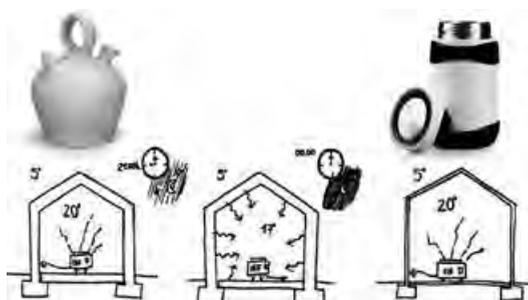


Figura 7: Arquitectura tradicional frente a arquitectura contemporánea.

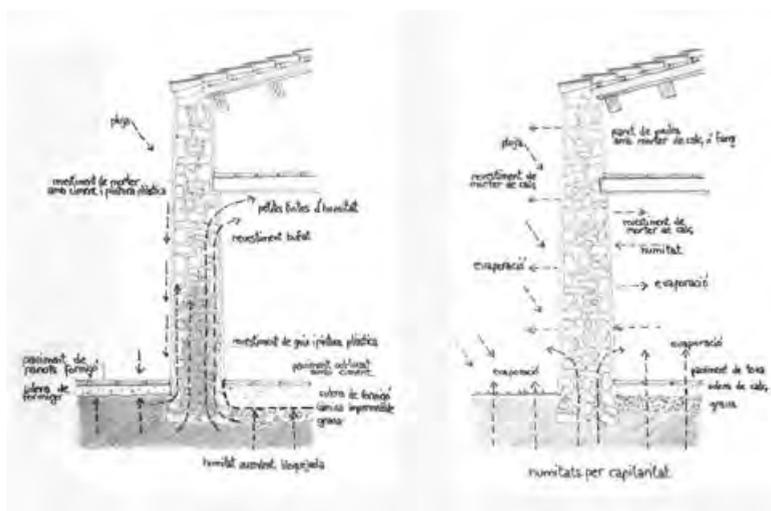


Figura 8: Errores comuns en la rehabilitación de masías que provocan humedades.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Análisis exhaustivo de materiales y patologías

Los muros de carga presentan grietas y fisuras, lavado del mortero, erosión del revestimiento en las partes bajas, presencia de líquenes y microorganismos en el revestimiento.

Los forjados unidireccionales de rollizos de madera presentan ataques de insectos xilófagos como termitas y carcoma, pudrición, deformaciones excesivas i colapso de parte de la estructura con rotura del entrevigado.

Los revestimientos interiores verticales de yeso o cal, presentan notables desprendimientos. Los pavimentos interiores de yeso presentan una degradación y pérdida de masa considerable debido a la entrada de humedad

Los forjados unidireccionales de rollizos de madera presentan ataques de insectos xilófagos como termitas y carcoma, pudrición, deformaciones excesivas i colapso de parte de la estructura con rotura del entrevigado.

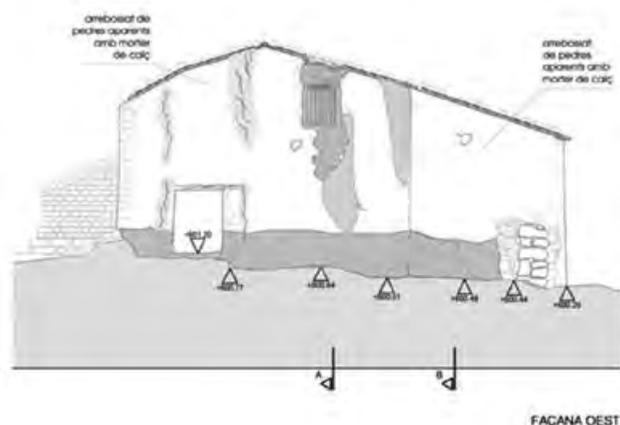


Figura 9: Fachada oeste. Fotografía antes de la intervención y análisis de patologías.

### 3.2 Propuesta de intervención

Con la intervención se pretende devolver el edificio al estado original, utilizando materiales y técnicas tradicionales, manteniendo los elementos originales y reutilizando elementos de la propia obra (tejas, vigas de madera...). Se incorporan nuevos materiales para mejorar sus prestaciones y durabilidad, estudiando posibles afecciones e incompatibilidades con el edificio (láminas transpirables).

Se trabajará mediante fichas por elementos, con una descripción, análisis de patologías, propuesta de intervención, análisis de resultados y propuesta de mantenimiento.

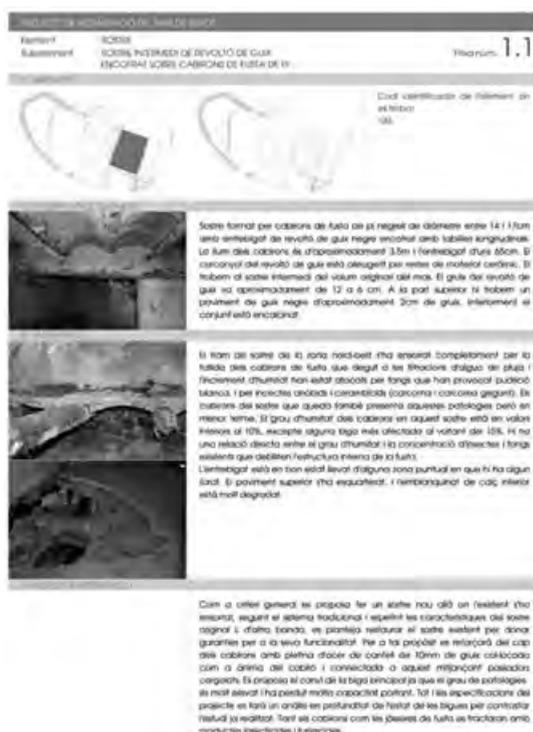


Figura 10: Ficha de trabajo tipo.

## 4. CONCLUSIONES

En las edificaciones tradicionales de Els Ports se utilizan técnicas constructivas basadas en criterios de economía y funcionalidad. Son soluciones sencillas y durables, caracterizadas por el uso de materiales poco elaborados que provienen, dentro de lo posible, de la misma finca o del entorno más cercano. Los conocimientos, costumbres y creencias se transmiten de generación en generación y se consideran de alto valor por la propia cultura.

Los edificios evolucionan en función de las necesidades de cada momento, pensando en el auto abastecimiento, la sostenibilidad y el equilibrio con el paisaje y su integración en el entorno y su biodiversidad, garantizando la el equilibrio y la sustentación de las generaciones futuras.

Esto nos incita a pensar que la aplicación de las técnicas de bioconstrucción y arquitectura tradicional son la garantía de futuro y el legado que debemos transmitir a las generaciones venideras.

## 5. RECONOCIMIENTOS

Oscar Benet Ramos. Redactor del Proyecto de Restauración del Mas de Burot.

Parc Natural dels Ports. Impulsor del proyecto.

Ayuntamiento de Horta de Sant Joan. Promotor del proyecto.

Generalitat de Catalunya, Departament d'Empresa i Coneixement. Cofinancia el proyecto.

Col·legi d'Aparelladors, Arquitectes Tècnics i Enginyers de l'Edificació de les Terres de l'Ebre. Colabora i cede la sala de actos para las jornadas de formación.

Col·legi d'Arquitectes de Catalunya, Demarcació de l'Ebre. Colabora.

Laboratorio de Materiales y Control de Calidad de la Escuela Politécnica Superior de Edificación de Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña. Laboratorio de análisis de morteros.

Vicent Lleonart. Antiguo habitante de la masía.

Salvador Carbó.

Consol Marcó.

Carlos Brull.

Roser Galceran.

Andreu Caralt.

Y todas las empresas y especialistas que participan tanto de la obra, los estudios previos y las jornadas de formación.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### LIBRO

[1] El mas de Burot. Història social i econòmica, Salvador Carbó Sabaté. Projecte de restauració, Consol Marcó Bardella (2016). Publicación interna Parc Natural Els Ports.

### LIBRO

[2] Guia per intervenir en el patrimoni arquitectònic del Parc Natural dels Ports. Manual de bones practiques, Òscar Benet, Ana Àvila (2016). Publicación interna Parc Natural Els Ports.

### LIBRO

[3] Aprendiendo a resturar. Un manual de restauración de la arquitectura tradicional de la Comunidad Valenciana, Fernando Vegas, Camila Mileto (2014). Universidad de Valencia

### LIBRO

[4] Tècniques constructives. Arquitectura tradicional, Proyecto GRETA (2016)

### PÁGINA WEB

[5] Mas de Burot – Arquitectura i vida als Ports. Accedido desde <http://www.masdeburot.cat/es/>.

### BLOG

[6] Mas de Burot – Arquitectura i vida als Ports. <http://www.masdeburot.cat/es/blog/>

**CRITERIOS PARA LA REHABILITACIÓN DE EDIFICIOS DESTINADOS A  
ARCHIVOS MUNICIPALES.  
EL CASO DE LA PROVINCIA DE ALICANTE**

COLLADO LÓPEZ, MARÍA LUISA<sup>1</sup>; SÁEZ PÉREZ, MARÍA PAZ<sup>2</sup>;  
TOLOSA ROBLEDO, LUISA<sup>3</sup>

*<sup>1</sup> Universitat Politècnica de València, Valencia, España*

*E-mail: mcollado@csa.upv.es, Web: <http://www.upv.es/ficha-personal/mcollado>;*

*<sup>2</sup> Universidad de Granada, Granada, España*

*E-mail: mpsaez@ugr.es, Web: [http://directorio.ugr.es/static/PersonalUGR/\\*/show/b0110d8f90752699e5b25241b7c300a2](http://directorio.ugr.es/static/PersonalUGR/*/show/b0110d8f90752699e5b25241b7c300a2);*

*<sup>3</sup> Universitat Politècnica de València, Valencia, España*

*E-mail: ltolosa@upvnet.upv.es, Web: <http://www.upv.es/ficha-personal/ltolosa>.*

**PALABRAS CLAVE:** Rehabilitación, Edificación, Archivo Municipal, Arquitectura.

**RESUMEN**

La intervención en el patrimonio edificado y su adaptación a nuevos usos, supone en la actualidad uno de los mayores retos de la profesión. Su puesta en valor establece como objetivos la protección de estos edificios y una actuación responsable, lo que desde un punto de vista técnico requiere determinar las soluciones constructivas y de diseño en cada caso, así como la adaptación a las nuevas exigencias en materia de eficiencia energética, accesibilidad, etc. Teniendo que destacar que el programa de necesidades y el conocimiento del nuevo uso son claves en el éxito de la actuación.

La presente comunicación, centrada en el estudio de los archivos municipales, pretende proponer unos criterios que sirvan de base en las propuestas de rehabilitación/intervención/adaptación en este tipo de edificios basándose en la investigación llevada a cabo en la

Comunitat Valenciana para el caso concreto de la provincia de Alicante. La metodología seguida se ha desarrollado en tres fases diferenciadas, la primera el estudio y análisis de la normativa de aplicación, la segunda profundizar en el funcionamiento del archivo y su programa de necesidades y la tercera la recogida de información mediante cuestionario y entrevista permitiendo con ello la obtención de datos de índole cualitativa y cuantitativa.

Los resultados permiten establecer unos criterios esenciales para dar respuesta a la forma de trabajar en contextos específicos, distribución de dependencias y asignación de superficies requeridas, además de dar cumplimiento a las condiciones físicas de protección, conservación y mantenimiento del material de archivo. Llegando a la conclusión de que la implicación de los objetivos en una intervención debe ser completa, asumiendo tanto los requisitos normativos y técnicos-constructivos como los derivados de estudios previos sobre el uso específico y sus necesidades. La definición de criterios facilita la consecución de objetivos y garantiza la viabilidad de la intervención.

## 1. INTRODUCCIÓN

Un archivo constituye el reflejo de una memoria estructurada, de una administración organizada, de una inquietud por la custodia de los documentos que recogen la memoria de una sociedad, de una cultura, de una etapa de la historia. Los archivos, por tanto, son administración y son cultura. Nos transmiten las normas, procedimientos y forma de trabajar de las organizaciones, tanto públicas como privadas; pero también constituyen el patrimonio documental de un territorio. Se puede decir también que el archivo es un ente vivo, tiene un pasado lleno de trabajo en la medida que las organizaciones producen documentos, tiene un presente en permanente cambio debido a las modificaciones que se suceden y tiene un futuro, a veces incierto, con motivo de la dinámica social y el avance de la tecnología.

Trasladando estas ideas al ámbito de la edificación se puede dejar un testimonio añadido de nuestra memoria, un documento que, mediante la representación del proyecto arquitectónico, ofrezca a través de los años una información precisa del contenedor de la documentación. [1] pone de manifiesto la necesidad de un diálogo interdisciplinario entre documento y arquitectura para reconducir la construcción del archivo hasta sus motivaciones originarias y así comprender las leyes que definieron sus exigencias.

En la antigüedad no era fácil distinguir el archivo de la biblioteca y se trataba de igual forma desde el punto de vista de la custodia de la documentación, de forma que se mostraban sus edificios como una imagen de misterio, con espacios laberínticos y tenebrosos. No obstante, que la biblioteca y el archivo son instituciones diferentes lo indica [2] cuando apunta que el archivo nace involuntariamente derivado de la producción de documentos de una actividad y para fines prácticos, jurídicos o administrativos. Y por tanto no debe haber confusión entre biblioteca y archivo como no la hay entre material bibliográfico y material archivístico.

Sin embargo, el impulso que ha vivido en España la difusión de la cultura a partir de los pasados años 80, se ha trasladado al ámbito de los archivos. En este sentido, [3] habla de la importancia de establecer canales de comunicación entre el archivo y el público en general y facilitar el acceso a la documentación a cualquier ciudadano como parte del servicio que debe prestar un archivo. Es más, lo plantea como la base de la existencia de los archivos históricos. También hace referencia a la difusión como una de las últimas tareas incorporadas a las funciones del archivo, donde convergen actividades del ámbito de la cultura y la educación.

Tomando como base este planteamiento, se trata a continuación la investigación llevada a cabo para constatar el estado en el que ha quedado la rehabilitación de una serie de edificios de la provincia de Alicante que han visto modificada su uso para pasar a albergar la sede del Archivo Histórico Municipal.

## 2. METODOLOGÍA

La metodología llevada a cabo se desarrolla en distintas fases, realizando en primer lugar la selección de edificios objeto de estudio, a continuación la búsqueda documental y, finalmente el trabajo de campo. La información aportada en la búsqueda documental, así como la elaboración de cuestionarios a los responsables de las organizaciones implicadas y la toma de datos in situ, fue determinante para la obtención de la información necesaria para la consecución de los objetivos propuestos.

La selección de los inmuebles se determinó teniendo en cuenta las siguientes premisas:

- No existe estudio previo realizado con el objeto de la investigación.
- El edificio es la rehabilitación de un inmueble con un uso anterior distinto del actual.
- El entrevistado es una persona conocedora del funcionamiento del archivo, es el responsable o realiza su función en el edificio y está dispuesto a facilitar información sobre el mismo.

En el trabajo de campo, se elabora y remite un cuestionario a las instituciones de archivo, donde se recogen los siguientes datos:

- Tipo de edificio y ubicación, conforme a una clasificación preestablecida, según [4].
- Dependencias disponibles, conforme a las recomendaciones establecidas por [5].
- Condiciones del depósito, en cuanto a superficie, ubicación y equipamiento.
- Satisfacción con el edificio, a través de una serie de preguntas basadas en la escala Likert<sup>1</sup>.

Finalmente se realiza el análisis de toda la información con la que poder establecer unos criterios de uso y distribución acordes al tipo de edificio y su funcionalidad.

## 3. LOS ARCHIVOS MUNICIPALES DE LA PROVINCIA DE ALICANTE. EJEMPLOS DE ESTUDIO

La Ley 3/2005 [6], establece en su artículo 36 que las “Entidades locales obligadas a tener servicio de archivo son las diputaciones provinciales y los ayuntamientos de municipios de más de diez mil habitantes y que dicho servicio de archivo deberá estar dotado de personal archivero con la titulación correspondiente y de instalaciones adecuadas para conservar los documentos.”

Tomando como base este requisito, se fijó la muestra a partir de los datos publicados por el INE sobre municipios en 2012. De estos datos, se extrae que la provincia de Alicante está

---

<sup>1</sup> Escala psicométrica desarrollada por el psicólogo Rensis Likert en 1932, que se emplea en la investigación de mercados para la comprensión de las opiniones y actitudes de un usuario, midiendo el grado de conformidad hacia un producto.

compuesta por 141 municipios, de los que 39 tienen un censo de más de 10 000 habitantes, siendo los 102 restantes, municipios con menos de 10 000 habitantes. De los primeros, 27 de ellos están dotados con los recursos necesarios para el servicio de archivo que establece la Ley 3/2005 y representan el 69,23% de los que están obligados según dicha ley (Tabla 1).

Tabla 1: Distribución de municipios con archivero en Alicante.

Municipios de la Provincia de Alicante 141	
Municipios con personal archivero 34	
Municipios >10 000 hab	Municipios <10 000 hab
39 (27,66%)	102 (72,34%)
Con personal archivero 27 (69,23%)	Con personal archivero 7

Como ejemplo de la investigación realizada, se han seleccionado tres edificios de archivos municipales, representativos de la provincia de Alicante como rehabilitación de edificios del patrimonio arquitectónico, situados en Alcoi, Ibi y Sax.

### 3.1 Archivo Municipal de Alcoi

Rehabilitación de la antigua sede del Banco de España en Alcoy construida en 1927 con los arquitectos José de Astiz y Luis Menéndez-Pidal, de carácter neomonumentalista, [7], grandes columnas y frontones decorados. El edificio fue cedido gratuitamente al Ayuntamiento para ubicar conjuntamente la Biblioteca y el Archivo Municipal.

Obra innovadora de la década de los 80 en la que transcurridos los años no se ha realizado ninguna intervención, por lo que se observan algunas barreras en cuanto a accesibilidad. A partir de 1983 se ubica el Archivo Municipal en la sede actual. La entrada al edificio “Figura 1.1”, da paso a un espacio que conserva el carácter del patio central de las operaciones bancarias y se adapta a su nueva configuración como sala de la biblioteca. En ella se aprecia el tragaluz de la antigua oficina bancaria, “Figura 1.2”, hoy conservado con luz artificial ya que alberga en las plantas superiores el teatro de la casa de cultura, donde anteriormente existían viviendas de los empleados del banco.

La sala de la biblioteca hace la función de sala de investigadores del archivo “Figura 1.3”. El depósito está ubicado en el sótano, en donde estuvieron en su día las cámaras acorazadas del banco “Figura 1.4”. No dispone de medidas de protección de documentos, extinción específica de incendios ni ventilación. No existe señalización ni salidas de emergencia.



Figura 1: Archivo municipal de Alcoi. Casa de Cultura, Biblioteca Central y Archivo Municipal.

### 3.2. Archivo Municipal de Ibi

Edificio rehabilitado exento, ubicado en el centro histórico del municipio, abierto al público desde 1998. El edificio en su origen, el siglo XV, fue la sede del Ayuntamiento, “Figura 2.1”, y al trasladarse éste a un nuevo edificio, se proyectó su rehabilitación, para otorgarle uso de museo. Posteriormente el Ayuntamiento decide habilitarlo como Archivo Histórico Municipal, lo que supuso un nuevo proyecto de rehabilitación, en 1991.

El edificio consta de sótano, planta baja y dos plantas en altura. En la planta baja se encuentra la antigua lonja del ayuntamiento donde estaba el acceso principal y hoy utilizada como sala de exposiciones, “Figura 2.2” y si es preciso, también como lugar de acceso de los documentos; la dependencia que constituyó el calabozo en otra época, también ha sido habilitada como espacio de exposiciones; el acceso al público por la fachada lateral y uno de los tres depósitos que tiene el edificio, con igual superficie y distribución en cada planta.

Las salas de depósito están equipadas solo con estantería fija “Figura 2.3” porque estructuralmente no se realizó la restauración para soportar las sobrecargas de uso de estanterías móviles. Solo existe instalación de protección y conservación de los documentos mediante ventilación natural y acondicionador portátil de aire.

En la planta primera se encuentra el área pública, con el salón de actos “Figura 2.4” donde estuvo la sala de plenos del ayuntamiento, una sala destinada a exposiciones y la segunda de las dependencias destinada a depósito.

En la planta segunda se encuentra la sala de consulta, “Figura 2.5”, los despachos del personal, y la tercera sala de depósito. En el sótano una pequeña dependencia, como espacio arqueológico donde se guardan restos donados al archivo.



2.1. Fachada principal del edificio. Acceso cuando estaba destinado a ayuntamiento.



2.2. Antigua lonja en antiguo acceso principal del ayuntamiento. Espacio habilitado actualmente como sala de exposiciones. Planta baja.



2.3. Sala de Depósito equipada con estantería fija.



2.4. Salón de actos, antes sala del Cabildo. Planta primera.



2.5. Sala de consulta. Planta segunda.



2.6. Escalera de acceso a plantas altas.

Figura 2: Archivo municipal de Ibi.

### 3.3 Archivo Municipal de Sax

El Archivo Municipal de Sax se encuentra ubicado en un edificio exento rehabilitado que corresponde a la casa natal de Alberto Sols, científico del municipio, premio Príncipe de Asturias de investigación en 1981. La vivienda data del primer tercio del siglo XIX, “Figura 3.1 y 3.2.” fue adquirida por el ayuntamiento y en 2007, tras la rehabilitación realizada a cargo del arquitecto Mariano Cuevas Calatayud, fue inaugurada como Centro de Estudios y Archivo Histórico Municipal. La obra obtuvo la distinción “Juan Vidal” de premios de arquitectura que otorga la Diputación de Alicante.

El edificio consta de planta baja y dos plantas en altura. El desnivel de la calle posterior permite un acceso a semisótano donde se encuentra el depósito del archivo. El depósito ocupa una estancia, que combina estanterías fijas y móviles y no dispone de medidas complementarias de protección de los documentos, extinción específica de incendios ni ventilación. “Figura 3.3”.

En la planta baja junto al punto de recepción e información “Figura 3.4” hay una dependencia del trabajo y se ha acondicionado una estancia que recrea, en memoria de Alberto Sols, el despacho donde trabajaba “Figura 3.5”. Desde este hall se accede al patio posterior, y mediante una escalera que conserva la tipología original de construcción se accede a las plantas altas “Figura 3.6”.



3.1. Fachada principal y acceso.



3.2. Fachada posterior y acceso a patio.



3.3. Depósito. Estanterías fijas en sótano.



3.4. Punto de información y acceso a patio posterior.



3.5. Recreación del despacho de Alberto Sols.



3.6. Distribuidor en planta primera. Despachos y sala de consulta.

Figura 3: Archivo municipal de Sax.

En la planta primera se encuentra un despacho para el archivero, una sala de trabajo,

actualmente empleada para otras funciones y la sala de consulta. La planta segunda alberga un espacio para sala de exposiciones, actualmente en desuso.

### 4. RESULTADOS

Para realizar el análisis se parte del programa de necesidades para los edificios de archivos según “Figura 4” basada en las recomendaciones de [5]. La distribución de los espacios se plantea a partir de la superficie destinada al depósito, dependencia principal del archivo. El resto del edificio se organiza en tres áreas: área reservada, área privada y área pública, distribuidas con un porcentaje de ocupación según “Tabla 2”.

Tabla 2: Distribución recomendada de la superficie construida en edificios de archivo. [4]

Áreas	% de superficie construida
Depósito	60
Área Reservada	15
Área Privada	10
Área Pública	15

Seguidamente, se recoge en la “Tabla 3” el resumen de las dependencias que según Simonet [4] deben considerarse en la distribución de los edificios de archivos. Cabe indicar que, estas recomendaciones son claramente adecuadas en el caso de edificios de Archivos Históricos Provinciales o Regionales, normalmente de una superficie muy superior a la que se ha observado en el caso de Archivos Municipales. Es, por tanto, la primera reflexión que se puede hacer de la situación: la ausencia de directrices para el acondicionamiento de locales o dependencias en los municipios, para albergar el Archivo Municipal.

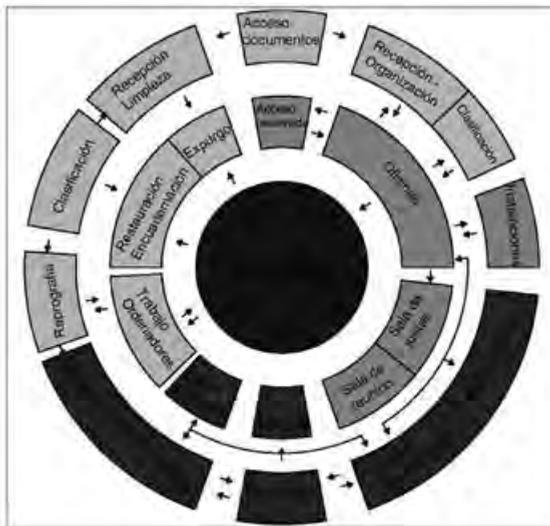


Figura 4. .Distribución funcional de las dependencias de archivos.

Tabla 3: Distribución de las dependencias en edificio de archivo. [5]

RECOMENDACIONES	Sup.	Alcoi	Ibi	Sax
Dependencias	m2			
<b>Área reservada</b>				
Recepción de documentación	25	no	parcial	no
Limpieza, desinsectación	25	no	no	no
Organización	50	parcial	si	parcial
Restauración	150	no	no	no
Encuadernación	50	no	no	no
Reprografía	100	no	no	no
Trabajo	25	compartido	si	no
Ordenadores	15	no	no	no
Eliminables	10	no	no	no
<b>Área privada</b>				
Oficinas	150	si	si	si
Sala de juntas	25	no		
Salas de reunión	25	compartido	si	si
Instalaciones	50			
<b>Área pública</b>				
Recepción	25	si	si	si
Consulta	200	si	si	si
Control	25	si	si	si
Salón de actos	150	Compartido	si	Si
Sala de exposiciones	50	Compartido	si	si
Sala de descanso	25	Compartido	si	si

La “Tabla 3” indica para cada caso estudiado, si el edificio dispone o no de la dependencia indicada. El caso “compartido”, al tratarse de un inmueble destinado a Casa de Cultura, Biblioteca y Archivo Municipal, significa que se utiliza para las distintas organizaciones.

## 5. CONCLUSIONES

De la recopilación de la información acerca de las intervenciones en estos edificios se observa que:

Los edificios que albergan Archivos Históricos Municipales en la provincia de Alicante están dotados de los recursos necesarios para el servicio de Archivo en un 69,23% de los casos obligados por la Ley de Archivos [6]

Los edificios objeto de esta comunicación no disponen de instalación específica de protección de los documentos para control de temperatura y humedad ni para extinción de incendio por medio de gases. Sería conveniente la dotación de equipamiento adecuado en las dependencias de depósito.

Las condiciones físicas y exigencias funcionales no se resuelven de forma favorable. El espacio destinado al área reservada, donde se llevan a cabo las operaciones propias de la labor de archivo, como son recepción de la documentación, limpieza, desinsectación, desinfección, organización y clasificación se considera insuficiente. De hecho, no existe una entrada específica para la recepción de documentos.

La apuesta por un edificio para Archivo Histórico Municipal o en su defecto unas dependencias adecuadas son, en la mayoría de los casos, decisiones políticas por parte de la corporación local. En el caso de la provincia de Alicante, la Diputación Provincial juega un papel muy importante a través de un Plan de Ayuda entre la Diputación y los Archivos Municipales, que ha permitido la actualización y remodelación del archivo en numerosos municipios.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] IBÁÑEZ MONTOYA, J. (2008). *Los archivos. Cómo construirlos*. Gijón. Asturias: Trea.
- [2] LODOLINI, E. (1993). *Archivística. Principios y problemas*. ANABAD. Colección manuales. Trad. De Costa Paretas, M. Madrid: La Muralla. <<http://es.slideshare.net/rapperfirstclass/libro-archivistica-principios-y-problemas-elio-lodolini>> [consulta: julio 2015].
- [3] LÓPEZ, GÓMEZ, P. (1998). “La Archivística española en la actualidad: su evolución entre 1975 y 1995” en *Historia de los archivos y de la archivística en España*. Universidad de Valladolid.
- [4] COLLADO LÓPEZ, M.L. (2015) *La Construcción de Edificios para Archivos. Análisis y evaluación de la edificación de Archivos Históricos*. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de València
- [5] SIMONET BARRIO, J. E. (1998). *Recomendaciones para la edificación de archivos*. Subdirección General de Archivos Estatales. Madrid.: Centro de publicaciones. Secretaría General Técnica.
- [6] ESPAÑA. Ley 3/2005 de 15 de junio de la Generalitat, de Archivos. Comunitat Valenciana. DOGV nº 5029 de 16 de junio de 2005.
- [7] VALERA BOTELLA, S. (2011). “La arquitectura de los contenedores para archivos” en *Canelobre. El cuidado de la memoria. Archivos de la provincia de Alicante*. Instituto Alicantino de Cultura. Diputación de alicante. 58:83-96.

## EL AJUSTE RAZONABLE: DE LA ACCESIBILIDAD DE CONCEPCIÓN A LA ACCESIBILIDAD DE CORRECCIÓN

MARTÍNEZ CARRILLO, MANUEL JAVIER<sup>1</sup>; GARCÍA GARCÍA, MARÍA PAZ<sup>2</sup>;  
ESPINOLA JIMENEZ, ANTONIO<sup>3</sup>; DEL PINO LERUITE, JUAN CARLOS<sup>4</sup>;  
ENTRENA NÚÑEZ, ELISA<sup>5</sup>; MORENO MEDINILLA, FABIOLA<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Universidad de Granada / Junta de Andalucía, Granada, España

E-mail: manueljmartinez@ugr.es, Web: www.ugr.es

<sup>2</sup> Profesional libre, Granada, España

E-mail: mariapaz@coaatgr.es, Web: www.coaatgr.es

<sup>3</sup> Investigador UGR, Granada, España

E-mail: antonioespinolajimenez@gmail.com, Web: www.ugr.es

<sup>4</sup> Ayuntamiento de Granada, Granada, España

E-mail: jcarlosdp@yahoo.es, Web: www.coaatgr.es

<sup>5</sup> Ayuntamiento de Granada, Granada, España

E-mail: entrenaelisa@gmail.com, Web: www.coaatgr.es

<sup>6</sup> Profesional libre, Granada, España

E-mail: fmedinilla@hotmail.com, Web: www.coaatgr.es

**PALABRAS CLAVE:** Personas con discapacidad, Accesibilidad, Ajustes razonables, Edificios existentes.

### RESUMEN

A pesar de la normativa vigente sobre accesibilidad, es un hecho que no siempre se producen entornos accesibles facilitadores del ejercicio regular de los derechos de las personas con discapacidad. La consecución de la accesibilidad universal, es un objetivo costoso y a largo plazo, especialmente si no se parte de la fase conceptual (accesibilidad de concepción), habitualmente se parte de entornos preexistentes no accesibles que es necesario

adaptar (accesibilidad de corrección).

El objetivo al proyectar un edificio nuevo, al igual que cuando se interviene en la edificación existente, debe ser alcanzar las exigencias de las condiciones básicas de accesibilidad y no discriminación a las personas con discapacidad para satisfacer los requisitos básicos de accesibilidad establecidos en el Documento Básico de Utilización y Accesibilidad (DB-SUA), constituyendo en sí, una labor de accesibilidad de concepción.

Sin embargo a diferencia de la obra nueva, en la edificación existente concebida con necesidades distintas de las actuales, existen dificultades de intervención, que en muchos casos sólo pueden resolverse dotando al marco reglamentario de accesibilidad con criterios de no empeoramiento, de proporcionalidad y sobre todo de cierta flexibilidad, como los recogidos en el Documento de Apoyo al DB-SUA de adecuación efectiva de las condiciones de accesibilidad, en este caso de corrección.

El objetivo general de esta comunicación es analizar la evolución del concepto de “Ajustes razonables” y poder determinar “Qué es razonable hacer” en materia de accesibilidad para facilitar, en el mayor grado posible, el acceso y la utilización del edificio por la mayor diversidad posible de situaciones personales. Sin olvidar que, los incumplimientos de las exigencias de las condiciones básicas de accesibilidad y de realizar ajustes razonables constituyen una vulneración del derecho a la igualdad de oportunidades de las personas con discapacidad, a la vez que tales exigencias y ajustes son considerados medidas efectivas contra la discriminación.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las personas con discapacidad constituyen un sector de población heterogéneo, pero todas tienen en común que, en mayor o menor medida, precisan de una protección singularizada en el ejercicio de sus derechos y libertades básicas, debido a las necesidades específicas derivadas de su situación de discapacidad y la persistencia de barreras tanto físicas como sociales, que evitan su participación plena y efectiva en la sociedad en igualdad de condiciones con las demás personas. El Texto Refundido de la Ley General de Derechos de las Personas con Discapacidad y de su Inclusión Social (LGDSPDIS), aprobado por Real Decreto Legislativo 1/2013, de 29 de noviembre, establece que *“las personas con discapacidad tienen derecho a vivir de forma independiente y a participar plenamente en todos los aspectos de la vida.”*

La discapacidad sin duda, forma parte de la condición humana pues casi todas las personas sufrimos algún tipo de discapacidad transitoria o permanente en algún momento de nuestra vida, ya sea por cuestiones accidentales como por el propio envejecimiento natural. Además hay que considerar que, de facto, en el mundo más de mil millones de personas, el 15% de la población mundial<sup>1</sup>, viven con algún tipo de discapacidad reconocida y las cifras van al alza, debido al progresivo envejecimiento de la población. La Encuesta de Discapacidad, Autonomía personal y situaciones de Dependencia<sup>2</sup> (EDAD) del Instituto Nacional de Estadística (INE) del año 2008, refleja que el número total de personas residentes en hogares españoles que declaran tener alguna discapacidad supone un 8,5% de la población. Por

<sup>1</sup> Informe Mundial sobre discapacidad.2011. OMS. Disponible en [http://www.who.int/disabilities/world\\_report/2011/es/](http://www.who.int/disabilities/world_report/2011/es/)

<sup>2</sup> Disponible en [http://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica\\_C&cid=1254736176782&-menu=resultados&secc=1254736194716&idp=1254735573175](http://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176782&-menu=resultados&secc=1254736194716&idp=1254735573175)

otro lado, la Encuesta de Integración Social y Salud<sup>3</sup> (2012) del INE, refleja que el 16,7% de la población mayor de 15 años manifiesta algún grado de limitación en la participación social debido a su condición de salud, considerándose, según la Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud (CIF), personas con discapacidad<sup>4</sup>.

Tradicionalmente, la discapacidad se ha considerado como una condición médica o biológica atribuida a una disfunción individual particular que necesitaba corregirse con un tratamiento o una rehabilitación. Hoy en día, se tienen en cuenta los aspectos sociales de la discapacidad, siendo posible plantear la cuestión de cómo las sociedades crean obstáculos para las personas con discapacidad y de cómo pueden eliminarse estas barreras. En este contexto, la Convención Internacional sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad<sup>5</sup> y su Protocolo Facultativo, reconoce que la discapacidad entra en el ámbito de los derechos humanos y la define como una dimensión social, más que como una cualidad inherente al individuo. Haciendo hincapié en la eliminación de las barreras, tanto si son arquitectónicas, jurídicas u organizativas, como si se trata de simples prejuicios y hostilidad. En este sentido la mencionada LGDPDIS, en su art. 1 punto a) entiende por discapacidad *“la situación que resulta de la interacción entre las personas con deficiencias previsiblemente permanentes y cualquier tipo de barreras que limiten o impidan su participación plena y efectiva en la sociedad, en igualdad de condiciones con las demás”*.

## 2. ACCESIBILIDAD

La accesibilidad en el ámbito técnico y social es la posibilidad de las personas de gozar de las adecuadas situaciones de autonomía como condición primordial para el desarrollo de las actividades de la vida diaria, sin restricciones derivadas de la inadecuación del medio físico para su integración social y equiparación de oportunidades en el entorno urbano, el arquitectónico, el transporte, las comunicaciones y la información. En este sentido, el concepto de accesibilidad incluye el conjunto de actitudes, situaciones y procedimientos en donde se incluye el medio físico. Sin duda, la sociedad a la que pertenecen los individuos con alguna funcionalidad reducida debe ser la que responsablemente y razonablemente, ofrezca las soluciones en esta materia.

El reto de la accesibilidad es uno de los primeros en ser afrontado por técnicos y proyectistas de edificios. Prueba de ello fue la celebración del Congreso Internacional para la Supresión de Barreras Arquitectónicas, celebrado en el año 1963 en Suiza. Este congreso sirvió como premisa para tomar conciencia sobre la existencia del concepto “accesibilidad”, que adquiriría un peso específico como objetivo prioritario hacia la plena integración de este sector de población. En este sentido la LGDPDIS, en su art..2 apartado k) entiende por accesibilidad universal *“la condición que deben cumplir los entornos, procesos, bienes, productos y servicios, así como los objetos o instrumentos, herramientas y dispositivos, para ser comprensibles, utilizables y practicables por todas las personas en condiciones de seguridad y comodidad y de la forma más autónoma y natural posible. Presupone la estrategia de «diseño para todos» y se entiende sin perjuicio de los ajustes razonables que deban adoptarse”*.

<sup>3</sup> Disponible en [http://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica\\_C&cid=1254736176987&menu=resultados&idp=1254735573175](http://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176987&menu=resultados&idp=1254735573175)

<sup>4</sup> La Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud (CIF) de la Organización Mundial de la Salud (OMS) 2001, entiende la discapacidad como la situación resultante de la interacción entre la condición de salud y los factores contextuales que restringe la participación de la persona.

<sup>5</sup> ONU. Aprobados por la Asamblea General. 76ª sesión plenaria. Nueva York, 13 de diciembre de 2006.

El concepto de accesibilidad hace referencia al objetivo de lograr la plena integración de las personas con discapacidad, habiendo evolucionado sustancialmente por la propia evolución del concepto de integración de las personas con discapacidad, y los intentos de superación de la visión de la discapacidad desde una perspectiva de protección segregada “modelo médico” hacia una idea de inclusión y no discriminación “igualdad de oportunidades”. Así, la toma de conciencia colectiva de la implicación que la accesibilidad tiene con la calidad de vida de todas las personas hace que hoy se conciba la accesibilidad bajo el enfoque de que cualquier persona debe poder disponer y utilizar los entornos, servicios o productos, tanto físicos como virtuales, de forma presencial o no presencial, en igualdad de condiciones que los demás.

### 3. EVOLUCIÓN DEL CONCEPTO DE ACCESIBILIDAD EN LA NORMATIVA ESPAÑOLA

La normativa española al igual que la visión de la discapacidad, ha ido evolucionando y cambiando en función del concepto que se tenía de ella. Las leyes de accesibilidad encuentran su fundamento dentro del marco normativo de la Constitución Española de 1978, concretamente en sus artículos 9, 10, 14 y 49 que establecen la obligación con respecto a los poderes públicos de fomentar la igualdad y el desarrollo individual de la persona dentro de la esfera política, económica y social. A propósito de este mandato constitucional se promulgó la Ley 13/1982, de 7 de abril, de Integración Social de los Minusválidos (LISMI), siendo la primera ley aprobada en España dirigida a regular la atención y los apoyos a las personas con discapacidad y sus familias. Estableciendo que, las administraciones públicas, en el ámbito de sus competencias, aprobarían las normas urbanísticas y arquitectónicas básicas que contuvieran las condiciones a las que habían de ajustarse los proyectos, el catálogo de edificios en los que serían de aplicación y el procedimiento de autorización, control y sanción a fin de que resultaran accesibles.

A partir de estos años empieza en España un proceso legislativo más específico sobre la materia. En este sentido y mediante el Real Decreto 556/1989, de 19 de mayo, por el que se arbitran medidas mínimas sobre accesibilidad en los edificios, se establecían de forma genérica exigencias dimensionales mínimas, que, afectando a la accesibilidad y desplazamientos en los edificios, tendrían carácter supletorio de las disposiciones que correspondiera dictar a las comunidades autónomas en ejercicio de sus competencias.

La aún vigente Ley 15/1995, de 30 de mayo, sobre límites del dominio sobre inmuebles para eliminar barreras arquitectónicas a las personas con discapacidad, establece en su art. 1 que *“las obras de adecuación de fincas urbanas ocupadas por personas minusválidas que impliquen reformas en su interior, si están destinadas a usos distintos del de la vivienda, o modificación de elementos comunes del edificio que sirvan de paso necesario entre la finca urbana y la vía pública, tales como escaleras, ascensores, pasillos, portales o cualquier otro elemento arquitectónico, o las necesarias para la instalación de dispositivos electrónicos que favorezcan su comunicación con el exterior, se realizarán de acuerdo con lo prevenido en la presente Ley”*. Disponiendo en su art. 7 que *“los gastos que originen las obras de adecuación de la finca urbana o de sus elementos comunes correrán a cargo del solicitante de las mismas, sin perjuicio de las ayudas, exenciones o subvenciones que pueda obtener, de conformidad con la legislación vigente. Las obras de adecuación realizadas quedarán en beneficio de la propiedad de la finca urbana”*. Es interesante destacar el hecho de que

los costes económicos de adaptación del edificio correrían a cargo del solicitante-afectado, sin participar en su adecuación el resto de propietarios, cuando evidentemente también se verían beneficiados en su utilización y disfrute.

En virtud del artículo 148 de la Constitución Española de 1978, que establece el catálogo de competencias a asumir por las diferentes comunidades autónomas (CC.AA.), éstas y ante la escasez de desarrollo reglamentario por parte del Estado, de las condiciones básicas de accesibilidad en el urbanismo y en la edificación, han ido cumpliendo y desarrollando la obligación anteriormente citada desde 1988 a 2010. De esta manera, se van promulgando leyes de accesibilidad, seguidas en pocos años, de sus respectivos reglamentos de desarrollo, dando lugar a la proliferación de una prolija normativa en muchos casos en contradicción de una comunidad a otra. Por otro lado, no podemos olvidar el papel que desempeñan las Corporaciones Locales en este ámbito, en base a la Ley 7/1985, de 2 de abril, de Bases del Régimen Local, que les atribuye competencias, según lo dispuesto por la legislación estatal y autonómica, entre otras en accesibilidad, contando con las Ordenanzas municipales sobre accesibilidad para la promoción de la accesibilidad y supresión de las barreras en nuestras ciudades.

En 2003, con ocasión del Año Europeo de las Personas con Discapacidad, se produce un hecho de gran trascendencia en el ordenamiento jurídico de la accesibilidad en España, se promulga la Ley 51/2003, de 2 de diciembre, de Igualdad de Oportunidades, No Discriminación y Accesibilidad Universal de las personas con discapacidad (LIONDAU) determinando en su art. 1 que *“son personas con discapacidad aquellas que presenten deficiencias físicas, mentales, intelectuales o sensoriales a largo plazo que, al interactuar con diversas barreras puedan impedir su participación plena y efectiva en la sociedad, en igualdad de condiciones que las demás”*. Esta ley se inspiraba en los principios de vida independiente, normalización, accesibilidad universal, diseño para todos, diálogo civil y transversalidad de las políticas en materia de discapacidad, aportando en su art. 2 y por primera vez en el ordenamiento jurídico español, los principios de accesibilidad universal y diseño para todos. Estos dos principios están entrelazados y uno presupone el otro. En este sentido se recogía en el mencionado art. 2, que la accesibilidad universal es la *“condición que deben cumplir los entornos, procesos, bienes, productos y servicios, así como los objetos o instrumentos, herramientas y dispositivos, para ser comprensibles, utilizables y practicables por todas las personas en condiciones de seguridad y comodidad y de la forma más autónoma y natural posible. Presupone la estrategia de «diseño para todos» y se entiende sin perjuicio de los ajustes razonables que deban adoptarse”*.

Pero este concepto de accesibilidad universal introducido por la LIONDAU no partía de la simple eliminación de barreras, como contemplaba la LISMI, es conceptualmente más abierto y afecta incluso a personas sin discapacidad, estando intrínsecamente relacionado con el otro principio inspirador de la ley: el diseño para todos. La accesibilidad universal y el diseño para todos, a pesar de las reticencias de los ajustes razonables (primera vez que se utiliza el término en el ordenamiento jurídico español, pero sin definir, ni determinar su alcance) son dos conceptos nuevos en el ámbito normativo.

La LIONDAU introdujo en nuestro ordenamiento el enfoque de la accesibilidad como cuestión de derechos y de la accesibilidad como universal, frente al ya visto de la eliminación de barreras, y reapropia al Estado de atribuciones para regular unas condiciones básicas de igualdad y no discriminación, de obligado cumplimiento en todo el territorio nacional. Por ello, esta norma reguló las mencionadas condiciones básicas a fin de unificar

términos y parámetros, y de establecer medidas de acción positiva que favorecieran el uso normalizado del entorno construido y de los espacios urbanos. Lo hizo de manera genérica, utilizando conceptos jurídicos indeterminados que justificaban la necesidad de elaborar un Documento Técnico de la Accesibilidad en este ámbito, que descendiera a un plano eminentemente práctico. Finalmente, la aprobación de tal documento técnico tuvo lugar mediante la Orden VIV/561/2010, de 1 de febrero, por la que se desarrollaba el documento técnico de condiciones básicas de accesibilidad y no discriminación para el acceso y utilización de los espacios públicos urbanizados. De igual modo, y en cumplimiento de la Disposición final tercera del RD 505/2007, de 20 de abril, que obligaba a incorporar las condiciones básicas de accesibilidad y no discriminación para el acceso y utilización de los edificios que preveía el Código Técnico de la Edificación, se aprobó el Real Decreto 173/2010, de 19 de febrero, por el que se modificó el Código Técnico de la Edificación, en materia de accesibilidad y no discriminación de las personas con discapacidad, aprobando el Documento Básico Seguridad de Utilización y Accesibilidad. Esto supuso sin duda, todo un gran avance pues la omisión de la accesibilidad ha sido una constante en la normativa básica estatal tanto urbanística como técnica. Por último, la propia Ley 51/2003, de 2 de diciembre, preveía el establecimiento de un régimen de infracciones y sanciones que se hizo realidad con la aprobación de la Ley 49/2007, de 26 de diciembre, por la que se establecía el régimen de infracciones y sanciones en materia de igualdad de oportunidades, no discriminación y accesibilidad universal de las personas con discapacidad.

Llegado este momento, es imprescindible hacer referencia a la Convención Internacional sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad, y su Protocolo Facultativo ratificada por España el 3 de diciembre de 2007 y que entró en vigor el 3 de mayo de 2008. Ésta supuso la consagración del enfoque de derechos de las personas con discapacidad, considerando a las personas con discapacidad como sujetos titulares de derechos y los poderes públicos están obligados a garantizar que el ejercicio de esos derechos sea pleno y efectivo. La adaptación de la normativa española a la Convención Internacional sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad, se realizó a través de la Ley 26/2011, de 1 de agosto. La labor de refundición, regularizando, aclarando y armonizando las tres leyes referenciadas anteriormente, LISMI, LIONDAU y la Ley 49/2007 se consagra con la publicación del Real Decreto Legislativo 1/2013, de 29 de noviembre, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley General de Derechos de las Personas con Discapacidad y de su Inclusión Social.

#### **4. REGULACIÓN DEL CONCEPTO DE AJUSTES RAZONABLES**

El ejercicio efectivo de los derechos de las personas con discapacidad se haya condicionado por el grado de accesibilidad de los entornos. En función de si un entorno reúne o no condiciones de accesibilidad, un mismo derecho reconocido legalmente, podrá ejercitarse o no por una persona, dependiendo de si ésta presenta o no una discapacidad.

A pesar de la normativa de accesibilidad universal y del diseño para todas las personas, es un hecho evidente que no siempre se consiguen en todo momento y situación, entornos accesibles ya que en su concepción no se aplicaron criterios básicos de accesibilidad (accesibilidad de concepción). La consecución de la accesibilidad universal es un objetivo muchas veces arduo, costoso y en todo caso a largo plazo (no podemos olvidar que se parte de entornos preexistentes no accesibles que para ser transformados, si son aptos para ello, requieren de tiempos dilatados), ya que el diseño para todas las personas no termina de

satisfacer todas las necesidades de todas las personas con discapacidad, pues la casuística es innumerable y no todo puede ser previsto y solventado de antemano sobre la base del diseño.

Para estas situaciones en las que los dispositivos de accesibilidad universal y diseño para todas las personas, de alguna manera no logran su objetivo, entran a operar con coherencia, los ajustes razonables (accesibilidad de corrección). La regulación de las condiciones de no discriminación y de accesibilidad universal ha de abarcar el máximo número de ámbitos y la mayor diversidad posible de situaciones personales.

La Convención Internacional sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad, como se ha comentado anteriormente, consagra los derechos de las personas con discapacidad en el Derecho internacional. Este Tratado internacional establece como instrumentos para hacer efectivos los derechos de las personas con discapacidad, entre otros, la accesibilidad universal, el diseño universal y los ajustes razonables. La definición de ajustes razonables que ofrece la Convención, viene recogida en el art. 2 del Tratado, determinando que *“por «ajustes razonables» se entenderán las modificaciones y adaptaciones necesarias y adecuadas que no impongan una carga desproporcionada o indebida, cuando se requieran en un caso particular; para garantizar a las personas con discapacidad el goce o ejercicio, en igualdad de condiciones con las demás, de todos los derechos humanos y libertades fundamentales”*. Por tanto, los ajustes razonables son adaptaciones que deben aplicarse con coherencia en un caso particular para alcanzar la igualdad de oportunidades, cuando no sea posible satisfacer las necesidades específicas de una persona a través del diseño para todos, marcando un criterio de corrección frente al de concepción.

La finalidad de los ajustes razonables será pues, la de garantizar a las personas con discapacidad el goce o ejercicio, en igualdad de condiciones con los demás, de los derechos humanos y las libertades fundamentales. En este sentido, la obligación de efectuar ajustes razonables, según el art. 5 de la Convención forma parte integrante de la igualdad y no discriminación de las personas con discapacidad.

En la legislación española sobre derechos de las personas con discapacidad, los ajustes razonables, con carácter genérico, para todos los ámbitos, más allá del empleo y la ocupación, fueron establecidos mediante la LIONDAU al definirlos en su art.7 como *“las medidas de adecuación del ambiente físico, social y actitudinal a las necesidades específicas de las personas con discapacidad que, de forma eficaz y práctica y sin que suponga una carga desproporcionada, faciliten la accesibilidad o participación de una persona con discapacidad en igualdad de condiciones que el resto de los ciudadanos. Para determinar si una carga es o no proporcionada se tendrán en cuenta los costes de la medida, los efectos discriminatorios que suponga para las personas con discapacidad su no adopción, la estructura y características de la persona, entidad u organización que ha de ponerla en práctica y la posibilidad que tenga de obtener financiación oficial o cualquier otra ayuda”*. Considerando los incumplimientos de las exigencias de accesibilidad y de realizar ajustes razonables, como una vulneración del derecho a la igualdad de oportunidades de este colectivo, a la vez que tales exigencias y ajustes pasan a ser medidas contra la discriminación.

Para determinar la desproporcionalidad de la carga se establece como criterios a tener en cuenta los costes de la medida, los efectos discriminatorios que suponga para las personas con discapacidad su no adopción, la estructura y características de la persona, entidad u organización que ha de ponerla en práctica y la posibilidad que tenga de obtener financiación oficial o cualquier otra ayuda. En todo caso, se trata de una obligación condicionada

por criterios de proporcionalidad y razonabilidad. En este sentido la propia LIONDAU modificó el art. 10 de la Ley 49/1960, de 21 de julio, por la que se regula la Propiedad Horizontal, fijándose para los edificios constituidos en régimen de propiedad horizontal una obligación de acometer obras de adaptación y accesibilidad hasta un presupuesto máximo de tres mensualidades ordinarias de gastos comunes, pudiéndose determinar que este límite económico marcaba la desproporcionalidad de la carga.

Actualmente, el texto refundido de la LGDPDIS define el concepto de ajustes razonables como *“las modificaciones y adaptaciones necesarias y adecuadas del ambiente físico, social y actitudinal a las necesidades específicas de las personas con discapacidad que no impongan una carga desproporcionada o indebida, cuando se requieran en un caso particular de manera eficaz y práctica, para facilitar la accesibilidad y la participación y para garantizar a las personas con discapacidad el goce o ejercicio, en igualdad de condiciones con las demás, de todos los derechos”*. No determinándose en su caso, el concepto de carga desproporcionada o indebida, que si fijó para los edificios constituidos en régimen de propiedad horizontal la Ley 8/2013, de 26 de junio, de Rehabilitación, Regeneración y Renovación urbanas, al definir en su art. 1 los ajustes razonables como *“las medidas de adecuación de un edificio para facilitar la accesibilidad universal de forma eficaz, segura y práctica, y sin que supongan una carga desproporcionada. Para determinar si una carga es o no proporcionada se tendrán en cuenta los costes de la medida, los efectos discriminatorios que su no adopción podría representar, la estructura y características de la persona o entidad que haya de ponerla en práctica y la posibilidad que tengan aquéllas de obtener financiación oficial o cualquier otra ayuda. Se entenderá que la carga es desproporcionada, en los edificios constituidos en régimen de propiedad horizontal, cuando el coste de las obras repercutido anualmente, y descontando las ayudas públicas a las que se pueda tener derecho, exceda de doce mensualidades ordinarias de gastos comunes”*. Señalando que la Ley 8/2013 fue derogada parcialmente por Real Decreto Legislativo 7/2015, de 30 de octubre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Suelo y Rehabilitación Urbana donde en su artículo 2.5 se recoge literalmente la misma definición de ajustes razonables.

Es de destacar que la Ley 8/2013, de 26 de junio, de rehabilitación, regeneración y renovación urbanas volvió a modificar el art. 10 de la Ley 49/1960, de 21 de julio, por la que se regula la Propiedad Horizontal, fijando en este caso y exclusivamente para los edificios constituidos en régimen de propiedad horizontal, la obligación de acometer obras de accesibilidad y adaptación hasta un presupuesto máximo de doce mensualidades ordinarias de gastos comunes, determinando claramente que éste es el límite económico que marca la desproporcionalidad de la carga. Por último, es necesario resaltar que según se recoge en la Disposición adicional tercera de la LGDPDIS, el plazo máximo de exigibilidad de las condiciones de accesibilidad y no discriminación para el acceso y utilización de los espacios públicos urbanizados y edificaciones, que sean susceptibles de ajustes razonables finalizó el pasado 4 de diciembre de 2017.

No hay que olvidar que los ajustes razonables junto con el diseño para todos se erigen como herramientas indispensables para la consecución de la accesibilidad universal, en el caso de que las dos últimas se malogren, aplicándose pues, criterios de corrección una vez que no se aplicó o pudo aplicarse las condiciones básicas de accesibilidad y no discriminación de las personas con discapacidad, en su concepción.

## 5. ADECUACIÓN RAZONABLE A LAS CONDICIONES BÁSICAS DE ACCESIBILIDAD

El concepto de ajustes razonables tiene dos componentes, por un lado el aspecto económico (hasta cuánto tengo que invertir, que como hemos visto, solo determinado en los edificios de viviendas bajo el régimen de Propiedad Horizontal) y por otro lado, el aspecto técnico (hasta dónde tengo que llegar, teniendo en cuenta parámetros dimensionales).

Al proyectar un edificio nuevo, al igual que cuando se interviene en una edificación existente, el objetivo debe ser alcanzar las exigencias de las condiciones básicas de accesibilidad y no discriminación a las personas con discapacidad para satisfacer los requisitos básicos de accesibilidad, establecidos por un lado en el Documento Básico de Utilización y Accesibilidad (DB-SUA) y por otro, las condiciones de evacuación de las personas con discapacidad en caso de incendio recogidas en el Documento Básico de Seguridad en caso de Incendio (DB-SI), integrando en ambos casos la accesibilidad en la propia fase de concepción de proyecto -accesibilidad de concepción-.

Sin embargo a diferencia de la obra nueva, en la edificación existente<sup>6</sup> concebida con necesidades distintas de las actuales, existen dificultades de intervención, que en muchos casos sólo pueden resolverse dotando al marco reglamentario de accesibilidad con criterios de no empeoramiento, de proporcionalidad y sobre todo de cierta flexibilidad, como los recogidos en el Documento de Apoyo al DB-SUA/<sup>27</sup> de adecuación efectiva de las condiciones de accesibilidad, constituyendo en este caso, una labor de corrección -accesibilidad de corrección-.

El ámbito de aplicación del CTE, en los términos establecidos por la LOE y con las limitaciones que en el mismo se determinan en el artículo 2 de la Parte I, abarca tanto las obras de edificación de nueva construcción, como las intervenciones en los edificios existentes y en su caso, el cambio de su uso característico. Su cumplimiento se justificará en el proyecto o en una memoria suscrita por técnico competente.

No obstante, cuando la aplicación del CTE no sea urbanística, técnica o económicamente viable o, en su caso, sea incompatible con la naturaleza de la intervención o con el grado de protección del edificio, se podrán aplicar, bajo el criterio y responsabilidad del proyectista o, en su caso, del técnico que suscriba la memoria, y siempre que se justifiquen, aquellas soluciones que permitan el mayor grado posible de adecuación efectiva. En la documentación final de la obra deberá quedar constancia del nivel de prestación alcanzado y de los condicionantes de uso y mantenimiento del edificio, si existen, que puedan ser necesarios como consecuencia del grado final de adecuación efectiva alcanzado y que deban ser tenidos en cuenta por los propietarios y usuarios.

En las intervenciones en los edificios existentes la adecuación razonable a las condiciones básicas de accesibilidad y no discriminación a las personas con discapacidad se realizarán aplicando criterios de no empeoramiento, proporcionalidad y en todo caso flexibilización en la aplicación de la reglamentación.

<sup>6</sup> Conforme a la Disposición transitoria tercera del Real Decreto 173/2010, de 19 de febrero, por el que se modifica el Código Técnico de la Edificación en materia de accesibilidad y no discriminación de las personas con discapacidad. aAquellos edificios y establecimientos cuya solicitud de licencia de obras fue anterior al 12 de septiembre de 2010.

<sup>7</sup> Ministerio de Fomento. Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo. Versión 26/12/2017. Disponible: [https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/seguridadUtilizacion/DA\\_SUA\\_2\\_Adecuacion.pdf](https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/seguridadUtilizacion/DA_SUA_2_Adecuacion.pdf)

## 5.1. Condiciones básicas de accesibilidad aplicables y tolerancias admisibles

La adecuación efectiva de los edificios y establecimientos existentes a las condiciones básicas de accesibilidad y no discriminación de las personas con discapacidad se recoge en el Documento de Apoyo al DB-SUA/2, donde se recogen criterios de flexibilidad en la aplicación de las condiciones básicas de accesibilidad de los edificios y establecimientos recogidos en los documentos DB-SUA y DB-SI del CTE, regulando de facto el aspecto técnico de los ajustes razonables.

Dado que el DB-SUA y el DB-SI no sólo regulan las condiciones de accesibilidad, sino también las de seguridad de utilización y seguridad en caso de incendio en los edificios, en la tabla 1 del DA-DB-SUA se recogen cuales son las condiciones básicas específicamente referidas a accesibilidad (Discontinuidades-Protección de desniveles-Escaleras de uso general-Impacto-Aprisionamiento-Alumbrado-Señalización-Accesibilidad-Evacuación de personas con discapacidad en caso de incendio). Recogiéndose en la tabla 2 el límite de tolerancia que se admiten para determinadas condiciones de accesibilidad, en especial, para usuarios de silla de ruedas, y que constituyen los criterios de flexibilización esencialmente de los parámetros dimensionales cuando se interviene en un edificio existente y no es posible alcanzar la plena adecuación. Destacando que, para las condiciones incluidas en la tabla 1 que no figuran en la tabla 2 no se admiten tolerancias.

Conforme al punto 3 del comentado anteriormente, artículo 2 del CTE Parte I, cuando el proyectista justifique que no es urbanística, técnica o económicamente viable alcanzar las condiciones recogidas en la tabla 2 o, en su caso, que es incompatible con la naturaleza de la intervención o con el grado de protección del edificio, se pueden aplicar, bajo el criterio y responsabilidad del proyectista, otras medidas que faciliten, en el mayor grado posible, el acceso y la utilización del edificio o establecimiento por la mayor diversidad posible de situaciones personales, como pueden ser, entre otras, las basadas en la gestión y en los productos de apoyo. La solución final a adoptar dependerá de cada caso concreto ya que pueden existir factores tales como el coste, la financiación, el mantenimiento, la disponibilidad de ayudas, el logro de la autonomía personal, etc. que pueden hacer que el ajuste final sea razonable.

El enfoque, por tanto, es el de “mejorar” las condiciones básicas de accesibilidad del edificio de forma racional y coherente con las características iniciales del mismo, para adecuarlo en la medida de lo posible a las necesidades del usuario (individuales y colectivas) establecidas en el CTE, sin menoscabar en cualquier caso otras condiciones preexistentes o los niveles mínimos que se consideren seguros.

## 6. CONCLUSIONES

**C.1.** En los últimos treinta años en el ordenamiento jurídico español, el concepto de accesibilidad reducido a la eliminación de barreras principalmente arquitectónicas y urbanísticas, ha evolucionado a la configuración de la accesibilidad universal y el diseño para todos en sentido amplio a todos los espacios, servicios y productos, así como a la inclusión plena de la persona con discapacidad en la sociedad.

**C.2.** La dispersión de normas sobre accesibilidad en el ámbito autonómico y ha provocado la existencia de distintos criterios técnicos, poniendo en cuestión la igualdad entre las personas con discapacidad de diferentes Comunidades Autónomas y propiciando la aplica-

ción de un concepto parcial y discriminatorio de accesibilidad. Este hecho se podría evitar determinando reglamentariamente el obligado cumplimiento de las normas UNE-EN-ISO correspondientes a la serie sobre Accesibilidad en el urbanismo y Accesibilidad del entorno construido.

**C.3.** La falta de accesibilidad, para las personas con discapacidad, en los edificios sujetos a la Ley de Propiedad Horizontal genera una mayor discriminación entre las personas con discapacidad ya que afecta a uno de los ámbitos más personales el propio domicilio y la imposibilidad de entrar o salir del mismo o utilizar todos sus elementos como el resto de los vecinos.

**C.4.** El concepto de ajustes razonables se desarrolla en dos aspectos, una regulación económica y otra técnica.

**C.5.** La institución de los ajustes razonables lleva consigo su propio límite, ya que no todos los ajustes resultan obligados, sólo procede imponer aquellos que sean razonables, es decir los que no representen una carga desproporcionada.

**C.6.** La ponderación económica de la carga desproporcionada en los ajustes razonables a implantar solo se ha graduado en el Uso Residencial Vivienda y dentro de este uso, sólo en aquellos edificios constituidos en régimen de Propiedad Horizontal.

**C.7.** La determinación de los aspectos técnicos constituidos por los criterios de flexibilización para la adecuación efectiva de las condiciones de accesibilidad en edificios existentes, se recogen en el DA-DB-SUA/2 estableciéndose las tolerancias admitidas en los parámetros dimensionales para determinadas condiciones de accesibilidad, principalmente las que afectan a las dificultades de acceso, de maniobra y para salvar pequeños desniveles.

**C.8.** Es necesaria la regulación de la ponderación económica de la carga desproporcionada en los ajustes razonables a implantar en los usos Residencial Público, Administrativo y de Pública concurrencia, etc.

**C.9.** Las soluciones técnicas para la adecuación efectiva de las condiciones de accesibilidad en edificios existentes a adoptar dependerá de cada caso concreto ya que pueden existir factores tales como el coste, la financiación, el mantenimiento, la disponibilidad de ayudas, el logro de la autonomía personal, etc. que pueden hacer que el ajuste final sea razonable, de acuerdo con lo establecido en el DB-SUA el DB-SI y el DA-DB-SUA/2, así como los comentarios que el Ministerio de Fomento publica y actualiza periódicamente, y el resto de documentos de apoyo.

## **7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA**

### **7.1 Disposiciones legales**

- LEY 49/1960, de 21 de julio, sobre propiedad horizontal. (BOE n. 176 de 23/07/1960)
- CONSTITUCIÓN ESPAÑOLA, 1978. (BOE n. 311 de 29/12/1978)
- LEY 13/1982, de 7 de abril, de Integración Social de los Minusválidos. (BOE n. 103, de 30/04/1982)  
Derogada 04/12/2013.
- LEY 7/1985, de 2 de abril, Reguladora de las Bases del Régimen Local. (BOE n.80 de 03/04/1985)
- REAL DECRETO 556/1989, de 19 de mayo, por el que se arbitran medidas mínimas sobre accesibilidad en los edificios. (BOE n. 122 de 23/5/1989) Derogado 12/03/2010.
- LEY 15/1995, de 30 de mayo, sobre límites del dominio sobre inmuebles para eliminar barreras arquitectónicas a las personas con discapacidad. (BOE n.129 de 31/5/1995)

- LEY 51/2003, de 2 de diciembre, de igualdad de oportunidades, no discriminación y accesibilidad universal de las personas con discapacidad. (BOE n.289 de 3/12/2003) Derogada 04/12/2013.
- REAL DECRETO 505/2007, de 20 de abril, por el que se aprueban las condiciones básicas de accesibilidad y no discriminación de las personas con discapacidad para el acceso y utilización de los espacios públicos urbanizados y edificaciones. (BOE n. 113 de 11/5/2007)
- REAL DECRETO 1494/2007, de 12 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento sobre las condiciones básicas para el acceso de las personas con discapacidad a las tecnologías, productos y servicios relacionados con la sociedad de la información y medios de comunicación social. (BOE n.279 de 21/11/2007)
- LEY 49/2007, de 26 de diciembre, por la que se establece el régimen de infracciones y sanciones en materia de igualdad de oportunidades, no discriminación y accesibilidad universal de las personas con discapacidad. (BOE n.310 de 27/12/2007) Derogada 04/12/2013.
- ORDEN VIV/561/2010, de 1 de febrero, por la que se desarrolla el documento técnico de condiciones básicas de accesibilidad y no discriminación para el acceso y utilización de los espacios públicos urbanizados. (BOE n.61 de 11/03/2010)
- REAL DECRETO 173/2010, de 19 de febrero, por el que se modifica el Código Técnico de la Edificación, aprobado por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, en materia de accesibilidad y no discriminación de las personas con discapacidad. (BOE n. 61 de 11/3/2010)
- LEY 26/2011, de 1 de agosto, de adaptación normativa a la Convención Internacional sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad. (BOE n.184 de 2/08/2011)
- REAL DECRETO 1276/2011, de 16 de septiembre, de adaptación normativa a la Convención Internacional sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad. (BOE n.224 de 17/09/2011)
- LEY 12/2012, de 26 de diciembre, de medidas urgentes de liberalización del comercio y de determinados servicios. (BOE n. 311 de 27/12/2012)
- LEY 8/2013, de 26 de junio, de Rehabilitación, Regeneración y Renovación urbanas. (BOE n. 153 de 27/06/2013). Derogada parcialmente 31/10/2015.
- REAL DECRETO LEGISLATIVO 1/2013, de 29 de noviembre, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley General de Derechos de las Personas con Discapacidad y de su Inclusión Social. (BOE n.289 de 03/12/2013)
- REAL DECRETO LEGISLATIVO 7/2015, de 30 de octubre, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Suelo y Rehabilitación Urbana. (BOE n. 261 de 31/10/2015)

Documento de Apoyo al Documento Básico DB-SUA. DA DB-SUA/2 Adecuación efectiva de las condiciones de accesibilidad en edificios existentes. Ministerio de Fomento. Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo. Versión 26 de diciembre 2017.

Disponible:[https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/seguridadUtilizacion/DA\\_SUA\\_2\\_Adecuacion.pdf](https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/seguridadUtilizacion/DA_SUA_2_Adecuacion.pdf)

**RECONVERSIÓN DE UN RECINTO AMURALLADO ALMOHADE  
A UN ÁREA URBANA UNIVERSALMENTE ACCESIBLE:  
LA CIUDAD MONUMENTAL DE CÁCERES**

FERNÁNDEZ NICOLÁS, JOSÉ ANTONIO

*Junta de Extremadura, Cáceres, España*

*E-mail: jose2010at@gmail.com, Web: joseantoniofernandez.es*

**PALABRAS CLAVE:** ACCESIBILIDAD UNIVERSAL; SOSTENIBILIDAD PATRI-MONIAL; INCLUSIÓN DESAPERCIBIDA.

**RESUMEN**

En este artículo se presentan los resultados de un estudio de la accesibilidad urbana actual en el recinto intramuros del conjunto histórico de la ciudad de Cáceres, conjunto incluido por la UNESCO, en 1986, en la Lista Mundial de Patrimonio de la Humanidad. La construcción de la muralla data del siglo XII, durante la época almohade en Hizn Qazris, enclave estratégico para la conquista del territorio cristiano en la península ibérica. Este recinto se reforzaba con torres y baluartes defensivos, que, junto a la orografía, elevado sobre una penillanura, conferían un espacio urbano protegido de posibles invasores. El modelo de estudio se basa en la comparativa de esa ciudad original, que hoy día permanece como fiel reflejo de la planificada originalmente, con la normativa en materia de accesibilidad urbana vigente y su “adaptación real” a los puntos significativos de los itinerarios urbanos públicos dentro de la ciudad amurallada. Para ello, se trabaja con datos del sistema de información geográfico del Excelentísimo Ayuntamiento de Cáceres, analizando sus bases de datos patrimoniales, levantamientos arquitectónicos, mapas de pendientes de calles y demás factores significativos, para su comprensión funcional como modelo de ciudad histórica adaptada a la actualidad. La burocracia técnica-administrativa y la preservación del

patrimonio histórico-artístico conviven en una línea muy delgada frente al fomento del turismo patrimonial y la necesidad de financiación para la conservación de la parte antigua en su conjunto, tanto a nivel arquitectónico como de estructura urbana. Se exponen actuaciones realizadas y propuestas de futuras intervenciones presentadas a los organismos competentes para su aprobación, aplicando un modelo de fomento de la accesibilidad urbana para intentar conseguir una accesibilidad universal tangible para todo tipo de usuarios, a veces muy limitado por las condiciones existentes pero que, aún sin llegar a cumplimiento normativo, podrían mejorar indudablemente los puntos críticos detectados.

## 1. INTRODUCCIÓN

Dentro del concepto de sociedad moderna, dinámica y pluralista, en la que no deben aparecer distinciones por sexo, etnicidad, religión, condición física, psíquica y social, tenemos la obligación de demostrar nuestra capacidad integradora, persiguiendo el fin de lograr una sociedad para todos. De esta forma, como fiel reflejo que es y ha sido de nuestra sociedad, conseguir una ciudad para todos.

Un amplio sector de la población compuesto por el colectivo de nuestros mayores, las personas con algún tipo de discapacidad temporal o indefinida y todas aquellas que, por diferentes motivos, tienen dificultades en su relación con el entorno, deben encontrar adecuada respuesta en este esfuerzo integrador, de modo que puedan desarrollar plenamente su capacidad de relacionarse y participar en la vida social. Para ello deben recuperar la confianza perdida y potenciar el interés por aquello a lo que hasta ahora no se tenía acceso, mejorando así sus indicadores de bienestar.

El objetivo fundamental de nuestras instituciones públicas es conseguir una ciudad mejor para vivir, aumentar la calidad de vida de los ciudadanos, y pensando en todos, de modo que tanto los que viven en ella, trabajan, estudian, se relacionan con ella, la visitan, pueden hacerlo mejor y mejorando el acceso a su información, conviviendo con las barreras arquitectónicas, de tal manera que se presenten alternativas para salvarlas.

Teniendo en cuenta que la calidad urbanística en las ciudades está determinada principalmente por el nivel de movilidad, condiciones sociales y de bienestar, factores medioambientales, etc., no debemos olvidarnos de aquellos esenciales, como es la posibilidad de acceso urbano a su patrimonio arquitectónico, sus calles, plazas y jardines, para vivirla sin limitaciones físicas más allá de las insalvables.

Transformar el medio urbano existente, con sus barreras que influyen en el comportamiento de los ciudadanos y producen situaciones inadecuadas para una parte de la población, en un entorno integrado requiere, en primer lugar, proyectar y planificar para un futuro sin barreras y, en segundo lugar, adaptar el medio urbano para la eliminación de las ya existentes. Un entorno integrado significa la existencia simultánea de equipamientos, ámbitos exteriores y medios de transporte y comunicación donde la evitación y supresión de barreras se ha realizado de forma conjunta y armónica y donde es posible desplazarse con el mínimo esfuerzo y con la mayor comodidad posible.

Las diferentes teorías expuestas en congresos sobre movilidad y calidad ambiental ahondan en algo que cada día es más importante, la ciudad como un elemento vivo, es el de resolver la accesibilidad, algo distinto, que pasa a ser concebido como un índice de calidad de vida, como un factor de atracción de las ciudades para seguir cumpliendo sus objetivos funcionales de convivir, progresar y comerciar en armonía. No se trata ya de resolver

cualquier demanda de movilidad a cualquier precio, sino de generar entornos armoniosos donde la accesibilidad sea posible y contribuya a definir esa calidad de vida que hizo que el hombre medieval emigrara a la ciudad buscando la libertad y el progreso. Resulta necesario cambiar radicalmente el funcionamiento de las ciudades. Habría que devolverles su eficacia funcional perdida y recuperar la calidad de vida que han perdido progresivamente. Una ciudad accesible hemos de concebirla desde un enfoque integrador de los diversos elementos y las distintas políticas públicas que acaban definiendo una estructura inamovible en el tiempo. El modelo de ciudad debe estudiar previamente los comportamientos sociales y la incidencia sobre el medio ambiente, la vivienda y las telecomunicaciones.

Según los datos de las oficinas de Turismo tanto del Ayuntamiento de Cáceres, de la Diputación provincial de Cáceres y de la Dirección General de Turismo de la Junta de Extremadura “El conjunto urbano de Cáceres constituye un privilegiado enclave monumental que ha sabido conservar testimonios significativos de los distintos pueblos y culturas que se han asentado en su territorio. Desde los tiempos del Paleolítico Superior hasta la gran expansión urbana del siglo XX, la capital de la Alta Extremadura encierra orgullosa un rico patrimonio cultural, cuyo excelente estado de conservación propició su declaración como Monumento Nacional en 1949, y su proclamación por la UNESCO como Patrimonio de la Humanidad en 1986. Su morfología urbana se compone de una red de calles medievales, irregulares. Trazada y edificada en primer lugar por los romanos, es transformada luego por los almohades”, como se observa en la Figura 1; éstos la recubren de un adobe muy duro y la acondicionan según los principios árabes de fortificación. Unas calles estrechas se van apretando o ensanchando al acercarse a las plazas. Una muralla de 1,2 km, de forma trapezoidal, rodea la ciudad.

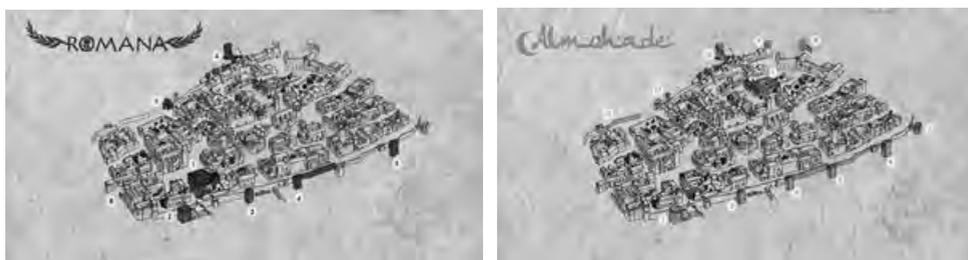


Figura 1: Ciudad monumental en las etapas romana y almohade. Fuente: SIG Cáceres.

En este trabajo se analizan las actuaciones llevadas a cabo en la ciudad intramuros del conjunto histórico de Cáceres, para determinar qué y cómo podemos aprender de estas experiencias, y poder compararlas con otras llevadas a cabo en otros conjuntos históricos comparables.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Normativa de aplicación en la accesibilidad universal

En la actualidad, a la hora de estudiar la accesibilidad universal, nos encontramos en una situación de dispersión normativa absoluta. En primer lugar, se puede clasificar el ámbito de la normativa general en materia de accesibilidad en normativa internacional, estatal y

autonómica. Además, en cuanto a la normativa técnica específica, tendremos normativa nacional, autonómica y locales. Por último, nos encontraremos con otros requerimientos normativos en aspectos transversales que inciden directamente sobre procedimientos de accesibilidad.

Dentro de este maremágnum normativo, cabe destacar que, según el Real Decreto Legislativo 1/2013, de 29 de noviembre, por el que se aprueba el texto refundido de la ley general de derechos de las personas con discapacidad y de su inclusión social (LGDPD), su definición de “ajuste razonable” es el de las medidas de adecuación de un edificio para facilitar la accesibilidad universal de forma eficaz, segura y práctica, y sin que suponga una carga desproporcionada.

Según la Orden VIV/561/2010, de 1 de febrero, por la que se desarrolla el documento técnico de condiciones básicas de accesibilidad y no discriminación para el acceso y utilización de los espacios públicos urbanizados, en su ámbito de aplicación define que éste está constituido por todos los espacios públicos urbanizados y los elementos que lo componen situados en el territorio del Estado español. Las condiciones de accesibilidad y no discriminación para el acceso y utilización de espacios públicos urbanizados se aplican a las áreas de uso peatonal, áreas de estancia, elementos urbanos e itinerarios peatonales comprendidos en espacios públicos urbanizados de acuerdo con lo establecido en los artículos siguientes. En las zonas urbanas consolidadas, cuando no sea posible el cumplimiento de alguna de dichas condiciones, se plantearán las soluciones alternativas que garanticen la máxima accesibilidad.

Actualmente se deben aplicar las tres escalas competenciales citadas anteriormente. A este aspecto se le deberá añadir la publicación de la Ordenanza local en el municipio cacerño.

Según se define por el esquema del ordenamiento jurídico español, se deberá asumir la coexistencia de diversas fuentes, y según el principio de jerarquía normativa, que consagra el artículo 9.3 de la Constitución Española, se ordenarán jerárquicamente, de forma tal que las de inferior rango no pueden contravenir a las superiores y se mantendrá el respeto a ese principio como condición de validez de estas.

En cuanto a normativa urbanística, en el municipio de Cáceres es de aplicación el PGM de 2010, que abarca el término municipal en su totalidad y regula las actuaciones de planeamiento, urbanización, edificación y usos del suelo dentro de él, y fue aprobado definitivamente el 30 de marzo de 2010. (DOE nº60 de 30 de marzo de 2010). Además, en la zona intramuros y los barrios de su entorno le es de obligado cumplimiento el “Plan Especial de Protección y Revitalización del Patrimonio Arquitectónico de la ciudad de Cáceres”, que data de marzo de 1990, con una circunscripción de 70Has y afectando a más de 1.800 inmuebles.

Atendiendo al ámbito de actuación de este estudio, y dando un salto desde el aspecto normativo al ámbito puramente de gestión, se estudia el Plan estratégico del Consorcio Cáceres Ciudad histórica. En su apartado segundo, “movilidad”, y dentro de éste, “accesibilidad”, expone que: *“Tomando los estudios que ya se han llevado a cabo, tanto por Asociaciones privadas, como por Administraciones Públicas, y coordinándolos debidamente, es llegado el momento de ejecutar el Plan de Accesibilidad resultante con el fin de que todos los estamentos de la población se conciencien y se impliquen en la necesidad de facilitar al máximo posible el acceso de las personas con discapacidades físicas o sensoriales.”*

Cabe destacar que este Consorcio es de reciente creación, ya que se realizó mediante un

convenio de colaboración suscrito el día 4 de diciembre de 2012 entre la Junta de Extremadura, la Diputación Provincial de Cáceres y el Ayuntamiento de Cáceres.

Otra norma de aplicación se dispone en la “Ordenanza municipal reguladora del acceso y circulación de vehículos y peatones por la ciudad monumental y su zona de influencia”, a través del cual se regula e intenta reducir al mínimo indispensable la circulación de vehículos por todo su recinto amurallado y el viario circundante.

## **2.2 Estudio metodológico de corrientes en las intervenciones para el fomento de la accesibilidad urbana**

No cabe ninguna duda que realizar un diagnóstico preciso de las condiciones de accesibilidad de un conjunto histórico es una tarea muy compleja. Hoy en día, la mayoría de los órganos encargados de velar por su cumplimiento, recurren a listados con ítems, en el que sólo se marcan requerimientos normativos, sin valorar siquiera otros factores. Este sistema desemboca en resultados simplistas, poco alejados de la realidad, ya que los resultados concluyen en un “no cumple”, y por ende no se concede autorización para llevar a cabo la intervención.

Existen otras corrientes más prestacionales, tal y como podemos ver en los estudios de [1] y [2], en los que se expone que para afrontar con garantías la mejora de la accesibilidad, es necesario documentar exhaustivamente las condiciones de accesibilidad, medirla de manera “relativa” con una regulación del cuánto y en qué condiciones, evaluar su potencialidad de cada intervención, y, por último, visualizar los resultados del diagnóstico y utilizarlo como base para la toma de decisiones.

La conservación de los valores intrínsecos de un recinto monumental se deberá entender como actuaciones reversibles, que se puedan modificar cuando los desarrollos industriales proporcionen técnicas o soluciones que mejoren a las adoptadas, tal y como desarrolla [3] en su obra.

En cuanto a las condiciones que reúnan los usuarios visitantes de la ciudad monumental, deberá entenderse como una de las variables para tener en cuenta en el análisis multivariable. Podrán ser físicas (sillas de ruedas, muletas, bastones), intelectuales (de comprensión), sensoriales (visuales, auditivas). Para todas ellas, se deberán aportar soluciones diferenciadas, tal y como menciona [1], para poder dotar de una accesibilidad universal al patrimonio histórico y cultural, para que se permita su contemplación, disfrute y admiración de una forma no discriminatoria. El mismo autor incide en que la razón principal que impide avanzar en este objetivo a menudo es la actitud escéptica, o de abierto rechazo, que se apoya en criterios de conservación o en razones económicas. Existen proyectos realizados, como el PATRAC, dentro del proyecto “Patrimonio accesible: I+D+I para una cultura sin barreras”, en el que se evaluaba la accesibilidad de los edificios patrimoniales sobre unas rutas predefinidas mediante la combinación de herramientas de sistemas de información geográficas (SIG) y los millones de datos de nubes de puntos obtenidos mediante la utilización de escáner láser terrestre. Los SIG demuestran una gran utilidad vinculando datos, relacionando información alfanumérica entre sí y poder operar sobre un ámbito espacial concreto y definido. A ese aspecto le añaden la técnica aplicada por el escáner láser terrestre, con numerosos beneficios para la datación del patrimonio histórico, tal y como se estudia por parte de autores como [4] y [5]. En el proyecto mencionado anteriormente, una vez realizada la toma de datos sistematizada y su volcado a un software creado para este fin, se establecía

una metodología de diagnóstico y se visualizaba y editaba la información de las rutas y de los elementos diagnosticados. Su metodología se presentaba en varias fases, relativas a la especificación del problema, la consulta a un repositorio inteligente de patrones o casos típicos, la provisión de una colección mínima de respuestas, el análisis multicriterio de las respuestas seleccionadas, la aplicación virtual de la solución, la evaluación del impacto, la realimentación con otros agentes y la recomendación de la solución propuesta. Como una de sus conclusiones se obtenía un criterio de utilización de avances tecnológicos actuales, para estudiar soluciones basadas en visores de realidad aumentada, sensores inteligentes, etc.

### **2.3 Preservación del patrimonio histórico en las intervenciones de fomento de la accesibilidad**

Son muchos los agentes implicados en la compleja tarea de gestión y conservación de los bienes patrimoniales, administraciones, propietarios privados, la iglesia. Se deberá tener en cuenta este aspecto, tal y como menciona [6] en su trabajo, para garantizar el acceso a todas las personas, de manera que las intervenciones se realicen de manera respetuosa con el patrimonio a la vez que incrementen sus condiciones de accesibilidad. Y para poder acometerlas, es imprescindible que no se realicen mediante iniciativas individuales, sino que exista una colaboración entre todos los sectores implicados, como se explica en [7], siendo ellas administraciones, asociaciones, la universidad y las empresas.

Asimismo, el proceso participativo en la toma de decisiones de la planificación urbana y territorial presenta una carencia en los métodos y protocolos a aplicar en la gestión del patrimonio histórico, y como se explica por parte de [8], el modelo de gestión de una ciudad histórica se tiene que sustanciar en un enfoque estratégico, con planes de acción, herramientas de coordinación y por último mecanismos de seguimiento. Este sistema es el asumido por la UNESCO desde las Operational Guidelines de 2003.

Tal y como indica [9], en los centros históricos se debe desarrollar la principal área de actividad, donde convivan funciones de ocio y cultura, de importante calado para la economía local. No se debe perder calidad de vida para sus residentes, porque ello conllevará una despoblación hacia los sectores periféricos de la ciudad, tal y como expone en su obra [10]. Ello provocaría una sustitución de los usos internos del conjunto inmobiliario, que agravarían, aún más si cabe, la disminución de la calidad urbana del centro histórico. Resulta evidente que, los ajustes en el ámbito del recinto urbano deben ser razonables, como se desarrolla en [11], y debe acudir a la utilización de todo tipo de soluciones que nos aporta el mercado tecnológico en la actualidad, como indican [12], para solucionar aquello que de otra manera no fuera posible mediante obras o intervenciones de reordenación.

### **2.4 Metodología para aplicar en el estudio de la accesibilidad universal en el recinto intramuros del conjunto histórico de Cáceres.**

Una vez que se han considerado las distintas variables que pueden condicionar la utilización de los itinerarios por parte de los usuarios, con cualquier tipo de limitación de tipo físico, psíquico o sensorial, de manera temporal o permanente, se realiza un estudio concreto del recinto delimitado por la muralla almohade. Debido a que la aplicación normativa de la Orden VIV 561/2010 queda prácticamente descartada por la imposibilidad material

de su cumplimiento, se da por hecho que la mayoría de los recorridos interiores no podrán denominarse itinerarios peatonales accesibles, IPA. Esto se debe a las características que presentan los anchos de calles, sus pendientes longitudinales y transversales, desniveles, escalones, espacios libres de paso, tipo de pavimentación, etc. La mayoría de los itinerarios presentan plataforma única de uso mixto. No obstante, y como se menciona anteriormente, se busca plantear soluciones alternativas que garanticen la máxima accesibilidad posible de los itinerarios, estudiando la promoción de la supresión de las barreras arquitectónicas existentes, de similar manera a las metodologías utilizadas en otros estudios, como en [13] y [14]. Se realiza una encuesta de “percepción de la accesibilidad urbana en el conjunto histórico de Cáceres “a los viandantes que circulan por estas calles durante varios periodos alternos y en horarios dispares. Los resultados de la misma serán objeto de análisis en otro artículo relacionado en esta materia. Se detectan 7 puntos de acceso al mismo, no todos peatonales, y se evalúan las características arquitectónicas de las calles transitadas, identificando los recorridos accesibles, tal y como se desarrolla en [15]. Se identifican las dimensiones de los viarios. Se recaba información del Ayuntamiento de Cáceres, Consorcio Cáceres ciudad histórica y Policía Local referente a la información que se aporta al visitante de la ciudad en cuanto a itinerarios accesibles, horarios de puntos de información turístico, horarios de visitas de los monumentos del recinto y permisos para entrada de vehículos al recinto. Se estudian las diferentes TIC existentes como apoyo al fomento de la información accesible en el ámbito de estudio y se introducen criterios de diseño y sostenibilidad en el estudio [16]. En gabinete, se han analizado las diferentes variables para realizar una simulación de propuestas de recorridos accesibles, teniendo en cuenta los itinerarios peatonales y los compartidos con vehículos. Además, se han analizado las barreras existentes, categorizándolas según su posición y de acuerdo con su restricción a la accesibilidad. En las Figuras 2 y 3 se pueden apreciar diferentes variables estudiadas. Se plantea para futuros estudios, profundizar en otros aspectos como el análisis de los inmuebles intramuros que sean de propiedad pública o privada, su estado de conservación en la actualidad, si se encuentran abiertos - habitados, o cerrados - en desuso, así como si pudieran existir expedientes de ruina en curso para los inmuebles.

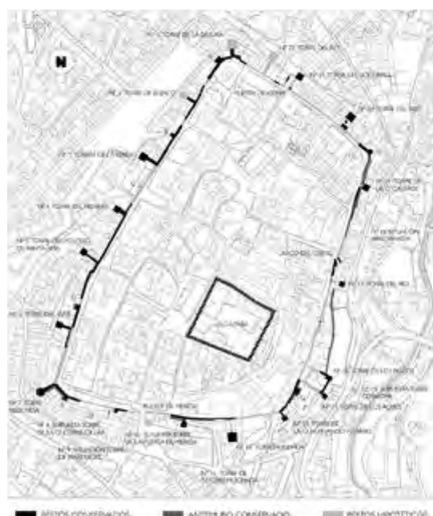


Figura 2: Planta general del recinto almohade. Fuente: Márquez,S; Gurriagán,P.

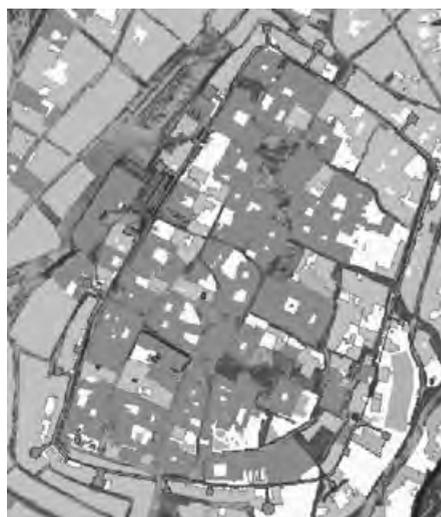


Figura 3: Mapa de pendientes del recinto intramuros. Fuente: SIG Cáceres.

### 3. RESULTADOS

Hasta el momento, los resultados que se pueden aportar del estudio desarrollado son las identificaciones de la situación de los viarios, en cuanto a su nivel de accesibilidad. Así también, se definen los puntos críticos, en los que se debe priorizar a la hora de realizar cualquier tipo de intervención para la mejora de la accesibilidad. En la Tabla 1, así como en la Figuras 4 se aportan datos de las intervenciones prioritarias propuestas para realizarse en el entorno estudiado, de tal manera que mejoren las condiciones actuales. Asimismo, se presenta en la Figura 5 el mapa de los IPA del recinto.

Tabla 1: Puntos prioritarios para acometer actuaciones de mejora de la accesibilidad urbana en el recinto.

PUNTO CRÍTICO	ACTUACIONES PRIORITARIAS
Aceso a Plaza de San Jorge.	Incorporación de una rampa invadiendo parte del espacio ocupados por la escalera de acceso situada en la parte baja de la plaza.
Calles Obras Pías de Roco y Adarve el Cristo. Figura 4.	Creación de itinerario peatonal adaptado a lo largo de las calles, mediante la realización de encintados de piedra granítica abujardada. Instalación de pasamanos y apoyos isquiáticos.
Plaza de los Golfines	Sustitución de solados y reordenación de itinerarios peatonales.
Calles Arco de la Estrella y Adarve de Santa Ana	Creación de itinerarios peatonales adaptados y áreas de estancia para viandantes.
Conexión entre la calle Adarve de Santa Ana y la Plaza de las Piñuelas.	Creación de itinerario accesible para superar la diferencia de cotas.



Figura 4: estado actual encuentro calles Obras Pías de Roco y Adarve el Cristo.

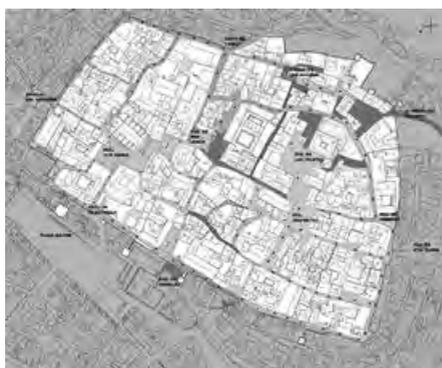


Figura 5: identificación IPAs del recinto intramuros.

#### 4. CONCLUSIONES

En la actualidad existe **excesiva y dispersa normativa** a cumplir, incluso con incongruencias o faltas de actualizaciones, que dificultan en gran medida la tarea de los técnicos que realicen proyectos en materia de accesibilidad arquitectónica, y lo que supone una traba a los técnicos supervisores y competentes de los mismos a la hora de conceder las autorizaciones pertinentes.

Se considera imprescindible realizar en el municipio de Cáceres la elaboración y puesta en marcha de un **Plan Integral de Accesibilidad y movilidad en la ciudad monumental**, hoy en día inexistente, con el objeto de que todos los estamentos de la población se concienencien y se impliquen para garantizar al máximo el acceso a los lugares y a la información de interés cultural y turístico por parte de las personas con discapacidades físicas y sensoriales.

Se debe actualizar el Plan Especial de Protección y Revitalización del Patrimonio Arquitectónico de la ciudad de Cáceres en el que se incorpore como uno más de sus fundamentos el de la **“gestión activa de un turismo accesible”**.

Se considera de especial relevancia la elaboración por parte de la autoridad municipal de un **protocolo de planes de emergencia**, exigidos por la normativa básica de autoprotección, de protección civil, y de espectáculos públicos y actividades recreativas, para todos aquellos eventos que se vayan a celebrar en el recinto intramuros, teniendo especial incidencia en la evacuación asistida. Además, estos planes se deberían aportar a la ciudadanía en determinados puntos estratégicos del recinto, bien en paneles con planos, audios y formatos legibles para todo tipo de usuarios.

Las actuaciones realizadas en materia de accesibilidad y movilidad en el recinto intramuros, hasta el momento, se consideran actuaciones concretas y aisladas, dependientes de un presupuesto municipal escaso. Para abordar esta mejora, se deberá acometer como una **estrategia global**, en el conjunto del recinto, y con partidas presupuestarias de mayor cuantía y regularidad.

**Difusión** a todo el conjunto de los ciudadanos de las herramientas participativas de realidad virtual y aumentada, utilización de herramientas TICs y demás aplicaciones ya existentes, de tal manera que se facilite toda la información del conjunto monumental a aquellas personas que por razón de sus limitaciones no pudiera acceder a él.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Eguskiza, A.; Biere Arenas, R. ACC3DE 2.0: Herramienta inteligente para el diagnóstico y el apoyo a la toma de decisiones para la accesibilidad en el patrimonio. 5º Congreso Internacional Ciudad y Territorio Virtual, CTV. Barcelona. España. (2009)
- [2] Martos, M. Destinos turísticos accesibles. Herramientas para mejorar la accesibilidad. Anales de Geografía. Vol 32, núm. 2 297-321 (2012).
- [3] Bustamante, R.; Moreno, P. La accesibilidad física e intelectual en los itinerarios de visita a los edificios históricos. 5º Congreso Internacional Ciudad y Territorio Virtual, CTV. Barcelona. España. (2009)
- [4] Serrano, F., Saumell, J., & Berenguer, F. (2014). Análisis de resultados métricos de una nube de puntos y una medición directa en el patrimonio edificado. El Santuario de La Montaña en Cáceres. Informes de la Construcción, 66(534), 016.
- [5] Sánchez, M.; Gil, E.; Municipio, C.; Fernández-Nicolás, J.A.; “Aplicaciones del escaneado láser en patrimonio histórico-artístico”. Convención de la edificación CONTART (2016).
- [6] Valero, M.; Belda, J.M; Natividad, P. Accesibilidad horizontal: conocer y conservar el patrimonio, cómo conjugar un derecho con una necesidad. 5º Congreso Internacional Ciudad y Territorio Virtual, CTV. Barcelona. España. (2009).
- [7] García, A.; Elaboración de guías virtuales de establecimientos accesibles: propuesta de colaboración entre administración, asociaciones, universidad y empresa. 5º Congreso Internacional Ciudad y Territorio Virtual, CTV. Barcelona. España. (2009).
- [8] Hugony, C.; Espada, J.C. Proyecto PATUR. Herramientas innovadoras para la gestión participativa de la ciudad histórica. 5º Congreso Internacional Ciudad y Territorio Virtual, CTV. Barcelona. España. (2009).
- [9] Corral, C.; “La ciudad para el peatón: las ciudades históricas en la movilidad urbana.” Ingeniería y Territorio: movilidad urbana (2009): 58-67.
- [10] Gutiérrez, J.; “Transporte, movilidad y turismo en los centros históricos.” *Ería*. Revista cuatrimestral de Geografía. Vol 47, núm. 241-248 (2009).
- [11] Martínez, M.J.; “Accesibilidad con coherencia. El ajuste razonable”. Convención de la edificación CONTART (2016).
- [12] Espínola, A.; “La domótica aplicada a la accesibilidad y eliminación de barreras”. Convención de la edificación CONTART (2016).
- [13] Ríos, J.C.; “Condiciones de inclusión de la discapacidad frente a las barreras arquitectónicas, el reto: la inclusión”. UGCIencia Vol 19, núm. 38-56 (2013).
- [14] Bordas, M.; Usandizaga, M.; Vidal, C; Resultados del programa LOCUS: estudio para la accesibilidad del recorrido peatonal entre la plaza de la Font y la catedral en Tarragona. 5º Congreso Internacional Ciudad y Territorio Virtual, CTV. Barcelona. España. (2009)
- [15] Del Moral, C.; Bechinie, L. Identificación de recorridos accesibles en el centro histórico de la ciudad. 5º Congreso Internacional Ciudad y Territorio Virtual, CTV. Barcelona. España. (2009)
- [16] Medina, M.; “Edificios inteligentes para todas las personas: accesibilidad y sostenibilidad”. III Congreso de Edificios inteligentes. Madrid. (2017).

## COMPORTAMIENTO HIGROTÉRMICO Y ACÚSTICO DE LOS EDIFICIOS EXISTENTES

MONZÓN CHAVARRÍAS, MARTA<sup>1</sup>; LÓPEZ-MESA, BELINDA<sup>2</sup>

*<sup>1</sup> Universidad de Zaragoza, Zaragoza, España*

*E-mail: monzonch@unizar.es*

*<sup>2</sup> Universidad de Zaragoza, Zaragoza, España*

*E-mail: belinda@unizar.es*

**PALABRAS CLAVE:** rehabilitación, demanda energética, inercia térmica, acústica.

### RESUMEN

Para poder alcanzar los estándares actuales, es preciso fomentar la rehabilitación energética y acústica de los edificios existentes. Esta comunicación analiza el comportamiento térmico y acústico de diferentes soluciones constructivas de la envolvente de edificios de vivienda social construidos durante la posguerra española, comparándola con estándares. Se calcula el comportamiento estático, transmitancia térmica, y dinámico, inercia térmica, de forma que se constata la importancia de ambos factores. En cuanto al comportamiento acústico se analiza su índice de reducción acústica. Se comprueba cómo, en edificios existentes, las fachadas de muros de carga, el comportamiento energético y acústico puede ser, en ocasiones, adecuado.

### 1. INTRODUCCIÓN

En la Unión Europea, el sector de la edificación residencial es el responsable de más de un 21% del consumo de energía total [1]. Para alcanzar los objetivos de eficiencia energética y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, es imprescindible la mejora

energética de las viviendas que existen hoy en día, ya que éstas continuarán muchos años en el mercado. En España, la mayor parte del parque edificatorio existente, el 56% de los edificios[2], son anteriores a la Normativa Básica de Edificación sobre Condiciones Térmicas en los edificios -NBE-CT- de 1979 [3]. Para conseguir los objetivos de ahorro energético y emisiones de CO<sub>2</sub> marcados por Europa, es imprescindible rehabilitar energéticamente los edificios existentes hoy en día.

El ruido fue declarado como contaminante ambiental por la Organización Mundial de la Salud a principios de los años 70, y pronto se consideró como una de las formas de contaminación más comunes en las zonas urbanas que afecta a la calidad de vida de las personas que viven en ellas [4]. La Comunidad Europea reconoce que el ruido de tráfico rodado es la mayor fuente ruido exterior, alejado de las fuentes que ocupan las siguientes posiciones. De hecho, el 65% de los europeos que viven en grandes zonas urbanas están expuestos a niveles de ruido elevados y más del 20% están expuestos a niveles sonoros nocturnos que con frecuencia tienen efectos perjudiciales en la salud [5]

Los edificios construidos antes de la Norma Básica de Edificación sobre Condiciones Térmicas y sobre Condiciones Acústicas en los Edificios, se construían sin aislamiento térmico o material absorbente en la cámara. Sin embargo, en ocasiones eran soluciones muy masivas, siendo con ellos suficiente para mantener unas condiciones de térmicas y acústicas relativamente altas. Esta comunicación tiene el objetivo de evaluar las características energéticas y acústicas de diferentes soluciones de la envolvente térmica y acústica, de forma que se concluya su comportamiento.

En cuanto a las condiciones energéticas, se calculan su comportamiento estático y dinámico. La demanda energética de los edificios está condicionada tanto por la transmitancia térmica de los cerramientos, el comportamiento estático, como por su inercia térmica, el dinámico. En cuanto al comportamiento acústico, se evalúa su índice de reducción acústica respecto a ruido exterior predominante de automóviles ( $R_{Atr}$ ).

Como caso de estudio se utilizan las soluciones constructivas de los bloques de los conjuntos vivienda social construidos durante la posguerra española. El caso de estudio 19 Conjuntos Urbanos de Interés utilizando como criterio de selección que estén protegidos por el régimen de Conjuntos Urbanos de Interés, que hayan sido construidos en el periodo 1945-1975, y que sean considerados como barrios vulnerables. Se excluyen de este estudio las viviendas unifamiliares, dado que su alta revalorización los excluye del concepto de vulnerabilidad. El estudio se centra en 19 conjuntos, que albergan 7.981 viviendas repartidas en 228 bloques, en su mayoría de media altura –entre 3 y 6 plantas- y torres de hasta 12 plantas. Estas soluciones constructivas son ampliamente utilizadas en otros edificios de la misma época, a nivel nacional, por lo que el estudio resulta aplicable.

Después estos valores de comportamiento energético de cada elemento, se compara con los valores de demanda energética de calefacción y refrigeración según el método descrito en [6], constatando su comportamiento en el conjunto del edificio.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Metodología

En el estudio previo [7] presenta un estudio de las soluciones constructivas de fachada, suelo y cubierta de los Conjuntos urbanos de la ciudad de Zaragoza. En base a las solu-

ciones presentadas, se caracterizan térmicamente calculando su comportamiento estático y dinámico. Para el comportamiento estático de los elementos opacos de la envolvente se calcula la transmitancia térmica de los de la envolvente conforme a la metodología en el Documento de Apoyo DA DB-HE / 1 [8] con los valores límite de transmitancia recogidos en la sección HE1 Limitación de la demanda energética del Documento Básico DB-HE Ahorro de energía (DB-HE1) para las rehabilitaciones. Los valores de conductividad térmica de los materiales se han obtenido del Catálogo de Elementos Constructivos del CTE [9] Protección frente al ruido y Ahorro de Energía, establecidas en el Código Técnico de la Edificación (CTE).

Las dos propiedades principales en las variaciones periódicas del flujo de calor asociadas a variaciones periódicas de temperatura son las propiedades de transmisión de calor dinámicas y la admitancia térmica. Las primeras relacionan las variables físicas en una de las caras del componente con las de la otra cara del mismo. La admitancia térmica, por su parte, es una propiedad que relaciona el flujo de calor con la variación de temperatura en la misma cara del componente (AENOR-CEN 2007). Para caracterizar el comportamiento dinámico de los cerramientos se utiliza el método descrito en la norma UNE-EN ISO 13786:2011 Prestaciones térmicas de los productos y componentes para edificación. Características térmicas dinámicas. Métodos de cálculo [10].

Para la predicción del Índice global de reducción acústica, ponderado A, para ruido exterior dominante de automóviles o de aeronaves ( $R_{A,tr}$ ) de los elementos opacos de la envolvente se ha utilizado la ley de masas con las mejoras de Cremer, Sewer y Sharp para sistemas constructivos sin cámara de aire y las ecuaciones de Sharp, Fahy y Rindel para sistemas con cámaras [11] mediante el uso del software de predicción acústica Insul 7.0.6.

Por último se repasa los resultados de demanda energética obtenidos con HULC en los bloques estudiados, haciendo referencia a los elementos de la envolvente.

### 3. CARACTERIZACIÓN HIGROTÉRMICA Y ACÚSTICA

Para cuantificar el comportamiento térmico de los cerramientos de las envolventes de los Conjuntos Urbanos se estudia el comportamiento estático y dinámico de cada solución constructiva. Se utilizan las soluciones constructivas publicadas en [7]. Al tratarse de viviendas sociales antiguas, los cerramientos exteriores no tienen aislamiento térmico, y en muchos casos son soluciones muy masivas. Es por ello que la inercia térmica de algunos de dichos cerramientos es importante, y por tanto, es un elemento diferenciador entre los diferentes tipos de cerramientos. Entre las diferentes propiedades para cuantificar la inercia térmica de los paramentos, utilizaremos el concepto de retraso térmico o desfase, que hace referencia al tiempo que tarda el calor en atravesar la capa del material.

En los puntos siguientes se presentan las soluciones constructivas estudiadas y su análisis térmico y acústico.

#### 3.1 Fachadas

Los edificios de los conjuntos urbanos de vivienda social construidos durante la posguerra española en la ciudad de Zaragoza tienen 15 tipos de fachada diferentes. Algunos de los bloques están compuestos por una de las fachadas, mientras que otros combinan varios tipos.

F1	Fábrica de ladrillo macizo CV de un pie y medio con ensabanado de mortero, cámara de aire sin ventilar de 3cm, y trasdosado interior de ladrillo hueco simple de 4cm.
F2	Fábrica de ladrillo macizo CV de un pie con ensabanado de mortero, cámara de aire sin ventilar de 3cm, y trasdosado interior de ladrillo hueco simple de 4cm.
F3	Ladrillo hueco doble de 24cm con revoco exterior y ensabanado interior, cámara de aire sin ventilar de 3cm, y trasdosado interior de ladrillo hueco simple de 4cm
F4	Fábrica de ladrillo macizo de un pie y medio, enlucido por el interior
F5	Fábrica de ladrillo macizo de un pie y medio, enlucido por el interior y revocado por el exterior.
F6	Fábrica de ladrillo macizo de un pie, enlucido por el interior
F7	Fábrica de ladrillo macizo de un pie, enlucido por el interior y revocado por el exterior.
F8	Fábrica de ladrillo macizo de hormigón
F9	Fábrica de ladrillo macizo de medio pie con ensabanado interior, cámara de aire de 3cm, y trasdosado interior de ladrillo hueco simple de 4cm.
F10	Ladrillo hueco doble revocado por el exterior cámara de aire y trasdosado interior de ladrillo hueco simple de 4cm.
F11	Adobe de tierra sentado con barro, revocado por el exterior,
F12	Pared de ladrillo hueco doble de 24cm, revocado por el exterior.
F14	Fábrica de ladrillo hueco gigante con aplacado cerámico.
F15	Ladrillo hueco simple de 9cm, revestido.

Tabla 1. Soluciones constructivas de fachada.

En la Tabla 1 se muestran las soluciones de fachada.

#### a) Comportamiento térmico

En la Figura 1 representan las soluciones constructivas según su comportamiento energético, pudiendo diferenciar claramente tres grupos atendiendo a su comportamiento estático y dinámico. En la Figura 1, se posicionan las fachadas estudiadas y se indican las exigencias para obra nueva de la primera normativa de ahorro energético que se redactó en España, NBE CT79, dado que en ningún caso se cumplen los criterios de la normativa actual para rehabilitación, el CTE, que es 1,20 ó 1,60 W/m<sup>2</sup>·K según la fachada sea ligera o pesada. También se representa el límite que el CTE establece para los casos de rehabilitación, 0,66 W/m<sup>2</sup>·K, de forma que se contextualizan los resultados.

Respecto al límite de referencia del desfase, en [12] se establece el límite en 8 horas de desfase para agrupar los cerramientos con mejor comportamiento, diciendo que un valor aceptable es a partir de 6,5. Se indican ambos límites en la Figura 1.

Por tanto, se distinguen tres grupos: el primer grupo corresponde a las fachadas cuya parte ciega tiene valores de transmitancia menores a los marcados por la Norma NBE CT79 pero con un desfase mayor a ocho horas. Aunque los valores de transmitancia son altos, se trata de muros con mucha inercia que compensarán las oscilaciones térmicas exteriores y, presumiblemente, tendrán mejor comportamiento entre todas las soluciones constructivas de estos bloques. El segundo grupo tienen un valor de transmitancia mayor al marcado

por la normativa, pero en cambio un valor alto de desfase, o al revés, tienen un valor de transmitancia menor al marcado por la norma, pero tienen un desfase menor de ocho horas. En el tercer grupo se engloban las fachadas, en este caso solo una, en la que los valores de transmitancia están por encima de los establecidos por la Norma Básica, y los valores de desfase son menores a ocho e incluso a seis horas y media. Por tanto los grupos de fachadas que se establecen son, de mejor a peor comportamiento térmico:

- Fachada grupo 1      F1, F2, F3, F4, F5, F11, F12, F13, F14.
- Fachada grupo 2      F6, F7, F8, F9, F10.
- Fachada grupo 3      F15.

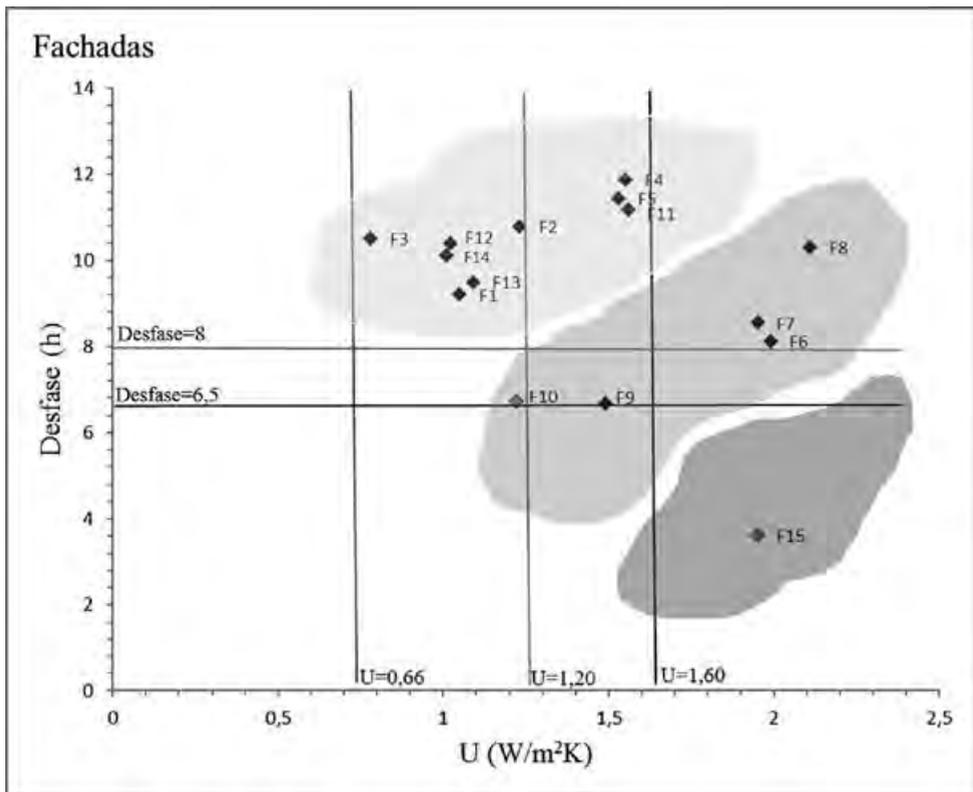


Figura 1. Caracterización de energética de las fachadas.

b) Comportamiento acústico

El índice de reducción acústica para ruido exterior predominante de automóviles de los elementos de fachada se muestra en la Tabla 1.

Fachada	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15
R <sub>A, tr</sub> (dBA)	54	60	48	61	61	57	57	57	56	44	59	48	45	46	39

Tabla 2. Índice de reducción acústica de la parte ciega de fachada (dBA).

### 3.2 Cubiertas

Los bloques tienen 9 tipos diferentes de solución de cubierta, que se muestran en la Tabla 3.

C1	Cubierta inclinada con forjado horizontal de viguetas cerámicas armadas, cámara de aire muy ventilada, y forjado inclinado con viguetas cerámicas armadas y teja tipo árabe
C2	Cubierta inclinada con forjado inclinado de rollizos de madera, torta de barro y cañizo cubierto con teja, cámara no ventilada y cosirones de madera atirantados a la cubierta, teja de caña y enlucido.
C3	Cubierta inclinada con forjado inclinado de viguetas cerámicas armadas con tablero de rasilla, cámara de aire no ventilada y cosirones de madera atirantados a la cubierta, teja de caña y enlucido
C4	Cubierta inclinada con forjado de hormigón armado, cámara muy ventilada, tablero cerámico machihembrado, capa de compresión de hormigón y teja
C5	Cubierta inclinada con forjado inclinado de rollizos de madera, torta de barro y cañizo, cámara no ventilada, y bóveda tabicada.
C6	Cubierta inclinada con forjado horizontal de viguetas cerámicas, cámara de aire muy ventilada, y tablero machihembrado cerámico con capa de compresión y teja.
C7	Cubierta inclinada con forjado inclinado de hormigón armado y teja.
C8	Cubierta plana con forjado de vigueta metálica, cámara muy ventilada, tablero de rasilla y plaqueta cerámica
C9	Cubierta plana con forjado de vigueta hormigón, cámara muy ventilada, tablero de rasilla y plaqueta cerámica

Tabla 3. Soluciones constructivas de cubierta.

#### a) Comportamiento térmico

Las cubiertas tienen un deficiente comportamiento energético tanto en valores de transmitancia, mayor a las exigencias de NBE CT 79, como en valores de desfase. Sin embargo se realiza una división de las cubiertas estableciendo un límite de transmitancia de  $2 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , que coincide con la división de las cubiertas que tienen cámara de aire no ventilada y las que carecen de ella (Figura 2).

Por tanto, la división en las cubiertas de los bloques de los Conjuntos Urbanos se realiza entre las que tienen cámara de aire no ventilada y las que tienen cámara de aire muy ventilada. Así tenemos, de mejor a peor comportamiento térmico:

Cubiertas con cámara de aire sin ventilar	C2, C3, C5, C7
Cubiertas con cámara de aire muy ventilada	C1, C4, C6, C8, C9

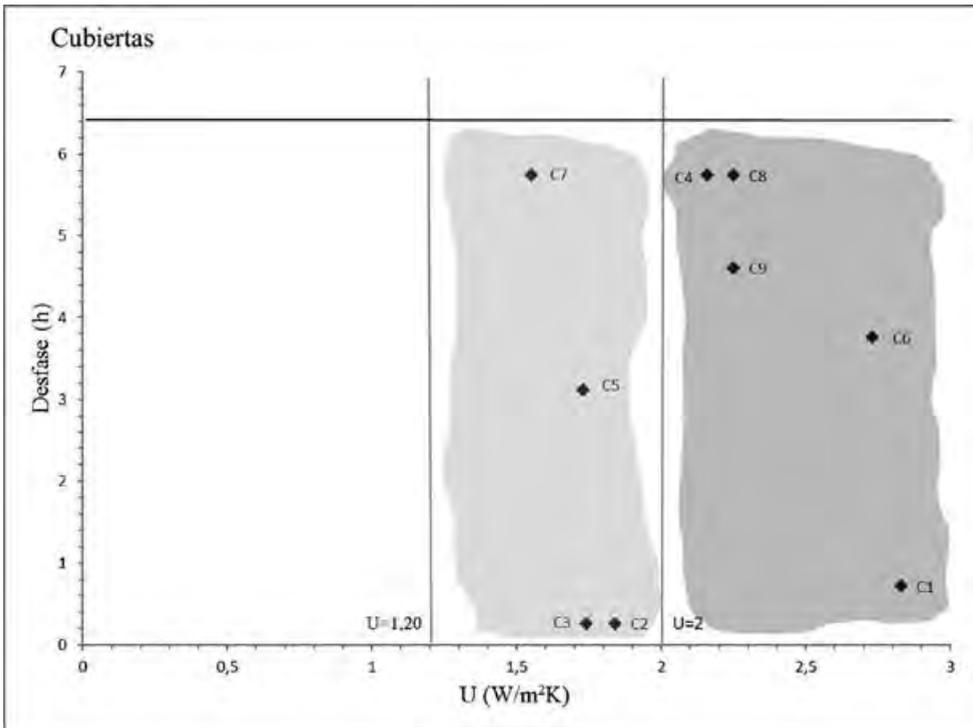


Figura 2. Comportamiento energético de las cubiertas.

a) Comportamiento acústico

El índice de reducción acústica para ruido exterior predominante de automóviles de los elementos de cubierta se muestra en la Tabla 4. Este método no es lo suficientemente preciso para predecir el aislamiento acústico de las cubiertas con cámara de aire ventilada, y por ello se muestran los resultados en forma de rango.

Fachada	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
R <sub>A,tr</sub> (dBA)	31-59	60	59	50-64	65	50-64	54	52-68	50-63

Tabla 4. Índice de reducción acústica de las cubiertas (dBA).

3.3 Suelos

En los bloques de los conjuntos encontramos 6 tipos de suelo de la envolvente térmica diferentes (Tabla 5).

S1	Solera de hormigón sobre el terreno con baldosa hidráulica y camisa de mortero.
F.TS.1	Forjado de viguetas in situ sobre espacio ni habitable, con baldosa hidráulica y camisa de mortero.
F.TS.2	Forjado de viguetas prefabricadas sobre cámara sanitaria, con baldosa hidráulica y camisa de mortero.
F.TB.1	Forjado de viguetas metálicas sobre espacio no habitable, con baldosa hidráulica y camisa de mortero.
F.TB.2	Forjado de viguetas in situ sobre espacio no habitable, con baldosa hidráulica y camisa de mortero.

Tabla 5. Soluciones de suelos.

a) Comportamiento térmico

Los suelos se dividen en tres grupos atendiendo a su comportamiento energético. En la Figura 3, se observa claramente estos tres grupos. El primero está formado solo por la solución S1, la cual tiene un bajo valor de transmitancia térmica y un valor alto de desfase, siendo el suelo que mejor comportamiento térmico tiene. El grupo formado por los suelos TB1, TB2, FTS1 y FTS2 tienen en común un bajo valor de transmitancia térmica y un bajo valor de desfase. Por último, el suelo FS1 tiene un alto valor de transmitancia térmica y un bajo valor de desfase, caracterizándolo como el suelo que peor comportamiento energético tiene.

Suelo grupo 1 S1

Suelo grupo 2 TB1, TB2, FTS1, FTS2

Suelo grupo 3 FS1

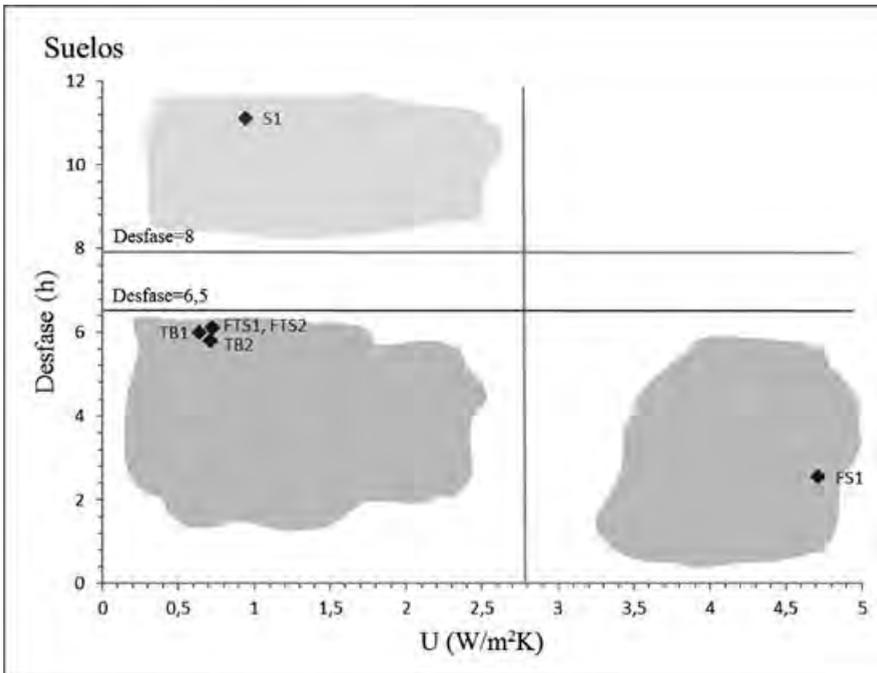


Figura 3. Comportamiento energético de los suelos.

No se ha evaluado su comportamiento frente al ruido, ya que no hay exigencia en esta partición.

#### 4. RESULTADOS DE DEMANDA Y AISLAMIENTO ACÚSTICO

De acuerdo a [13] la fachada es la variable que interviene en la demanda energética, tanto de calefacción como de refrigeración, que más influye. Del grupo de edificios estudiado, las demandas más altas corresponden con los bloques que tienen F15. La demanda energética de los bloques que disponen de parte de su solución de fachada F15, con porcentajes que varían entre el 16 y el 34%, la demanda energética de calefacción varía entre 110,68 y 148,22 Kw/m<sup>2</sup>·año. Además estos bloques tienen cubierta con cámara de aire y suelo del grupo 2. En cuanto a la demanda energética de refrigeración, estos bloques también corresponden con los valores más altos del caso de estudio con valores entre 14,22 y 21,52 Kw/m<sup>2</sup>·año.

En cuanto a aislamiento acústico, suponiendo la misma solución de hueco para todos los recintos, los peores resultados de diferencia de niveles estandarizada  $D_{2m,nt,Air}$  no los obtienen los bloques con la fachada F15 como cabría esperar, posiblemente por las dimensiones de los recintos interiores y las dimensiones de los huecos.

#### 5. CONCLUSIONES

En la demanda energética de los edificios intervienen muchos factores como aspectos geométricos, de soleamiento y constructivos. En cuanto al comportamiento acústico de los edificios, es determinante tanto los elementos de la envolvente acústica como el nivel de ruido exterior. Es de sobra comprobado que es preciso rehabilitar energéticamente y acústicamente los edificios existentes para poder obtener adecuarse a los estándares actuales. Sin embargo, esta comunicación quiere constatar los diferentes comportamientos que podemos encontrar en los edificios existentes, que sería conveniente conocer a la hora de plantear una rehabilitación energética y acústica.

Se ha comprobado cómo algunas soluciones de la envolvente, sobretodo de fachada, son muy masivas y tienen comportamientos aceptables si analizamos su comportamiento dinámico además del estático. Además, estos elementos masivos tienen un comportamiento acústico óptimo, por lo que podrían conseguirse buenos niveles de aislamiento acústico únicamente cambiando el hueco.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS (Y CITAS EN EL TEXTO)

- [1] International Energy Agency (IEA), Energy consumption by sector, (2015). <http://www.eia.gov/totalenergy/data/annual/> (accessed September 30, 2016).
- [2] INE, Censo de Población y Vivienda 2011, Madrid, 2011.
- [3] Presidencia del Gobierno, Norma Básica de Edificación NBE-CT-79, sobre condiciones térmicas en los edificios, (1979).
- [4] World Health Organization, World Health Organization, (2016).
- [5] Parlamento Europeo y el consejo de la Union Europea, Decisión Número 1386/2013/UE Des Parlamento Europeo y del Consejo relativa al Programa General de Acción de la Unión en materia de Medio Ambiente hasta 2020«Vivir bien, respetando los límites de nuestro planeta», (2013).
- [6] M. Monzón, B. López-Mesa, Buildings performance indicators to prioritise multi-family housing renovations, *Sustain. Cities Soc.* 38 (2018) 109–122. doi:10.1016/j.scs.2017.12.024.
- [7] F. Kurtz, M. Monzón, B. López-Mesa, Obsolescencia de la envolvente térmica y acústica de la vivienda social de la postguerra española en áreas urbanas vulnerables. El caso de Zaragoza, *Inf. La Construcción.* 67 (2015) m021. doi:10.3989/ic.14.062.
- [8] Ministerio de Fomento, Documento de Apoyo DA DB-HE1, (2013).
- [9] Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, Catálogo de elementos constructivos del CTE, 3 (2010) 141. [http://www.codigotecnico.org/web/recursos/aplicaciones/contenido/texto\\_0012.html](http://www.codigotecnico.org/web/recursos/aplicaciones/contenido/texto_0012.html).
- [10] AENOR-CEN, Prestaciones térmicas de los productos y componentes para edificación. Características térmicas dinámicas. Métodos de cálculo. (ISO 13786: 2011), (2011).
- [11] K.O. Ballagh, Accuracy of Prediction Methods for Sound Transmission Loss, in: 3rd Int. Congr. Expo. Noise Control Eng., Prague, n.d.
- [12] S. Dominguez Amarillo, S.S. J., I. Oteiza San Jose, La envolvente energética de la vivienda social en el periodo 1939-1979. El caso de Sevilla, Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, Sevilla, 2015.
- [13] M. Monzón, B. López-Mesa, Simplified model to determine the energy demand of existing buildings. Case study of social housing in Zaragoza, Spain, *Energy Build.* 149 (2017) 483–493. doi:10.1016/j.enbuild.2017.04.039.

## UTILIZACIÓN Y ACCESIBILIDAD, EVOLUCIÓN Y SITUACIÓN ACTUAL

MÍNGUEZ TOLSADA, CESÁREO

*Gerencia Municipal de Urbanismo de Albacete, Albacete, España*

*E-mail: c.minguez@sciab.es*

**PALABRAS CLAVE:** utilización; accesibilidad; ajustes; razonables.

### RESUMEN

Bajo el enfoque de mi experiencia como Técnico Municipal, y también desde la perspectiva que me ofrece ser el representante del CGATE en la Comisión Técnica de seguimiento del DB-SUA en el Ministerio de Fomento, la comunicación abordará cuestiones tales como:

- La evolución de la normativa relacionada con la accesibilidad y su situación actual.
- La conflictividad existente en torno al DB-SUA:
  - Documento no válido para regular las intervenciones en edificios existentes.
  - Problemática derivada de los Comentarios del DB-SUA y del DA DB-SUA/2.
  - Coexistencia con las normativas autonómicas.
- La trascendencia del contenido del DB-SUA. Divulgación y formación.
- Los ajustes razonables.
- Accesibilidad universal vs accesibilidad particular.
- La necesidad de establecer unas exigencias menos restrictivas para intervenciones en edificios existentes. Ya sea mediante una modificación del DB-SUA o mediante un documento complementario, pero de carácter reglamentario.

## 1. INTRODUCCIÓN

La accesibilidad ha sido la gran ausente u olvidada, en el sector de la edificación, durante muchos años. Señalaré algunas situaciones personales que pueden corroborarlo:

- Cursé estudios de Arquitectura Técnica, entre los años 1984-1987, y en el Programa de Estudios no creo recordar ninguna asignatura, o parte de ella, relativa a la accesibilidad.
- Realicé en el año 1990 pruebas para ser Arquitecto Técnico Municipal, y en el temario de la oposición no había ningún tema relativo a la accesibilidad.
- En 1994, ya como Técnico Municipal, asistí en Toledo a una jornada denominada “Por una Comunidad Castellano-Manchega sin Barreras”, organizada por la Confederación de Minusválidos Físicos de Castilla-La Mancha, y “descubrí” que existía normativa técnica, tanto estatal como autonómica, al respecto:
  - La Orden del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo de 3 de marzo de 1980, sobre características de los accesos, aparatos elevadores y condiciones interiores de las viviendas para minusválidos proyectadas en inmuebles de protección oficial.
  - En Castilla-La Mancha, el Decreto 71/1.985, de 9 de Julio, sobre Eliminación de Barreras Arquitectónicas (D.O.C.M. nº 28 de 16-07-85) y la Orden de la Consejería de Política Territorial, de 7 de abril de 1.986 (D.O.C.M. nº 28 de 10-06-86), que lo desarrollaba.
  - El Real Decreto 556/1989, de 19 de mayo, por el que se arbitran medidas mínimas sobre accesibilidad en los edificios. (B.O.E. nº 122 de 23-05-89). Establecía exigencias dimensionales mínimas y tenía carácter supletorio respecto de las disposiciones de las Comunidades Autónomas. Reseñar que es la primera vez que se utiliza el término “*accesibilidad*” en el nombre de una norma.
- A partir de ese momento, pude comprobar las caras de estupor de los solicitantes de licencias y de los técnicos proyectistas, cuando les requería el cumplimiento de lo establecido en estas normas.

Ahora la situación es bien distinta, pues se ha evolucionado desde el concepto inicial de eliminación de barreras arquitectónicas, para unos pocos, hasta el de accesibilidad universal y diseño para todos, como un derecho consustancial a la persona [1].

## 2. EVOLUCIÓN DE LA NORMATIVA RELACIONADA CON LA ACCESIBILIDAD

Relaciono a continuación, por orden cronológico, las normas que he tenido conocimiento y he usado, en mayor o menor medida, en el ejercicio de mi profesión:

- Ley 1/1.994, de 24 de mayo, de Accesibilidad y Eliminación de Barreras de Castilla-La Mancha (D.O.C.M. nº 32 de 24-06-94). Mandataba al Gobierno Regional aprobar un Código de Accesibilidad.
- Decreto 158/1.997, de 2 de diciembre, del Código de Accesibilidad de Castilla-La Mancha (D.O.C.M. nº 54 de 5-12-97).

- Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación (LOE), (B.O.E. nº 266 de 6-11-99). Establece un plazo de dos años para aprobar un Código Técnico de la Edificación, en el que se establezcan las exigencias básicas que deben cumplir los edificios, en relación con los requisitos básicos relativos a la seguridad y a la habitabilidad, dejando de lado los requisitos básicos relativos a la funcionalidad, entre los que se incluía la accesibilidad.
- Ley 51/2003, de 2 de diciembre, de Igualdad de Oportunidades, No Discriminación y Accesibilidad Universal de las personas con discapacidad (LIONDAU), (B.O.E. nº 289 de 3-12-03). Estableció, en su artículo 10 y en su disposición final novena, que el Gobierno regularía, sin perjuicio de las competencias atribuidas a las comunidades autónomas y a las corporaciones locales, unas condiciones básicas de accesibilidad y no discriminación que garanticen unos mismos niveles de igualdad de oportunidades a todos los ciudadanos con discapacidad, en los distintos ámbitos de aplicación de la ley, entre los que figuran los edificios.
- Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación (CTE), (B.O.E. nº 74 de 28-03-06). Desarrolla el requisito básico relativo a la Seguridad de Utilización, mediante el Documento Básico de Seguridad de Utilización (DB-SU), pero no desarrolla el requisito básico relativo a la Accesibilidad. Obedeciendo a la LOE, pero obviando la LIONDAU.
- Real Decreto 1371/2007 (BOE nº 254 de 23-10-07) que modifica el DB-SU. Posteriormente, se publican correcciones de errores y erratas en el BOE de 20-12-07 y en el BOE 25-01-08.
- Real Decreto 505/2007, de 20 de abril, (B.O.E. nº 113 de 11-05-07), por el que se aprueban las condiciones básicas de accesibilidad y no discriminación de las personas con discapacidad para el acceso y utilización de los espacios públicos urbanizados y edificaciones. En su disposición final tercera, mandató la incorporación de dichas condiciones al CTE, como exigencia básica en la Parte I, y como un Documento Básico en la Parte II.
- Orden VIV/984/2009 (BOE 23-04-09), que vuelve a modificar el DB-SU.
- Real Decreto 173/2010, de 19 de febrero, (B.O.E. nº 61 de 11-03-10), por el que se modifica el CTE, en materia de accesibilidad y no discriminación de las personas con discapacidad. Modifica la Parte I, el Documento Básico de Seguridad en caso de Incendio (DB-SI) y el DB-SU, que a partir de ahora pasa a denominarse DB-SUA. Se desarrolla, así el requisito básico relativo a la Accesibilidad (que no abordó el CTE inicial, pero al que si obligaba la LIONDAU y el RD 505/2007), añadiendo la Sección SUA-9, pero también modificando el DB-SI y otras Secciones del DB-SU. Nace aquí el Documento Básico de Seguridad de Utilización y Accesibilidad (DB-SUA) que, a día de hoy, aún continúa vigente, sin haber sufrido modificación alguna.

Desde El RD 173/2010, en cuanto a Normativa Técnica se refiere, no se ha promulgado ninguna norma con carácter reglamentario, aunque si es verdad que, en junio y diciembre de cada año, se publican en la web del CTE, nuevas versiones del DB-SUA en las que se van actualizando los comentarios que introduce el Ministerio de Fomento. También se han publicado tres Documentos de Apoyo (DA), que cito en el siguiente apartado. Si bien, hay que destacar que tanto los comentarios como los DA no tienen carácter reglamentario, sino meramente orientativo e informativo. [2]

Si se han promulgado otras leyes o reales decretos que, sin tener un carácter técnico, han incidido notablemente en la accesibilidad de las edificaciones:

- Real Decreto 233/2013, de 5 de abril, por el que se regula el Plan Estatal de fomento del alquiler de viviendas, la rehabilitación edificatoria, y la regeneración y renovación urbanas, 2013-2016 (BOE nº 86 de 10-04-13). Su novedad más significativa es la inclusión, en su anexo II, de un modelo-tipo del Informe de Evaluación del Edificio (IEE). Actualmente, está prorrogado por el Real Decreto 637/2016, de 9 de diciembre (BOE nº 298 de 10-12-16).
- Ley 8/2013, de 26 de junio, de Rehabilitación, Regeneración y Renovación urbanas (B.O.E. nº 153 de 27-06-13). Modifica múltiples leyes y reales decretos, entre ellos el CTE. Es de reseñar que modifica el art. 2 de la Parte I del CTE (en el mismo sentido que el SUA ya había recogido en sus criterios generales de aplicación), impone el IEE (informe en el que hay que analizar la accesibilidad de los edificios, además de la eficiencia energética y el estado de conservación) para los edificios de tipología residencial de vivienda colectiva, así como un calendario para su implantación, y especifica que se entienda por carga desproporcionada para determinar si un ajuste es razonable, aunque solo para edificios en régimen de propiedad horizontal.
- Real Decreto Legislativo 1/2013, de 29 de noviembre, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley General de Derechos de las Personas con Discapacidad y de su Inclusión Social (LGDPDIS), (BOE nº 289, de 3-12-13). Deroga la LIONDAU y establece como fecha límite para los ajustes razonables en los edificios, el 4 de diciembre de 2017.
- Real Decreto Legislativo 7/2015, de 30 de octubre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Suelo y Rehabilitación Urbana. (BOE nº 261, de 31-10-15). Deroga, casi en su totalidad, la Ley 8/2013; a la vez que, prácticamente, la transcribe.

### 3. SITUACIÓN ACTUAL DEL DB-SUA

A día de hoy, en la web [www.codigotecnico.org](http://www.codigotecnico.org) se pueden encontrar los siguientes documentos:

- Documento con modificaciones señaladas del RD 173/2010. DB-SUA-M
- Documento con comentarios del Ministerio de Fomento (versión 26 diciembre 2017). DB-SUA-C

Recomiendo la utilización de este último como documento de trabajo y consulta, pues los comentarios que incorpora el texto resultan de gran utilidad para una mejor comprensión e interpretación del articulado. Sin olvidar su carácter meramente orientativo e informativo.

También se pueden encontrar estos tres Documentos de Apoyo (DA):

- DA DB-SUA/1 - Clasificación de los vidrios según sus prestaciones frente a impacto y su forma de rotura según la norma UNE-EN 12600:2003.
- DA DB-SUA/2 – Adecuación efectiva de las condiciones de accesibilidad en edificios existentes (versión 26 diciembre 2017). Denominado hasta diciembre de 2015, “Criterios para la utilización de elementos y dispositivos mecánicos”.
- DA DB-SUA/3 - Resbaladidad de suelos.

## 4. CONFLICTIVIDAD EN TORNO AL DB-SUA

### 4.1 Documento no válido para regular las intervenciones en edificios existentes

Tal y como ya expuse y justifiqué en [3], el DB-SUA, con su actual redacción, no es un documento válido para regular las intervenciones en edificios existentes, pues al igual que otros Documentos Básicos del CTE, está enfocado a regular la edificación de Nueva Planta. Y la fórmula que ha adoptado el Ministerio para paliar esta limitación del DB-SUA, consistente en la sucesiva publicación de versiones con comentarios y Documentos de Apoyo, no parece la más adecuada. Pues a mi entender, algunos comentarios se han excedido de su misión aclarativa, contradiciendo incluso el aspecto que comentan, o tienen la enjundia suficiente para incorporarse al articulado. Y no digamos del DA DB-SUA/2, que muchos técnicos creen que forma parte del cuerpo normativo del DB-SUA, y que su cumplimiento supone cumplir con el DB-SUA.

Sirva un ejemplo para comprender lo dicho. En agosto de 2010, a los pocos meses de la promulgación del DB-SUA, y cuando su aplicación todavía no era obligatoria, el Ministerio nos pidió opinión sobre la modificación que tenían prevista del apartado 1.2.6 de la Sección SUA-9, relativo a la dotación de servicios higiénicos accesibles, por considerarlo de difícil aplicación en locales de poca superficie y ocupación. Pues bien, al final la modificación prevista no vio la luz, pero si se incluyó el contenido de la misma en un comentario (versión diciembre 2014) y en el DA DB-SUA/2 (versión diciembre 2015). Si un asunto no está bien regulado, no se puede solucionar con un comentario o un DA que dice algo distinto del articulado, sino que hay que modificar el articulado. Es curioso que en el modelo-tipo de IEE que incluye el RD 233/2013, se incluya el contenido del comentario en lugar del que contempla el articulado. Quizás se daba por hecha una modificación del DB-SUA, que finalmente no se materializó.

Considero una irresponsabilidad del Ministerio el hecho de mantener el DB-SUA, y al mismo tiempo descargar la responsabilidad para “saltárselo”, a base de comentarios y DA, sobre “la autoridad de control edificatorio”, que en muchos casos son Ayuntamientos pequeños, cuyos técnicos y concejales no saben cómo afrontar la situación en que se les coloca.

Cuando un documento hay que comentarlo o explicarlo tanto es porque algo no está funcionando bien. Es evidente que se hace necesario establecer, reglamentariamente, otras exigencias menos restrictivas para intervenciones en edificios existentes.

### 4.2 Problemática derivada del DA DB-SUA/2 y de algunos Comentarios del DB-SUA

Las consecuencias de intentar solventar la inadecuación del DB-SUA para regular la intervención en edificios existentes, a base de Comentarios y Documentos de Apoyo, no reglamentarios, son múltiples:

- Discrepancias entre diferentes Administraciones, e incluso entre Técnicos de la misma Administración. Puesto que al tratarse de documentos informativos y de ayuda para la mejor aplicación y comprensión de los DB, que obviamente no tienen carácter reglamentario, su aplicación es potestativa (que no reglada) por los técnicos municipales encargados de informar las preceptivas licencias de obras.
- Excesiva presión sobre el Técnico Municipal. Pues tanto los políticos como los soli-

citantes creen que el DA DB-SUA/2 y los Comentarios tienen carácter reglamentario, al emanar del Ministerio.

- Excesiva responsabilidad sobre el Técnico proyectista. Pues, según el art 2 de la Parte I del CTE, la justificación de la inviabilidad o incompatibilidad de aplicación, o las limitaciones derivadas de razones técnicas, económicas o urbanísticas, recae bajo el criterio y responsabilidad del proyectista. Yo pienso que, cuando menos, debería compartirse con el promotor.
- Aplicaciones laxas. Si el Ministerio no se complica en afrontar la situación y poner unos límites, no lo voy a hacer yo; piensan algunos Técnicos Municipales.
- Aplicaciones rigurosas. Puesto que algunos comentarios se exceden de su cometido, y no voy a aplicar unos si y otros no, pues no aplico ninguno; piensan otros Técnicos Municipales.
- Inseguridad jurídica del promotor de una actuación sobre si obtendrá la licencia y/o subvención correspondiente.
- Aumento en el número de denuncias de los “vecinos no interesados” en obtener la licencia.

### **4.3 Conflicto con las Normativas Autonómicas**

La coexistencia del DB-SUA con las normativas sobre accesibilidad de las diferentes Comunidades Autónomas, causa confusión entre técnicos y promotores, debido a la falta de coincidencia en algunas de sus determinaciones. En ese sentido, no se ha conseguido que el DB-SUA sea ese referente unificador efectivo que se hacia necesario en la exposición de motivos del RD 173/2010, para acabar con la dispersión normativa existente. [3]

Es difícil de entender que las dimensiones de un ascensor o de un pasillo, la pendiente de una rampa, o las características de un aseo, sean diferentes en dos normativas que están en vigor al mismo tiempo, en un mismo territorio y para regular un mismo aspecto.

## **5. TRASCENDENCIA DEL CONTENIDO DEL DB-SUA. DIVULGACIÓN Y FORMACIÓN**

Para mí, la Accesibilidad Universal (AU) y el Diseño Para Todos (DPT) es aquel que nos permite disfrutar de los edificios por sus bondades y no, padecerlos por sus carencias y limitaciones. En la vida cotidiana, afectan más a las personas los contenidos que regula el DB-SUA que los del DB-SI. Que una puerta se abra con comodidad, que si es de vidrio esté señalizada o que la escalera tenga una anchura suficiente, tiene más trascendencia en el día a día, a que exista una salida a menos de 25 m. o que la puerta abra en el sentido de la evacuación. Rara vez un edificio sufre un incendio, pero si que lo utilizamos a diario. Sin embargo, el DB-SI goza de un extendido conocimiento, mientras que el DB-SUA, en el que está incluida la accesibilidad, parece de segundo orden. Me llama la atención la labor de concienciación, divulgación y formación que de la seguridad en caso de incendio se ha hecho, y creo que ese camino lo tiene que recorrer el mundo de la utilización y la accesibilidad. [4]

Cuando se decidió incorporar la accesibilidad al CTE, me pareció muy acertada la decisión del Ministerio de Fomento de incluirla con la seguridad de utilización (DB-SU), y dar lugar al DB-SUA, porque la accesibilidad es precisamente eso, algo que se utiliza a diario

y que nos hace la vida más fácil. No hay que concebirla como un imperativo legal que hay que aplicar a nuestro proyecto, una vez que lo tenemos bastante avanzado.

Para que se llegue a esa concepción, es fundamental la formación de los técnicos, tanto en las Escuelas Universitarias, como posteriormente. Esa formación tiene que ser transversal a todas las asignaturas. Igual que te enseñan a proyectar algo y es básico que sea económico y de calidad, otro requisito fundamental es que sea accesible. Cualquier decisión que tomemos tiene que estar presidida desde el punto de vista de la accesibilidad, igual que desde el punto de vista de la economía o de la calidad.

Nuestros Colegios vienen realizando una importante labor de formación y divulgación, que debe intensificarse en la profundización del contenido del DB-SUA. Esta iniciativa redundaría en una mayor calidad de los proyectos de reforma y rehabilitación redactados por los Arquitectos Técnicos, y por ende, en los edificios y establecimientos resultantes. Máxime, en momentos en que la rehabilitación de los edificios, con la finalidad de mejorar sus condiciones de accesibilidad, constituye un ámbito de ejercicio profesional con gran futuro en el sector de la edificación.

## **6. AJUSTES RAZONABLES**

### **6.1 Evolución de los plazos para la adaptación de edificios**

La evolución de los plazos para que las condiciones básicas de accesibilidad y no discriminación para el acceso y utilización de los espacios públicos urbanizados y las edificaciones, fuesen obligatorias en los edificios existentes, que sean susceptibles de ajustes razonables, ha sido la siguiente:

- La LIONDAU, en 2003, en su Disposición Final Novena, es la primera Ley que establece un plazo, comprendido entre el 4 de diciembre de 2018 y el 4 de diciembre de 2020.
- El Real Decreto 505/2007, en su Disposición Final Quinta, decía que serían obligatorias a partir del 1 de enero de 2019.
- El Real Decreto 173/2010, modifica la Disposición Final Quinta del RD 505/2007, pero mantiene la fecha del 1 de enero de 2019.
- La Ley 26/2011, de Adaptación Normativa a la Convención Internacional sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad, modificó la Disposición Final Novena de la LIONDAU, estableciendo el plazo entre el 4 de diciembre de 2015 y el 4 de diciembre de 2017.
- La LGDPDIS (RDL 1/2013), que derogó la LIONDAU, en su Disposición Adicional Tercera, establece la fecha límite del 4 de diciembre de 2017, para que todos los espacios públicos urbanizados y edificaciones existentes el 4 de diciembre de 2010, que sean susceptibles de ajustes razonables, satisfagan las condiciones básicas de accesibilidad y no discriminación. Se entiende que los posteriores a esa fecha (4-12-10), deben cumplir plenamente el DB-SUA. Aunque el Real Decreto 173/2010, realmente, establecía que el DB-SUA era de aplicación obligatoria a los edificios que solicitasen licencia a partir del 12-09-10.

## 6.2 Que se entiende por Ajustes Razonables

En primer lugar, hay que saber cuáles son las condiciones de accesibilidad a las que hay que adecuar los edificios existentes. El artículo 23 de la LGDPDIS (RDL 1/2013), indica que *“El Gobierno, sin perjuicio de las competencias atribuidas a las comunidades autónomas y a las entidades locales, regulará las condiciones básicas de accesibilidad y no discriminación que garanticen los mismos niveles de igualdad de oportunidades a todas las personas con discapacidad”*. Lo cual nos lleva a pensar que estas condiciones son las reguladas en el DB-SUA, y no las establecidas por cada comunidad autónoma o entidad local, que sólo serían de aplicación en ese ámbito autonómico o local.

Hay que destacar que estas condiciones básicas de accesibilidad no serían solo las contempladas en la Sección SUA-9, sino también las incluidas en otras Secciones del DB-SUA e incluso en el DB-SI. Para saber exactamente cuáles son las condiciones básicas de accesibilidad podemos acudir a la Tabla 1 del DA DB-SUA/2.

Existe gran controversia en torno a que se entiende por ajustes razonables. Según el punto 5 del artículo 2 del RDL 7/2015, se definen como *“las medidas de adecuación de un edificio para facilitar la accesibilidad universal de forma eficaz, segura y práctica, y sin que supongan una carga desproporcionada. Para determinar si una carga es o no proporcionada se tendrán en cuenta los costes de la medida, los efectos discriminatorios que su no adopción podría representar, la estructura y características de la persona o entidad que haya de ponerla en práctica y la posibilidad que tengan aquéllas de obtener financiación oficial o cualquier otra ayuda. Se entenderá que la carga es desproporcionada, en los edificios constituidos en régimen de propiedad horizontal, cuando el coste de las obras repercutido anualmente, y descontando las ayudas públicas a las que se pueda tener derecho, exceda de doce mensualidades ordinarias de gastos comunes.”* Copia literal de lo que ya establecía el artículo 2 de la Ley 8/2013.

El artículo 2 de la LGDPDIS (RDL 1/2013), que es quien impone la fecha de 4-12-2017, los define como *“son las modificaciones y adaptaciones necesarias y adecuadas del ambiente físico, social y actitudinal a las necesidades específicas de las personas con discapacidad que no impongan una carga desproporcionada o indebida, cuando se requieran en un caso particular de manera eficaz y práctica, para facilitar la accesibilidad y la participación y para garantizar a las personas con discapacidad el goce o ejercicio, en igualdad de condiciones con las demás, de todos los derechos.”* No remite a la definición de la Ley 8/2013, por entonces vigente, ni cita el límite de doce mensualidades para edificios en régimen de propiedad horizontal.

El Ministerio de Fomento, en un intento de acotar que se entiende por ajustes razonables, inició la redacción de un Documento de Apoyo, que denominó *“Ajustes razonables de las condiciones técnicas básicas de accesibilidad en edificios existentes, DA DB-SUA/X”*, y que nos fue remitido a los miembros de la Comisión Técnica CTE-SUA, en octubre de 2014, para que diésemos nuestra opinión. Su objeto era servir de apoyo en el cumplimiento de la obligación de adecuar los edificios, derivada de la LGDPDIS (RDL 1/2013). Sin embargo, aquel mismo documento acabó publicándose oficialmente, en diciembre de 2015, con el nombre *“Adecuación efectiva de las condiciones de accesibilidad en edificios existentes, DA DB-SUA/2”*. Sustituyendo, al que hasta entonces se había denominado *“Criterios para la utilización de elementos y dispositivos mecánicos, DA DB-SUA/2”*. No obstante, y pese a la decisión final del Ministerio de cambiarle el nombre, se podría entender que cuando hay

que adecuar un edificio a las condiciones básicas de accesibilidad, y no se puede satisfacer plenamente lo establecido en la Tabla 1, se pueden considerar ajustes razonables las tolerancias admisibles incluidas en la Tabla 2 del DA DB-SUA/2. Dejando claro que esta posibilidad es solo para edificios con solicitud de licencia de obras anterior al 12-09-2010 (pues el resto de edificios, deben cumplir todo), y siempre y cuando se justifique la imposibilidad de alcanzar la plena adecuación.

Además, según el DA DB-SUA/2, si se justifica que no es urbanística, técnica o económicamente viable alcanzar las condiciones recogidas en la Tabla 2, se pueden aplicar otras medidas que faciliten en el mayor grado posible, el acceso y la utilización del edificio o establecimiento por la mayor diversidad posible de situaciones personales. Si bien, en este caso es bajo el criterio y responsabilidad del proyectista. Aunque, según el artículo 2 de la Parte I del CTE, la aplicación de otras medidas es siempre bajo criterio y responsabilidad del proyectista, con independencia de que se alcance a satisfacer lo establecido en la Tabla 2, o no. Es de reseñar, también, que el citado artículo 2 entra en contradicción consigo mismo al decir que *“no se podrán reducir las condiciones preexistentes relacionadas con las exigencias básicas, cuando dichas condiciones sean menos exigentes que las establecidas en los DB del CTE”*.

En mi opinión, y en función de lo establecido en el art 5 de la Parte I del CTE, cuando se adoptan soluciones alternativas, entendidas como aquéllas que se aparten total o parcialmente de los DB, además de ser bajo la responsabilidad del proyectista, también se debería requerir la previa conformidad del promotor. Esto evitaría a las Administraciones muchos problemas con las denuncias.

Sintetizando mucho, podría concluirse que en sector de la edificación se entiende que, cuando no se puede satisfacer plenamente el DB-SUA, hay dos niveles:

- nivel 1: cumplir la Tabla 2 del DA DB-SUA/2; que supone obtener la correspondiente licencia,
- nivel 2: no cumplir la citada Tabla; en cuyo caso, no sabes si la obtendrás, o no.

Cuando en realidad, reglamentariamente, estás fuera de normativa en ambos niveles. Por tanto, se hace necesario regular la intervención en edificios existentes, mediante la inclusión del contenido de la citada Tabla 2 en el DB-SUA, o en otro Documento con carácter reglamentario, para acabar con la inseguridad jurídica que la situación actual supone.

## **7. ACCESIBILIDAD PARTICULAR VS ACCESIBILIDAD UNIVERSAL**

Está muy extendido el concepto de “mejor esto que nada”, refiriéndose a que si no es posible adecuar los edificios satisfaciendo el DB-SUA, cualquier actuación que se haga (incluso, sin unos umbrales mínimos) será mejor que dejarlo en el estado actual. Yo, por el contrario, pienso que cuando se va a actuar sobre un edificio debe prevalecer la accesibilidad universal (AU) y el diseño para todos (DPT) sobre la accesibilidad particular, entendida ésta como la que solo resuelve un problema puntual.

Si queremos tener un parque edificado de calidad, no podemos permitir que se acometan actuaciones dirigidas a solucionar problemas particulares y actuales, por acuciantes que sean; sino que tenemos que pensar a largo plazo, y con el objetivo de la AU y el DPT. Pongo un ejemplo: un señor que necesita andador para desplazarse, vive en la 4ª planta de

un edificio de viviendas y la Comunidad tiene pocos recursos económicos. Se plantea la posibilidad de instalar un ascensor, y la solución más sencilla y económica es instalar un ascensor de 0,60x0,90 m. (en el que no cabe una silla de ruedas) en el ojo de la escalera y reducir el ancho de la misma. Si el Ayuntamiento, se hace cargo de la situación expuesta y autoriza esta actuación, resolverá la coyuntura actual, pero no estará resolviendo los problemas de accesibilidad de ese edificio. Es más, cuando ese señor necesite una silla de ruedas para moverse, estaremos en el punto de partida y tendremos, ya de por vida, un edificio no accesible universalmente. La solución ha resuelto el problema actual, pero no ha aportado calidad al edificio.

Tanto el técnico proyectista como la Administración, deben hacer todos los esfuerzos posibles para conseguir que los edificios se reformen bajo el criterio de la AU y el DPT, y no para resolver un problema puntual. Siempre existen fórmulas alternativas que, aunque más costosas, suponen una mejora para cualquier usuario, actual o futuro. Por ejemplo, se puede instalar un *ascensor accesible*, o al menos uno en el que quepa una silla de ruedas, en la vía pública, en un patio, u ocupando parte de las viviendas. Y si estas soluciones no fuesen posibles o viables, otra alternativa a instalar esa “caja de cerillas de 0,60x0,90 m.” reduciendo el ancho de la escalera, podría ser que los Servicios Sociales del Ayuntamiento le proporcionasen a este señor una vivienda en un edificio con *itinerario accesible* desde la vía pública hasta ella. Además, esta vivienda podría ser una *vivienda accesible para usuario en silla de ruedas*, requisito que posiblemente que no cumpla su vivienda actual.

Conscientes de las dificultades que entraña conseguir la accesibilidad plena en los edificios existentes, considero que deben establecerse unos umbrales mínimos, por debajo de los cuales no se deberían autorizar ni subvencionar intervenciones.

El afán de nuestros gobernantes por reducir el número de desempleados (ya sea mediante subvenciones o autorizaciones), la necesaria reactivación del sector de la edificación, las acuciantes situaciones personales, o la impericia de los técnicos, no pueden ser excusas para que las actuaciones sobre edificios existentes se alejen de la AU y el DPT, adoptándose decisiones cortoplacistas, guiadas únicamente por razonamientos económicos o de sencillez de ejecución. Además, estas soluciones al margen de la AU y el DPT, aunque en un principio resuelven la situación particular, acaban siendo mal valoradas por los propios interesados cuando cambia su situación personal, o la de otros vecinos (lesiones, embarazos, crianza de niños, etc.).

Finalmente, indicar que estas intervenciones no crean valor añadido alguno para los inmuebles, llegando en algunos casos incluso a la depreciación, por menoscabar las condiciones de seguridad preexistentes del edificio, sin resolver la accesibilidad satisfactoriamente.

## 8. CONCLUSIONES

- Es necesario un documento normativo que regule las intervenciones en edificios existentes, de obligatoria observancia para todos los agentes implicados. Ya sea mediante una modificación del DB-SUA, o mediante un documento complementario, pero con carácter reglamentario
- Debe haber una gradación de las subvenciones, de tal forma que éstas sean proporcionales al nivel de cumplimiento de la normativa, conseguido con la intervención.
- Sería conveniente establecer unos umbrales mínimos, por debajo de los cuales no

- se deberían subvencionar, e incluso autorizar, intervenciones en edificios existentes.
- Se hace necesaria una formación transversal de los técnicos en materia de accesibilidad.
  - Se debe profundizar en la divulgación de la trascendencia del contenido del DB-SUA.
  - Si para determinar si una carga es o no proporcionada, según el RDL 7/2015, hay que tener en cuenta *“los costes de la medida, los efectos discriminatorios que su no adopción podría representar, la estructura y características de la persona o entidad que haya de ponerla en práctica y la posibilidad que tengan aquéllas de obtener financiación oficial o cualquier otra ayuda”*, debería ser un equipo multidisciplinar, integrado por diferentes técnicos, el que emitiera los correspondientes informes, en la tramitación de las licencias y/o subvenciones. Este equipo podría evaluar otros aspectos (económicos, sociales, dominicales, asistenciales, etc.), además del relativo a si el proyecto cumple el CTE y las Normas Autonómicas o Locales, e incluso, ofrecer soluciones alternativas.
  - Se debe extender la implantación del IEE a otros usos, además de a los edificios de tipología residencial de vivienda colectiva.
  - En la evaluación de la accesibilidad que se hace en el IEE, hay que incluir todos los apartados de la Tabla 1 del DA DB-SUA/2, y no solo la Sección SUA-9.
  - Sería conveniente definir qué se entiende por “carga desproporcionada”, a efectos de Ajustes Razonables, en edificios que no estén constituidos en régimen de propiedad horizontal.

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS (Y CITAS EN EL TEXTO)

- [1] Manuel J. Martínez Carrillo (2016). ACCESIBILIDAD CON COHERENCIA. EL AJUSTE RAZONABLE. Comunicación del Libro de Actas de CONTART 2016. Pags. 361-372. <http://www.contart2016.com/docs/libroActas.pdf>.
- [2] Nota informativa sobre las respuestas del Ministerio de Fomento a las consultas del CTE, publicada en el Blog de la Unión de Arquitectos de las Administraciones Públicas de España. <http://uaap4.blogspot.com.es>.
- [3] Cesáreo Mínguez Tolsada (2012). DB-SUA, UN AÑO DESPUÉS. *CERCHA*, nº 111. Pags. 54-57. <http://www.arquitectura-tecnica.com/cercha/pdf/111.pdf>.
- [4] Cesáreo Mínguez Tolsada (2015). LA ACCESIBILIDAD ES COSA DE TODOS. *CERCHA*, nº 124. Pags. 10-16. <http://www.arquitectura-tecnica.com/cercha/web/cercha124/cercha124.html>.

## RESTAURACIÓN DE LA FACHADA RENACENTISTA DEL COLEGIO DE SAN ILDEFONSO DE LA UNIVERSIDAD DE ALCALÁ

DA CASA MARTÍN, FERNANDO<sup>1</sup>; VEGA BALLESTEROS, JUAN MANUEL<sup>2</sup>;  
DELGADO GARCÍA, JORGE CARLOS<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidad de Alcalá - Coordinador Grado Ciencia y Tecnología de la Edificación,  
Guadalajara, España

E-mail: fernando.casa@uah.es,

Web: <http://arquitectura.uah.es/estudios/grado-int.asp?cd=207&plan=G253>

<sup>2</sup> Universidad de Alcalá - Grado Ciencia y Tecnología de la Edificación, Guadalajara, España

E-mail: juanmanuel.vega@uah.es,

Web: <http://arquitectura.uah.es/estudios/grado-int.asp?cd=207&plan=G253>

<sup>3</sup> Universidad de Alcalá - Grado Ciencia y Tecnología de la Edificación, Guadalajara, España

E-mail: jorge.delgado@uah.es,

Web: <http://arquitectura.uah.es/estudios/grado-int.asp?cd=207&plan=G253>

**PALABRAS CLAVE:** “Restauración”, “Patrimonio”, “Cisneros”, “Fachada histórica”.

### RESUMEN

El uso del Patrimonio y su conocimiento son parte íntegra e indisoluble del proceso de conservación del Patrimonio, de nuestro deber de cuidar y transmitir la herencia cultural recibida. Es factible considerar el Patrimonio como una oportunidad para hacer aún mejor las intervenciones, mediante la consideración de la Gestión Integral del Proceso desde su inicio.

Desde agosto de 2016 a abril de 2017, se ha realizado la restauración de la fachada renacentista de la Universidad de Alcalá. La intervención tiene su razón de ser en la necesidad de realizar operaciones de conservación para evitar su degradación, reparar los daños detectados, y recuperar el esplendor de la fachada, que es Monumento Nacional desde 1914,

y la última intervención de gran calado se realizó entre 1914 y 1929. La obtención de la ayuda del Programa del 1.5% cultural del Ministerio de Fomento, permitió la disponibilidad económica necesaria para ello.

El proceso de Restauración de la Fachada Renacentista del Rectorado de la Universidad de Alcalá ha permitido garantizar la conservación del monumento histórico, reparar los daños detectados, y recuperar el esplendor de la fachada, Monumento Nacional y emblema de la ciudad.

Además de las operaciones de recuperación, se han puesto en valor sus elementos físicos históricos, conocidos tras la investigación realizada sobre los múltiples aspectos que influyen, los que se pudieron descubrir durante las obras, así como su significado, respetando las aportaciones de restauraciones valiosas que sin dañar la fachada ni desfigurar traza, estuvieran en buen estado.

## 1. INTRODUCCIÓN

Intervenir en el Patrimonio Arquitectónico Histórico siempre conlleva un alto grado de complejidad. Bien por las características propias del elemento a intervenir, bien por el proceso degenerativo que esté sufriendo, bien por las técnicas a utilizar, o bien por las implicaciones del propio proceso de ejecución.

Además es muy frecuente que este tipo de actuaciones vayan envueltas en un cierto halo de misterio. Las zonas de trabajo presentan vallados opacos, ciegos y cerrados, con mallas de protección opacas, las más de las veces para no mostrar las acciones que se desarrollan, y estar a salvo de críticas, o de actos vandálicos.

En muchas de las ocasiones, ha primado este carácter sobre la funcionalidad del elemento, produciéndose el cierre del edificio durante el proceso de obras, que muchas veces se prolongaba de forma excesiva. Cuando las actuaciones afectan a la fachada del edificio, la necesidad de disponer un andamio como medio auxiliar, y la disposición de una malla de protección, convencional, opaca, hace que además la visualización del elemento también se vea interrumpida.

Desde hace relativo poco tiempo, se han presentado ocasiones en que bien los técnicos, los promotores, los gestores, o las empresas intervinientes, han planteado la opción de realizar “visitas a la obra de carácter público”. Es el conocido como “abierto por obras”. Referencia obligada como iniciática es la experiencia iniciada por las Fundación Santa María la Blanca de la Catedral de Vitoria [1], a la que han seguido muchos ejemplos.

Otro factor fundamental son los altos costes de este tipo de intervenciones, así como la dificultad de disponibilidad económica para hacer frente a los mismos. Esperar a disponer del total de financiación para el total de las necesidades puede implicar el no actuar. Es fundamental disponer de una metodología de trabajo que permita conocer el Bien a intervenir, su problemática, y las potenciales fases de desarrollo, de modo que, con dicho conocimiento se puedan ajustar las acciones y aprovechar las oportunidades que se presente de una disponibilidad factible.

En el caso de la Universidad de Alcalá, se presenta la oportunidad de una cierta disponibilidad económica con la concesión de la subvención del 1.5% cultural del Ministerio de Fomento en diciembre de 2015. La petición fue ajustada en las acciones consideradas estrictamente necesarias. El Presupuesto de la Intervención se elevó a 314.960,80 €. Ello además lleva implícito un proceso de estudio y control del proyecto y de la ejecución muy

exhaustivo para evitar problemáticas, y que quedaba reflejado en el proceso de Licitación. La Empresa adjudicataria de las obras fue KALAM SA., y el plazo de ejecución de las obras fue desde 24/7/2016 a 31/03/2017.

## **2. EL PROCESO DE INTERVENCIÓN. METODOLOGÍA DE ACTUACIÓN**

### **2.1 Breve Referencia Histórica de la fachada**

El Colegio Mayor de San Ildefonso es la actual sede del Rectorado de la Universidad, si bien hay que indicar que siempre fue el centro de la Universidad Histórica desde sus comienzos, y pieza clave del diseño de ciudad universitaria creado por el Cardenal Cisneros. Fue el primer edificio en iniciarse, en 1499, trazado por Pedro Gumiel, comenzando las clases a partir del año 1508 [2].

Entre 1537 y 1553, se sustituyó la fachada original, que respondía a un carácter similar al de los conventos y colegios posteriores, por la actual de carácter monumental realizada por el arquitecto Rodrigo Gil de Hontañón. La fachada se convierte en la imagen emblemática de la Alcalá del Siglo de Oro, y junto con el modelo urbanístico de la Universidad, se exporta a “las américas” (universidades fundadas según el Fuero Nuevo de Alcalá). Buenos ejemplos son la fachada de la Universidad de Texas, o del Teatro Cervantes de Buenos Aires.

En 1914, la fachada y la crujía Norte del Colegio Mayor de San Ildefonso fueron declarados Monumento Nacional, y es un elemento de referencia en la declaración de Patrimonio Mundial a la Universidad y el Centro Histórico de Alcalá de Henares por la UNESCO, en 1998 [3].

La última restauración sobre la fachada en su totalidad se realizó en el periodo entre 1914 y 1929, realizada por Aníbal Álvarez, en ella se sustituyó parte del material pétreo en avanzado estado degenerativo, por otra piedra similar, que posteriormente no se ha comportado igual que la original. Las siguientes intervenciones de carácter muy puntual siendo la de mayor relevancia la intervención en la zona de crestería superior del frontón en 1992.

### **2.2 Estado previo de la fachada**

Como se ha indicado la última gran intervención realizada en la fachada fue a principios del siglo XX, por tanto la sintomatología (figura 1) que sufría es derivada de esta circunstancia. Se realizaron investigaciones específicas y que han sido publicadas en revistas especializadas [4][5].



Figura 1. Imagen de la fachada previa a la intervención. Fuente: Autores.

En 2015 las problemáticas detectadas fundamentalmente son por alteraciones ambientales (agua, hielo, excrementos de aves, hongos, musgos y plantas), sobre los materiales originales (de gran antigüedad), que provocan la pérdida de la pátina de protección, degradación superficial de la piedra, con algunas fisuras y juntas defectuosas, con acumulación de suciedad y pérdida del color y las formas de los elementos decorativos.

Concretando, los daños de la fachada se pueden agrupar en los siguientes conceptos: a) **ARENIZACIÓN** del zócalo de granito, debida a procesos de capilaridad; b) **DESMORONAMIENTO SUPERFICIAL** de la piedra original del S. XVI, con desgaste de relieves y desprendimiento de arenilla frente al rozamiento; c) **DESCOMPOSICIÓN DE LA PIEDRA REPUESTA** en el S.XX. Estaba más dañada que la original, siendo posible en algunas zonas arrancar fragmentos con la mano y desmenuzarlos hasta formar arena; d) **PÉRDIDA DE PÁTINAS**: Los grupos escultóricos de piedra original conservaban parte de su pátina original, dorada con base de yeso, que los protegía y destacaba sobre los paños de sillería. Estaba perdida en su mayor parte, pero dado su gran valor histórico era necesario conservarla; e) **PÉRDIDA DE VELADURAS**: Algunas esculturas y cornisas repuestas con piedra en 1929 conservaban una veladura rojiza aplicada por Aníbal Álvarez para entonarlos con el resto de la fachada. Debido a su carácter histórico, también debía conservarse; f) **FISURACIONES** en las cresterías de piedra repuesta que habían provocado la caída de fragmentos de piedra. Para evitar accidentes, los pináculos y las guirnaldas que coronan el frontón estaban protegidos por mallas; g) **FALTAS DE MATERIAL** en diversas zonas, producidas por la descohesión superficial de algunos sillares y por la pérdida de aristas de algunas cornisas. Existían algunas fracturas localizadas con pérdida importante de material; h) **ESCORRENTÍAS** que manchaban los paños de sillería ya que las fracturas de cornisas e impostas y la pérdida del mortero de las juntas lo favorecían; i) **ZONAS DISGREGADAS** con pérdidas de material como consecuencia de procesos físico-químicos. Eran más graves en las zonas en contacto con el agua cercanas a las escorrentías; j) **BIODETERIORO** producido por la interacción del agua y los excrementos de aves con la piedra; k) **CAPILARIDAD** en el zócalo, con ataques de sales que habían producido lesiones por la alteración del granito y por la pérdida del mortero de los rejuntados originales; l) **MANCHAS DE HUMEDAD** en

el zócalo, debidas a la humedad de los rellenos existentes bajo el solado de la planta baja de la crujía norte; m) MORTEROS DE CEMENTO aplicados en muchas juntas y en dos sectores junto a los ventanucos de los extremos de la fachada; n) Las CARPINTERÍAS sufrían fallos de ajuste y de estanqueidad, holguras en los herrajes y mal estado de piezas de madera, y las REJAS sufrían oxidaciones, desajustes, deformaciones y desviaciones de algunos elementos decorativos.

### **2.3 Las premisas de la intervención**

Se trata de un proyecto interdisciplinar, redactado a partir de los resultados de la investigación documental y analítica llevada a cabo durante los últimos años desde los puntos de vista arquitectónico, constructivo, arqueológico, petrológico y de restauración patrimonial. Se han aplicado los criterios de intervención actualmente vigentes en la intervención patrimonial [6] así como los criterios propios de la UAH, dentro del proceso consolidado que ha permitido recuperar un conjunto edilicio de gran valor patrimonial protegiendo su autenticidad material y cultural y que ha logrado regenerar el entorno urbano del casco histórico de la ciudad, constituyendo un importantísimo factor de desarrollo económico y social de Alcalá de Henares y del avance experimentado por la ciudad en las últimas décadas.

El objetivo fundamental de la intervención era subsanar los aspectos principales detectados, mediante las operaciones de conservación necesarias para evitar su degradación, reparar los daños detectados, y recuperar el esplendor de la fachada.

Junto con ello, y dentro del proceso de gestión del Patrimonio, se plantea como una oportunidad, más allá de la propia intervención técnica, y desde la propia fase de proyecto, para aplicar el concepto de “abierto por obras”, con el objetivo de conseguir: Recuperar la visualización de la traza del Monumento; Un acercamiento del Monumento a los ciudadanos, que permite verlo y conocerlo desde un punto de vista más próximo “como los propios artesanos que lo construyeron”; Y ampliar el conocimiento del Monumento, con la oportunidad que representa para la investigación, su puesta en valor, y su difusión.

### **2.4 El proceso de ejecución**

El proceso de ejecución de la Intervención en la fachada tenía las siguientes fases principales:

Fase I) LIMPIEZA EN SECO DE LA FACHADA y ELIMINACIÓN DE ELEMENTOS DAÑADOS. Tras el montaje de los elementos auxiliares, las primeras tareas se dedican a la retirada de elementos auxiliares (clavos, restos de antiguos anclajes), para posteriormente realizar un primer proceso de retirada del material más grueso, mediante aspiración y retirada manual (figura 2, izquierda). Esta limpieza se complementa con la eliminación de morteros, juntas, y reparaciones inadecuadas (figura 2, centro), con la aplicación manual de bisturís, espátulas y cinceles. Los elementos que amenazan desprenderse se retiran manualmente (figura 2, derecha).



Figura 2. Izquierda Procesos realizados en la Fase I, de limpieza en seco. Izquierda: Aspiración. Centro: Retirada con bisturí. Derecha: Retirada de piezas sueltas. Fuente: Autores.

Fase II) APLICACIÓN DE BIOCIDA en las zonas colonizadas por musgo, algas y hongos, para retirar la presencia de líquenes y musgos se ha aplicado Biotin T de CTS, cepillando posteriormente para retirar los restos, y eliminar la tinción derivada de la presencia de organismos inferiores en la superficie pétreo.

Se dieron varias aplicaciones a brocha y con pulverización.

Fase III) Se realiza una LIMPIEZA EN PROFUNDIDAD CON AGUA ATOMIZADA, mediante la instalación de un sistema de pulverización de agua (figura 3). Se desmineralizada previamente mediante filtro, con difusores colocados a la distancia adecuada del paramento, con una bomba que proporcione la presión adecuada que será ajustada en pruebas previas. En casos puntuales, se ha utilizado también la limpieza con lanza de agua con presión controlada y se han colocado papetas con la siguiente composición (bicarbonato de amonio, carbonato de amonio, pulpa de papel y agua desionizada). En zonas donde quedaban restos de pátina original se protegió con papel japonés y sobre él se colocó la papeta. En el tímpano, cordón y capiteles se realizó una limpieza manual con hisopo y agua desionizada. También se ha realizado una desalación de las superficies dañadas por presencia de Sales.



Figura 3. Sistema de pulverización. Fuente: Autores.

Fase IV) REINTEGRACIÓN DE PIEDRAS DAÑADAS Y ROTAS con mortero de restauración. Reparación y sellado de fisuras existentes. La reintegración volumétrica se ha realizado mediante el moldeado in situ sobre la pieza original de las faltas con morteros de

cal (mortero Harrite de Naturalcal teñido en masa). En las zonas de partes sueltas, se creó un anclaje fuerte y armado interior de la prótesis a injertar, y se moldeó la prótesis, que una vez fraguada, se labró en seco para reproducir las texturas originales. Las grietas y fisuras se sellaron mediante inyecciones de cal hidráulica o resina epoxi líquida en varias aplicaciones hasta el total relleno del hueco (figura 4 izquierda y centro). Posteriormente se realizaron ajustes de color mediante patinado y texturado similar al existente. Los materiales usados fueron pátina de silicato de la marca Keim y veladura a base de pigmentos minerales, agua desionizada y resina acrílica (primal) en proporción 7 a 1, alcohol y un tensoactivo.



Figura 4. Izquierda Procesos realizados en la Fase IV, de reintegración de piezas dañadas. Izquierda y centro: Relleno de fisuras con inyecciones epoxi.

Derecha: Anclajes de varillado.

Fuente: Autores.

En las zonas donde existía riesgo de fragmentación, desprendimiento y pérdida a causa de la presencia de fisuras y fracturas se reforzaron las uniones mediante cosidos o envarillado (figura 4, derecha) controlando la profundidad y la inclinación dependiendo de las dimensiones y la morfología del fragmento.

Fase V) SISTEMAS DE PROTECCIÓN ANTE LA HUMEDAD. Se ha procedido a la hidrofugación de algunos elementos pétreos como los pasamanos de las balaustradas de la parte superior, así como la cruz del frontón. Se han dispuesto además protecciones de zinc (figura 5), en las cornisas, frontones, superiores y de ventanas y partes con mayor voladizo, así como en la acanaladura de las gárgolas. De este modo además de evitar los problemas derivados de la acumulación de agua, se minimizan los efectos nocivos y agresivos como líquenes, o deyecciones de aves, facilitando su limpieza.



Figura 5. Trabajos para la disposición de protecciones de Zinc. Fuente: Autores.

Fase VII) RESTAURACIÓN DE ELEMENTOS DE CARPINTERÍA DE MADERA Y REJERÍAS METÁLICAS. La restauración de las carpinterías de madera se realizó in situ (figura 6, izquierda), con trabajos de decapado mediante gel químico, pistola de calor y limpieza con lana de acero y lijado superficial, se recuperaron volúmenes y se sellaron grietas y fendas con masilla para madera, se colocaron juntas de goma y nuevos junquillos de madera. Después se entonaron cromáticamente para igualar zonas y proceder a la aplicación de una protección final a base de aceites y lasures.



Figura 6. Izquierda Trabajos en carpinterías.  
Derecha: Trabajos sobre Rejas. Diferentes fases.  
Fuente: Autores.

Algunos herrajes originales han tenido que reproducirse mediante forja artística. En las rejas históricas se realizó una limpieza en seco, y con cepillado con cepillos de cerdas duras para arrancar los elementos espurios, se aplicó una protección antioxidante y se les aplicó un acabado a base de ceras naturales y polvo de grafito (figura 6, derecha).

### 3. RESULTADOS DE LA INTERVENCIÓN

El verdadero resultado de la intervención es que la fachada ha recuperado su seguridad y se ha garantizado su buen estado futuro. El resultado obtenido con las patinas es muy importante. Se han respetado las originales y las veladuras del siglo XX, recuperándose su papel protector y unificador de la piedra, pero sobre todo su función de enfatizar los significados de los grupos escultóricos (figura 7).

Los cambios del antes y el después quedan muy evidenciados cuando se realiza la comparación (figura 8).



Figura 7. Resultado final de la Intervención. Fuente: Autores.



Figura 8. Detalle de cornisa planta primera. Izquierda antes. Derecha después. Fuente: Autores.

La recuperación del aspecto natural de la madera y del hierro de carpinterías y rejerías, así como el patinado aplicado a los rejuntados del siglo XX que unifica su percepción con los del siglo XVI, han devuelto a la fachada el aspecto que le confirieron hace 5 siglos las técnicas y artesanías tradicionales con las que se construyó.

A este respecto cabe destacar la importancia del respeto por la obra histórica, sus materiales, técnicas y oficios tradicionales. Esta premisa justifica la prudencia demostrada por la dirección técnica a la hora de emplear cualquier producto químico para el tratamiento de la superficie pétreo, bien sea de limpieza, consolidación o protección, quedando reservados exclusivamente para aquellas zonas en las que se han considerado estrictamente necesarios y previa realización de las correspondientes pruebas y ensayos de laboratorio. El objetivo de mantener una postura conservadora en este aspecto es la de reducir al máximo los riesgos de su empleo. Por su parte, operaciones como la recuperación de las líneas de cornisa en las diferentes alturas permiten recuperar las escorrentías originales de la fachada y su protección mediante chapa de cinc garantiza que el agua de cada uno de los niveles no escurre por los inferiores (gracias a la formación de un goterón), evitando así la aparición de las típicas manchas que se producen bien por el lavado diferencial o bien por la proliferación de bio-colonias como consecuencia de la retención de humedad. Estas soluciones, que responden a criterios básicos de la conservación preventiva, favorecen la pervivencia de las actuaciones y del monumento.

Por otra parte, el objetivo más social de la intervención es hacer llegar a la sociedad, a los ciudadanos y visitantes, parte del conocimiento adquirido, de tal modo que se pueda producir un mayor nivel de comprensión del monumento así como generar el sentimiento de identidad, y con ello el aumento de la consideración e interés por el mismo, fomentando así la educación patrimonial. La puesta en valor del monumento y el aumento del conocimiento que la población local y los turistas han obtenido por la difusión y el acercamiento al Monumento ha permitido adquirir un nuevo punto de vista, el del artesano que realizó la obra. Este acercamiento implica un aumento de la capacidad como seña de identidad de la población. La restauración ha devuelto a la Plaza de San Diego, el carácter y la vida perdidos. Las obras, con la colocación de la lona decorativa, atrajeron a gran cantidad de personas, turistas y ciudadanos de Alcalá. Ha habido gran participación de visitantes y con ello un mayor interés por el monumento. La actividad social se ha recuperado. Se ha aumentado la actividad turística y la apertura de locales en la plaza es un hecho evidente.

#### 4. CONCLUSIONES

El proceso de restauración ha permitido garantizar la conservación del bien, reparar los daños detectados, y recuperar el esplendor de la fachada, monumento nacional y emblema de la ciudad. La intervención garantiza la transmisión a las siguientes generaciones de una obra artística clave para la historia y la cultura europea.

El proceso de obra permitió acercar al ciudadano el edificio desde un punto de vista diferente, fomentando el sentimiento de pertenencia como Patrimonio de la ciudad y la sensibilización hacia la necesidad de conservación de este tipo de bienes culturales. También se obtuvo una gran información del proceso de investigación paralelo a la obra, que permitió un mejor conocimiento de la fachada.

#### 5. RECONOCIMIENTOS

Nuestro agradecimiento debe referirse a varios estamentos. Por un lado, a la Universidad de Alcalá y su equipo directivo comenzando por el Rector, por su compromiso con la conservación del Patrimonio con una visión innovadora. En segundo lugar, al equipo Técnico de la Oficina de Gestión de Infraestructuras y Mantenimiento por su entusiasta participación, profesionalidad, y colaboración en este proceso de gestión, haciendo mucho más fácil toda esta labor. En tercer lugar, a los profesores del Departamento de Arquitectura que han participado en el proceso de investigación, y por su generoso esfuerzo. Y, por último, a todo el personal que ha participado en el proceso de visitas guiadas de la Fundación General de la Universidad.

#### 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Azkárate, A., Cámara, J.I., Lasagabaster, J.I., Latorre, P. (2001). *Plan Director para la Restauración de la Catedral de Santa María de Vitoria-Gasteiz*. Diputación Foral de Álava
- [2] AA.VV. (2014). *La Universidad de Alcalá, Patrimonio de la Humanidad*. Vicerrectorado de Relaciones Interinstitucionales y Extensión Universitaria. Universidad de Alcalá.
- [3] UNESCO. World Heritage List: University and Historic Precinct of Alcalá de Henares. Accedido el 25 de octubre, 2017, desde <http://whc.unesco.org/en/list/876>.
- [4] Echeverría, E., et al. (2013). The University of Alcalá de Henares (Madrid, Spain) as a dynamic example and laboratory of the recovery, rehabilitation and conservation of the cultural heritage. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, XLII-5-W2, 237- 242.
- [5] Echeverría, E., et al. (2017) Documental studio and 3D recreation of the San Ildefonso's School facade, Alcalá de Henares. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/w3, 283-288.
- [6] AA.VV. (2013). *Proyecto Coremans. "Criterios de intervención en materiales pétreos"*. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.
- [7] Fort, R. (2012). Tratamientos de conservación y restauración de geomateriales: tratamientos de consolidación e hidrofugación. *La conservación de los geomateriales utilizados en patrimonio*. Pág 125-132. Programa Geomateriales (Comunidad de Madrid).
- [8] Martínez, S., Blanco, M.T. (2012) Caracterización de morteros históricos. *La conservación de los geomaterial*

**ESTADO DE CONSERVACIÓN, COMPORTAMIENTO Y DURABILIDAD. CASO  
PRÁCTICO PRINCIPALES REVESTIMIENTOS  
EN FACHADAS MURCIA NORTE**

ROSA ROCA, NURIA<sup>1</sup>; GONZÁLEZ PONCE, ELOÍSA<sup>2</sup>; SPAIRANI BERRIO, SILVIA<sup>3</sup>;  
HERNÁNDEZ MONTALBÁN, PENÉLOPE<sup>4</sup>

*<sup>1</sup> Universidad Católica San Antonio de Murcia, Murcia, España  
E-mail: nrosa@ucam.edu, Web: www.ucam.edu*

*<sup>2</sup> Universidad Católica San Antonio de Murcia, Murcia, España  
E-mail: egonzalez@ucam.edu, Web: www.ucam.edu*

*<sup>3</sup> Universidad de Alicante, Alicante, España  
E-mail: silvia.spairani@ua.es, Web: www.ua.es*

*<sup>4</sup> Soluzone Asistencia S.L, Murcia, España  
E-mail: hernandez.penelope@gmail.com, Web: www.soluzone.es*

**PALABRAS CLAVE:** Estado de conservación; rehabilitación de edificios; durabilidad de los revestimientos; fachadas.

**RESUMEN**

La fachada es el elemento constructivo que compone la envolvente vertical de los edificios y, por lo tanto, debido a su exposición a la intemperie, se les requieren prestaciones más exigentes que a otros elementos, en materia de durabilidad, aislamiento, impermeabilidad y estética. Por este motivo se ha elegido estudiar el comportamiento de los materiales que revisten a la capa más superficial de las fachadas, ya que los revestimientos son los primeros elementos en contacto con la intemperie.

La metodología utilizada para la investigación ha consistido en la elaboración de 73 fichas de campo para el reconocimiento y diagnosis de las fachadas de Murcia Norte. Para

ello se han utilizado 3.200 fotografías de las fachadas de inmuebles construidos desde el año 2005 al 2012, procesadas por tipo de revestimiento, tipos de sistema constructivo de fachada, estado de conservación de las mismas, nivel de deterioro, tipologías de los daños y orientación en la que se presentan las lesiones.

El presente trabajo expone los resultados obtenidos en el análisis de los materiales y revestimientos más favorables para el uso en fachadas de Murcia. Se han obtenido 24 ca-suísticas sobre fachadas y sus revestimientos, las cuales se muestran mediante tablas esta-dísticas y gráficas.

Las conclusiones más significativas son: los materiales que presentan un comportamien-to menos adecuado como revestimiento de fachadas son el estuco y los contrachapados de alta densidad unidos y tratados con colas fenólicas; los materiales más adecuados para su empleo en fachadas, basados en las lesiones detectadas y sin tener en cuenta sus propieda-des térmicas y acústicas son el vidrio y las planchas metálicas de aluminio; el material a emplear en la formación de fachadas, que se considera más adecuado, en base a los daños que muestran el resto de materiales y en sus propiedades acústicas y térmicas, es el ladrillo caravista.

## 1. INTRODUCCIÓN

Teniendo en cuenta que la mayoría de los países de la UE ya disponen de una definición normativa de Nzeb (Nearly Zero Energy Buildings) o ECCN y que en España sólo tenemos el documento de base para la actuación del CTE DB-HE, desde el punto de vista del uso de energías renovables de la Región de Murcia, ésta debe apoyar medidas que garanticen tanto un uso más eficiente del agua y la energía, como la reducción de riesgos por impactos acústicos y lumínicos, teniendo en cuenta que el sector de la construcción para la vivienda consume más materias primas que cualquier otro sector industrial. En este contexto, la casi nula cultura del mantenimiento ha dado lugar a un proceso de envejecimiento de las edifica-ciones que se ha acelerado en las fachadas, por el hecho de que están expuestas permanente-mente a los agentes atmosféricos. Villar-Burque et al., inciden en el hecho que “el consumo de recursos en los edificios se produce no sólo en su fase de uso, sino que se extiende a las fases previas de fabricación y planificación, pero también a las de mantenimiento, demoli-ción o reciclaje, por lo que resulta necesaria la consideración del ciclo de vida del edificio en su conjunto” [1]. Por esa razón, se considera la necesidad del estudio de conservación, comportamiento y durabilidad de los principales revestimientos en fachadas de la Región de Murcia para hacer más atractivas la adopción de medidas en las actividades domésticas que puedan contribuir en gran medida a reducir las emisiones de efecto invernadero, a raíz de mitigar el efecto del cambio climático.

Determinados fallos que de vez en cuando se producen en nuestros edificios forman parte de un procedimiento de envejecimiento natural, sin embargo, en algunos casos, tales lesiones y daños son provocados por errores en los criterios constructivos aplicados, defec-tos de ejecución o desaciertos propios del material [2].

La fachada es el elemento constructivo de los edificios donde más lesiones se producen según muestran distintas estadísticas resultado de diferentes campañas de inspección de edi-ficios. Las figuras 1 y 2 muestran respectivamente las estadísticas realizadas por ASEMAS, recogidas por Aragón Fitera [3], y las facilitadas por el observatorio ITE recopilados desde 2008 a 2015 [4] de un total de 81.005 inspecciones, de las cuales fueron desfavorables 16.644.

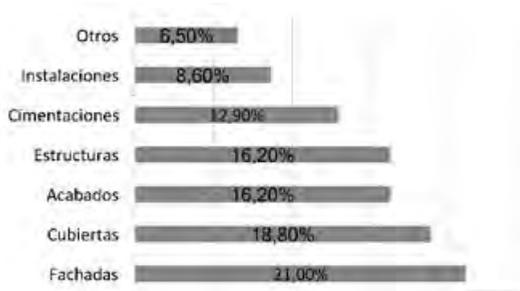


Figura 1: Distribución de lesiones por elementos constructivos.

Fuente: Aragón Fiterá, 2010.

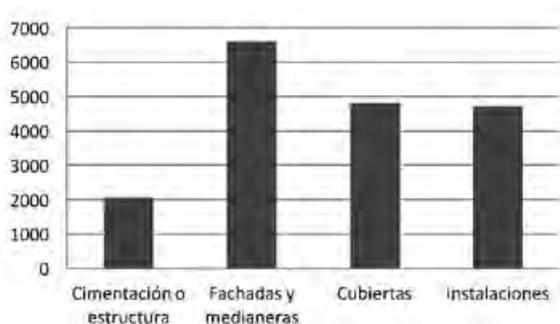


Figura 2: Localización de síntomas de las inspecciones desfavorables.

Fuente: elaboración propia basado en [www.iteweb.es](http://www.iteweb.es).

En ambos estudios se observa que la fachada es el elemento que, en principio, más lesiones presenta y, por lo tanto, se hace necesario conocer e investigar los principales factores que influyen sobre la durabilidad, y analizar los fallos y defectos de la edificación, teniendo en cuenta los elementos y componentes que forman parte de la fachada.

Por tanto, los objetivos se han centrado en establecer qué materiales y revestimientos son los más favorables para su uso en fachadas de una zona de la ciudad de Murcia e identificar los materiales y revestimientos más utilizados, mediante ensayos organolépticos, en fachadas de nueva construcción.

## 2. METODOLOGÍA

La metodología utilizada para la investigación, ha consistido en delimitar una zona de estudio que represente los revestimientos de fachadas utilizados en Murcia Norte con una superficie de suelo urbano de 23,05 hectáreas, y la elaboración de 73 fichas de campo para el reconocimiento y diagnóstico de las fachadas, en las que queda constancia el estado de las mismas. La zona está limitada por las avenidas Juan Carlos I, Príncipe de Asturias, Reino de Murcia, Escultor Antonio Campillo, Doctor Pascual Parrilla Paricio y la Senda de Granada del municipio de Murcia y ha sido seleccionada por coincidir con el crecimiento urbano de la ciudad desde el año 2005 al 2012.

Las inspecciones de las fachadas se realizan desde el exterior, quedando todo registrado en 3.200 fotografías procesadas por tipo de revestimiento, tipos de sistema constructivo de fachada, estado de conservación de las mismas, nivel de deterioro, tipologías de los daños y orientación en la que se presentan las lesiones. Sería recomendable llevar a cabo una revisión de la parte interior del cerramiento, ya que a pesar de que el examen exterior no detecte la presencia de lesiones, éstos pueden existir en la cara interior del mismo.

A través de la inspección se determinan los tipos de fallos detectados en los revestimientos, teniendo en cuenta la orientación. Por otro lado, se califica el nivel de deterioro de los mismos, puntualizando si los daños son generales o no. No se han tenido en cuenta los errores detectados en locales de plantas bajas, con un revestimiento propio diferente al resto del cerramiento, ni las fachadas a las que no se tiene acceso desde la calle, como pueden ser cerramientos de patios interiores.

De las 73 fichas realizadas en el estudio, la figura 3 presenta el resultado de la inspección, como ejemplo, de uno de los inmuebles estudiados.

FICHA TOMA DE DATOS	Nº FICHA: 01	FECHA: 03/05/2016	
IDENTIFICACIÓN DEL EDIFICIO	DATOS CATASTRALES		
<b>Denominación:</b> Edificio Nuevo Milenio IX	<b>Coord. UTM (aprox.)</b>	<b>X:</b> 663530	<b>Y:</b> 4207482
<b>Situación:</b> Plaza Dentistas Murcianos 10, 11 y 12	<b>Nº municipal:</b> 06	<b>Nº parcela:</b>	36778
<b>Pedanía. CP:</b> Santiago y Zaraiche. 30007	<b>Referencia Catastral:</b>	XH6037N	
<b>Propiedad. Uso:</b> Privada. Viviendas	<b>Nº plantas b/r:</b> 2	<b>Nº plantas s/r:</b>	8
<b>Tipología:</b> plurifamiliar en esquina	<b>Año:</b> 2009	<b>M² const.:</b>	13.000
<b>Nº fachadas:</b> 5	<b>ml fachada:</b> NO 35,3	<b>ml fachada:</b> SO	15,8
<b>Orientación:</b> N, NO, SO, SE y S	<b>ml fachada:</b> SE 28,3	<b>ml fachada:</b> N	34,8
<b>Fachada principal:</b> Norte y Noroeste	<b>ml fachada:</b> S 43,5	<b>M² planta:</b>	1.070
			
Fachada Norte	Parcela catastro		

DESCRIPCIÓN DEL CERRAMIENTO											
PARAMENTO (zócalo, parte ciega, acabados, parte superior, juntas de dilatación, etc.)											
Estuco:		Pintura:		Monocapa:		Enfoscado:		Caravista:	X	Madera:	X
Pétreo:	X	Cerámico:	X	Metálico:		Medida:	varias	Fijación:	estructura metálica		
<p>El zócalo del edificio es caravista, excepto las entradas principales al edificio, combinadas entre mármol verde oscuro y piezas cerámicas negras de diferentes medidas.</p> <p>El 95% del paramento es ladrillo caravista en sus 5 fachadas. El acabado cerámico se dispone en alineaciones puntuales y en los balcones, estando éstos concentrados en las fachadas Sur y Sureste. El acabado trespasa se dispone en los paramentos del cierre de los balcones.</p> <p>Antepecho en la parte superior de la fachada con piezas de piedra artificial como culminación.</p> <p>El edificio dispone de 2 juntas de dilatación medianeras y dos propias, selladas con material plástico.</p>											
ABERTURAS (carpintería, antepechos, jambas, dintel, vierteaguas, persianas, rejas, etc.)											
<p>Dinteles y jambas de chapa metálica sellada contra el paramento. Antepechos rematados con vierteaguas de piedra artificial. Hay ventanas con antepechos más bajos culminados con barandillas de acero inoxidable sobre el vierteaguas. Machón revestido de chapa metálica entre ventanas contiguas. Aberturas hasta canto de forjado en acceso a balcones, donde no es posible ver sus remates inferiores. Disposición de lamas metálicas horizontales como cerramiento de los lavaderos.</p>											
CUERPOS SALIENTES (cornisas, galerías, terrazas, molduras, barandillas, etc.)											
<p>Los cerramientos de los balcones son de fábrica revestidos con aplacados cerámicos y trespasa, sobre estructura auxiliar metálica, tanto en sus paramentos verticales como horizontales. El remate superior de los petos se soluciona con piezas de piedra artificial y barandillas de acero inoxidable. Sistema de drenaje de los balcones a través de gárgolas metálicas. Presencia de balcones con cerramientos de vidrio, hechos a posteriori.</p>											
ELEMENTOS SINGULARES Y DISTORSIONANTES (toldos, jardineras, farolas, aparatos a.a., etc.)											
<p>Toldos en los bajos comerciales y en la última planta del edificio. Extractores de humos en fachada Norte y Suroeste. Cableado en fachada Norte. Cartelería de los bajos comerciales.</p>											

Fallo	Localización - Observaciones	Material	Nivel deterioro	Foto
<b>FACHADA NORTE</b>				
2	Esquina izq. entrada principal. Fallo aislado por golpe	Mármol	1	
3	Planta 1º junto extractor	Caravista	0	
5-6	Cantos forjados	Caravista	0	
3	Bajo ventanal escalera. Suciedad puntual	Cerámico	0	

5	Franja vertical escalera. Cambios de tonalidad genéricos	Cerámico	0	3
2	Parte superior escalera. Desplazamiento de 2 placas	Cerámico	0	3
<b>FACHADA NOROESTE</b>				
3	Parte inferior del zócalo. Orín de perro	Cerámico y caravista	0	
2	Parte superior revestimiento metálico conducto. Falta de fijaciones	Metálico	1	4
5	Aplacado cerámico. Cambios de tonalidad	Cerámico	0	
5	Junta de dilatación. Material totalmente fisurado	Elastómero	2	
<b>FACHADA SUROESTE</b>				
2	Aplacado cerámico. Movimientos desproporcionados de las placas sobre la estructura auxiliar	Cerámico	1	5
5	Aplacado cerámico. Cambios de tonalidad	Cerámico	0	5
3	Antepecho planta 1°. Tonalidad del material diferente	Caravista	0	
3	Zócalo. Orín de perro	Caravista	0	
<b>FACHADA SURESTE</b>				
5	Aplacado cerámico. Pérdida de color	Cerámico	1	
3	Puntuales y en las juntas del aplacado cerámico. Juntas con colores más oscuros	Cerámico	1	
2	Aplacado cerámico. Movimientos desproporcionados de las placas sobre la estructura auxiliar	Cerámico	1	
1	Antepecho superior izq. Fisura puntual sobre abertura	Caravista	1	
5	Junta de dilatación. Material totalmente cuarteado	Elastómero	3	6
<b>FACHADA SUR</b>				
3	Trespa. Suciedad general bajo vierteaguas balcones	Trespa	0	7
3	Zócalo y paño ciego. Eflorescencias generales	Caravista	1	
3	Paramentos horizontales balcones. Eflorescencias	Cerámico	1	
5	Antepechos balcones. Pérdida de color	Cerámico	1	7-8
5	4º planta. Oxidación del dintel.	Metálico	1	
2	Junta antepechos balcones y paño ciego. Desprendimiento del material de relleno dispuesto en la junta	Desconocido	3	
2	Aplacado cerámico. Movimientos desproporcionados de las placas sobre la estructura auxiliar	Cerámico	1	
1	Paramento horizontal balcón 1º planta esquina puntual	Cerámico	2	

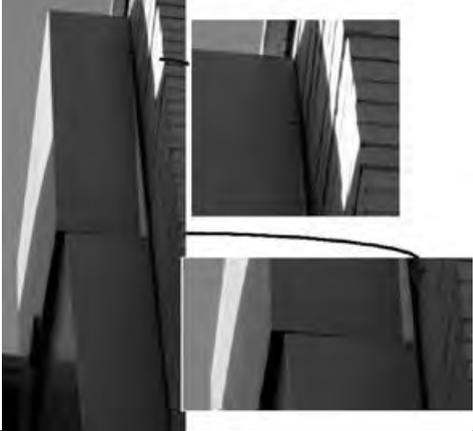
Nivel deterioro: según el grado de impacto del fallo sobre el material, siendo 0 no presenta deterioro, 1 bajo, 2 medio y 3 alto.							
Observaciones: se considera necesario la evaluación del aplacado cerámico, por presentar importantes desplazamientos. Se recomienda la colocación de medidas de protección. La fachada no muestra signos de desprendimiento de placas.						<b>Peligro a 3°</b>	
						SI:	X
<b>Código de fallos</b>	1. Fisuras y grietas	2. Desprendimientos		3. Manchas, eflorescencias, etc.			
	4. Deformaciones	5. Degradación		6. Planeidad	7. Otros		
<b>Tipología general de fallos</b>	Estructurales		<b>Estado de conservación de la fachada</b>		Bueno		
	Constructivos	X			Medio		
	Acabados	X			Malo		X
<b>FOTOGRAFÍAS</b>							
							
Placa desplazada. Pérdida de tonalidad		Chapa metálica fijaciones insuficientes					
<b>NOTA: INSPECCIONES VISUALES</b>							

Figura 3: Ficha 01. Localización de síntomas de las inspecciones desfavorables.  
Fuente: elaboración propia.

### 3. RESULTADOS

Quizás, la clave para entender el estudio de las fachadas de Murcia Norte ha sido crear 73 fichas de campo para el reconocimiento y diagnóstico de sus revestimientos verticales en las que queda constancia el estado de las mismas. La tabla 1 recoge los principales resultados obtenidos tras el análisis de 3200 fotografías del exterior de los inmuebles construidos desde el año 2005 al 2012. La implementación de la citada tabla se efectúa en el siguiente orden: análisis de la casuística, análisis de los resultados y consideraciones necesarias.

La tabla, dependiente siempre del estudio de las diferentes fachadas en una vivienda, analiza los valores por: tipo de revestimiento, tipos de sistema constructivo de fachada, es-

tado de conservación de las mismas, nivel de deterioro, tipologías de los daños, orientación en la que se presentan las lesiones, etc.

De este modo, la parte del análisis del estado de conservación, comportamiento y durabilidad de las fachadas de Murcia Norte tiene como objetivos tanto establecer que materiales y revestimientos son los más favorables para su uso en fachadas de la ciudad de Murcia como identificar los materiales y revestimientos más utilizados, mediante ensayos organolépticos, en fachadas de nueva construcción de la ciudad de Murcia.

Tabla 1: Resumen del resultado de las inspecciones.

Casuística		Resultados		Consideraciones necesarias
1. Edad de los edificios		El parque inmobiliario estudiado data entre los años 2005 y 2012		Las edades de los inmuebles de esta zona están comprendidas entre los 6 y 13 años
2. Tipología general de daños		Estructurales	0,0%	Los edificios no presentan daños estructurales
		Constructivos	8,2%	
		Constructivos y de acabados	91,8%	
3. Estado de conservación		Bueno	1,3%	El estado de conservación o mantenimiento se considera malo
		Medio	31,5%	
		Malo	67,2%	
4. Peligro a terceros		Si	20,5%	Posibles desprendimientos desde alturas mayores a planta baja
		No	79,5%	
5. Revestimiento en zócalos		Pétreo artificial	37,8%	Las esquinas de los edificios son las que más daños presentaban
		Pétreo natural	25,6%	
		Caravista	24,3%	
		Cerámico	4,1%	
		Monocapa	4,1%	
		Hormigón visto	4,1%	
6. Plantas bajas sin definir su revestimiento		Con revestimiento en elementos estructurales	51,9%	Un 48,2% de edificios estudiados no presentan zócalos en todo el perímetro de planta baja, dejando al descubierto en muchas ocasiones la lámina de impermeabilización entre el terreno y el edificio
		Sin definir	34,0%	
		Enfoscados	14,1%	
7. Fachadas: revestimientos		Caravista	40,2%	La gran mayoría de las fachadas no están revestidas, son caravista
		Monocapa	18,1%	
		Pétreo artificial	18,1%	
		Metálico	6,3%	
		Trespa	4,7%	
		Pétreo natural	3,9%	
		Estuco	3,9%	
		Cerámico	3,2%	
		Vidrio	0,8%	
	Hormigón visto	0,8%		

8. Fachadas: revestimiento único o múltiple		Caravista	26,0%	El 52,2% de las edificaciones utilizan más de un tipo de material para el revestimiento de sus partes macizas. Las fachadas predominantes con un solo tipo de material, 26,00% del total estudiado, son las de ladrillo caravista
	Pétreo artificial	12,3%		
	Monocapa	8,2%		
	Pétreo natural	1,3%		
	Revestimiento múltiple	Más de 1 Más de 2	30,1% 22,1%	
9. Daños en fachadas caravista (51 edificaciones de 73)		Manchas	43,5%	El 29,4% de fachadas caravista no presentan daños El 100% de las manchas blancas verticales presentes en las zonas ciegas de las fachadas caravista, se deducen son causa de las eflorescencias del mortero en sus juntas
	Distintas tonalidades	16,3%		
	Sin daños	16,3%		
	Fisuras	13,0%		
	Desprendimientos	6,5%		
	Abombamientos, falta de planeidad y aparejos irregulares	4,4%		
10. Daños en fachadas monocapa (23 edificaciones)		Manchas	44,5%	El 13,1% de fachadas monocapa no presentan daños y son las que no exponen el monocapa en los planos más exteriores. Las partes de fachadas más afectadas por manchas son los antepechos de cubierta, los antepechos de ventanas y los cantos de forjado
	Fisuras	28,9%		
	Distintas tonalidades	11,1%		
	Desprendimientos	8,9%		
	Falta de planeidad	6,6%		
11. Daños en fachadas con aplacados pétreos (21 edificaciones)		Manchas	42,6%	El 11,0% de fachadas con aplacados pétreos no presentan daños El problema son las lesiones de las piezas que terminan desprendiéndose, ya que por su gran tamaño y altura, pueden llegar a causar consecuencias muy graves
	Distintas tonalidades	27,2%		
	Desplazamientos	15,1%		
	Desprendimientos	10,9%		
	Falta de planeidad	3,4%		
	Fisuras	0,8%		
12. Daños en fachadas con contrachapados de alta densidad (6 edificaciones)		Degradación total del color	43,2%	Todas las fachadas, que tienen parte de su revestimiento con este tipo de acabado, presentan daños
	Suciedad	28,4%		
	Manchas	28,4%		

13. Daños en fachadas con estuco (4 edificaciones)		Manchas	30,0%	Todas las fachadas, que tienen parte de su revestimiento con este tipo de acabado, presentan daños
	Distintas tonalidades	20,0%		
	Desprendimientos	20,0%		
	Fisuras	20,0%		
	Degradación total del color	10,0%		
14. Daños en fachadas con aplacados cerámicos (4 edificaciones)		Desplazamientos	27,7%	Los 4 edificios el aplacado cerámico está fijado mediante estructuras metálicas horizontales
	Distintas tonalidades	27,7%		
	Degradación del color	13,8%		
	Suciedad	13,8%		
	Manchas	13,8%		
	Desprendimientos	3,2%		
15. Daños en fachadas con revestimiento metálico (6 edificaciones)		Suciedad	100%	El 90% de estos materiales son de aluminio
16. Daños en fachadas con revestimientos acristalados (1 edificación)		Suciedad	100%	Cerramiento de aluminio y fijos de vidrio tipo muro cortina
17. Daños en fachadas hormigón visto (1 edificación)	Manchas verticales blanquecinas	100%		Las manchas aparecen mayoritariamente en los cantos de forjado bajo balcones
18. Coronación de la fachada	Con goterón	69,1%		68 edificaciones presentan su parte superior acabada con un antepecho rematado con albardilla, esto no quiere decir que la albardilla se disponga en todo su perímetro
	Sin goterón	25,0%		
	Enrasada	5,9%		
19. Vierteaguas	Con goterón	55,3%		En un mismo edificio se pueden encontrar vierteaguas con y sin goterón o enrasados
	Sin goterón	32,9%		
	Enrasada	11,8%		
20. Aberturas: cromática ventanas	Colores claros	67,0%		Las persianas con más presencia de suciedad son las coincidentes con los colores oscuros
	Colores oscuros	33,0%		
21. Barandillas	Acero inoxidable	31,3%		Por la falta de mantenimiento general el 100% de los edificios que utilizan elementos de metal en sus barandillas exhiben manchas de óxido. El único daño que se aprecia en los vidrios es suciedad, sobre todo en los tintados en negro
	Vidrio	30,6%		
	Metálico	20,0%		
	Otros	18,1%		

22. Elementos singulares	Pórticos planta cubierta	42,9%	Más de un 25% de las edificaciones presentan elementos pesados y estructurales totalmente expuestos a las inclemencias climáticas. Estos elementos suelen ser de hormigón visto y en algún caso son revestidos con monocapa o con aplacado pétreo
	Aleros	34,7%	
	Elementos estructurales fuera de fachadas	16,3%	
	Jardineras	6,1%	
23. Juntas de dilatación	Edificios con material en juntas	52,1%	Un 12,3% no presenta, en al menos una de sus medianeras, junta de dilatación, por lo menos entre los materiales de revestimiento de edificaciones contiguas. Un 19,2% no disponen de ningún tipo de material en sus juntas
	Edificios aislados sin necesidad de juntas	16,4%	
	Edificios sin presencia de juntas	12,3%	
	Edificios con material en solo una de sus juntas	12,3%	
	Edificios sin material en sus juntas	6,9%	
24. Juntas de dilatación: materiales	Juntas con material elastomérico	87,3%	De los materiales presentes en las juntas, el sellado elastomérico presenta daños en el 98%
	Junta de aluminio en "L"	8,5%	
	Junta específica CTE	4,2%	

#### 4. CONCLUSIONES

El problema del estado de conservación, comportamiento y durabilidad del parque inmobiliario situado en Murcia Norte, nos pareció una gran oportunidad para poner en evidencia el contraste de elección de los materiales por los proyectistas de la Región de Murcia. Entonces, este artículo ha querido ser una primera contribución hacia una discusión de los procedimientos del análisis de fichas de campo y de qué forma puede resultar provechoso este aporte integrado en la contribución del ámbito de la restauración arquitectónica.

Es importante destacar que, desde el punto de vista de los materiales más adecuados para su disposición en zócalos, el análisis esclarece que existe un grupo de materiales particularmente versátiles y con alto valor estético para los proyectistas de la Región de Murcia. Este grupo está formado por materiales cerámicos, por materiales pétreos (naturales y artificiales). En contraste con este resultado, se observa que los materiales que presentan un comportamiento menos adecuado, como revestimiento de fachadas, son el estuco y los contrachapados de alta densidad unidos y tratados con colas fenólicas.

Por otro lado, es importante indicar que los materiales más adecuados para su empleo en fachadas, basados en las lesiones detectadas y sin tener en cuenta sus propiedades térmicas y acústicas, son el vidrio y las planchas metálicas de aluminio. También cabe mencionar que el material a emplear en la formación de fachadas, que se considera más adecuado, en base

a los daños que muestran el resto de materiales y en sus propiedades acústicas y térmicas, es el ladrillo caravista.

Por tanto, la mayoría de fallos detectados en las fachadas son una combinación de errores no estructurales, ya sean de proyecto, de ejecución, de nulo o escaso mantenimiento y conservación, y de daños inherentes del propio material o como resultado de los errores citados.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Villar-Burke, R., Jiménez-González, D, Larrumbide, E., Tenorio, J.A. (2014). Impacto energético y emisiones de CO2 del edificio con soluciones alternativas de fachada [en línea]. *Informes de la Construcción*. Vol 66, julio-septiembre 2014, Accedido el 7 de octubre de 2016. <<http://dx.doi.org/10.3989/ic.12.085>>.

[2] Bellmunt Ribas, R.; Paricio Casademunt, A.; Vila Martínez, N. (2000). *Reconocimiento, diagnosis e intervención en fachadas*. [ed.] Instituto de tecnología de la construcción de Cataluña (ITeC). 1ª. Barcelona: Cometa, S.A.

[3] Aragón Fitera, J. (2010). “Análisis estadístico de la patología de forjados de hormigón armado”. Tesis doctoral. Universidad de A Coruña.

[4] ICCL, Instituto de la construcción de Castilla y León. (2018). Estadísticas [en línea]. Ministerio de Fomento: Observatorio ITE. Accedido el 15 de enero, 2018, desde <http://www.iteweb.es/estadisticasAnuales>.

## UNA HISTORIA CONTADA AL REVÉS, LA BIOMASA

ORNA CARMONA, MARTÍN<sup>1</sup>; CASTELLÓN GARCÍA, MARÍA DEL MAR<sup>2</sup>;  
ADE BELTRÁN, RAFAEL<sup>3</sup>; CALVO LÓPEZ, MARIO<sup>4</sup>;  
SALESA BORDANABA, ÁNGEL<sup>5</sup>; ESTEBAN SÁNCHEZ, ANA LUCÍA<sup>6</sup>

<sup>1</sup> EUPLA, La Almunia, España

*E-mail: morna@unizar.es, Web: www.eupla.unizar.es*

<sup>2</sup> INCLIZA: Polígono Cogullada, c/ Ferran n<sup>o</sup>9 nave 8 (50014 Zaragoza), España

*E-mail: mcastellon@coitiar.es, Web: https://incliza.com/*

<sup>3</sup> EUPLA, La Almunia, España

*E-mail: rade@unizar.es, Web: www.eupla.unizar.es*

<sup>4</sup> EUPLA, La Almunia, España

*E-mail: mfcavlo@unizar.es, Web: www.eupla.unizar.es*

<sup>5</sup> ESTUDIANTE, Girona, España

*E-mail: asalebora@yahoo.es, Web: www.eupla.unizar.es*

<sup>6</sup> EUPLA, La Almunia, España

*E-mail: anaeste@unizar.es, Web: www.eupla.unizar.es*

**PALABRAS CLAVE:** CONTAMINACIÓN, RENDIMIENTOS, BIOMASA, CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA, CAMBIO CLIMÁTICO.

### RESUMEN

En los congresos que celebran los países industrializados, más concretamente los comprometidos con el medio ambiente, se llega a la conclusión constantemente que el cambio climático es una realidad y que sus efectos ya se hacen patentes, siendo los menos optimistas los que indican el peligro que corren muchas especies si se sigue con la evolución de estos últimos 50 años respecto al calentamiento global del planeta. Este calentamiento como bien es sabido se produce por la emisión de gases efecto invernadero a la atmósfera

procedente de tres grandes fuentes, el transporte (41,65%), la industria (23,53%) y el resto (34,82%) donde se encuentran el residencial, el comercio y el sector servicios, tanto público como privado.

El aislamiento, orientación, utilización de energías renovables y la utilización de equipos con mejores rendimientos son los puntos a tratar cuando se quiere mejorar la calificación energética de un edificio. Alguno de ellos de fácil implementación en obra nueva pero de difícil logro en rehabilitación o regeneración de cascos antiguos.

Esta ponencia se centra en justificar técnicamente uno de los parámetros que se utilizan para mejorar considerablemente la certificación energética de los edificios, cuando está en contradicción con la mejora del rendimiento, la no contaminación y el consumo cero de energía.

La biomasa es el combustible que se utiliza para calentar el agua de calefacción y ACS de los edificios sin que contribuya a la emisión de  $\text{CO}_2$  en su balance energético, echo que hace que los técnicos recomienden el cambio de la caldera existente por una de biomasa en sus estudios de certificación energética cuando se refiere a obra existente, evitando recomendar de esta forma cualquier mejora real del edificio.



Imagen 1. El mundo al revés.

## 1. INTRODUCCIÓN

Llevar a los edificios al mínimo gasto posible, obteniendo la poca energía que necesitamos de las renovables adaptadas al hogar es el objetivo principal, de aquí a 40 años, en el que está asentada la reducción de las emisiones de  $\text{CO}_2$  dentro del sector residencial, terciario y servicios, tanto público como privado.

El procedimiento parte del certificado de eficiencia energética, un documento que informa a propietarios, compradores y arrendatarios de una vivienda o local sobre su consumo potencial de energía, es decir, su demanda energética y sus consumos en función de sus instalaciones y elementos constructivos. Se pretende concienciar a los futuros compradores e inquilinos y fomentar la demanda de inmuebles eficientes desde el punto de vista energético. Solo conociendo nuestro consumo sabremos cómo reducirlo. El objetivo es motivar a los propietarios de los edificios que más consuman a abordar los proyectos de reforma para mejorar su calificación, aunque de momento no exista ninguna regulación que obligue a ello.

Se quiere llevar al lector con esta ponencia a la reflexión sobre la veracidad técnica de algún procedimiento que se está siguiendo para certificar los edificios existentes y las mejoras planteadas para conseguir una calificación más eficiente. Donde basándose en un concepto teórico de balance de emisiones se establece que un determinado combustible no emite CO<sub>2</sub>.

Y esto nos debería llevar a pensar si **Certificamos correctamente o nos hacemos trampa al solitario.**

## 2. DESARROLLO

El planteamiento de este estudio parte de comparar las distintas calificaciones obtenidas por un edificio tipo, uno antes de la NBE-CT 79 y otro posterior a la misma, donde solo se cambia el combustible utilizado para calentar el edificio y el ACS y el aislamiento y mantenimiento de la caldera generadora.

Se toman estos dos tipos de edificios como referencia debido a que en ellos es donde se centra la rehabilitación y donde más pérdidas se producen. Por el contrario no se tienen en cuenta en el estudio los ejecutados bajo el CTE debido a que se considera que los sistemas de aislamiento, carpinterías, y eficiencia de calderas hace que estos sean ya muy bajos en emisiones y por lo tanto en generación de CO<sub>2</sub>.

### 2.1 Edificio de referencia

Se ha tomado como modelo un edificio aislado de planta baja +5 con cubierta plana. La envolvente del edificio está formada por el volumen encerrado por las cuatro fachadas, el forjado de planta primera y la cubierta. Cada planta tiene 4 viviendas de 80 m<sup>2</sup> construidos.

La comparativa se realiza bajo el programa CE3X, reconocido por el ministerio para la certificación energética en edificios existentes y las capas de fachada, carpinterías, infiltraciones, puentes térmicos, se han dejado con la opción “por defecto”.

### 2.2 Combustión y combustibles

Los combustibles utilizados para el calentamiento de los edificios y del agua son hidrocarburos que junto con el oxígeno molecular producen la reacción de combustión generándose dióxido de carbono, agua y otros compuestos entre los que destacan los óxidos nitrosos y los óxidos de azufre. Estos compuestos de la combustión se crean por la composición química de los hidrocarburos.

Los combustibles son el carbón, el gasoil, GLP (Gases Licuados del Petróleo), gas natural, biocombustible y biomasa compactada (pelets).

Tabla 1. Análisis elemental de los combustibles sólidos % en peso.

	CARBÓN	BIOMASA	GASOLEO
CARBONO	65 A 95%	45 A 55 %	81%
HIDRÓGENO	3 A 6%	4,8 A 7 %	13,10%
OXÍGENO	2 A 30%	38 A 45 %	6%
AZUFRE	0,2 A 11%	0,04 A 0,25 %	0,15 A 2 %
NITRÓGENO	1 A 1,5%	0,30 A 2,85 %	0,06%
PCS (kcal/kg)	7.000	4.500	10.300

El gas natural que importamos a España de Argelia tiene como composición media:

Tabla 2. Análisis elemental en seco.

Metano	Etano	Propano	Butano	Nitrógeno
67%	19,2%	8,5%	4,3%	0,28%

El contenido en azufre está relacionado con distintos problemas medioambientales y de operación en las calderas, generando corrosión y ensuciamiento de las calderas y lluvias ácidas si el punto de rocío se produce fuera de la chimenea.

El porcentaje de azufre en la biomasa es sustancialmente más bajo que en el caso del carbón y en consecuencia las emisiones de óxidos de azufre y ácido sulfúrico son menores, aunque no nulas.

En los gases, tanto GLP como en el Natural, el azufre es prácticamente despreciable, por lo que no generan este tipo de problema.

### **BALANCE NETO DE CO<sub>2</sub> DE LA BIOMASA**

La combustión de la biomasa se considera oficialmente que no contribuye al aumento del efecto invernadero, o dicho de otra forma, que las emisiones tienen “el balance neutro de CO<sub>2</sub>”.

Realmente, **sí que se produce CO<sub>2</sub> como resultado de la combustión de la biomasa**, pero esto se considera con “balance cero”, porque el CO<sub>2</sub> que se libera, es el CO<sub>2</sub> que absorben continuamente las plantas y los árboles para su crecimiento, y no es el CO<sub>2</sub> capturado en el subsuelo a lo largo de miles de años y liberado en un breve espacio de tiempo como ocurre con los combustibles fósiles como el gas, el carbón o el petróleo.

### **ENERGÍA INTERNA DE LOS COMBUSTIBLES**

Todas las reacciones de combustión son exotérmicas, es decir desprenden energía (calor) al producirse. Esta es debida precisamente a la composición química de los combustibles. Se toma como referencia el PCS y el PCI, normalmente expresadas en Kcal/kg.

### 2.3 Obligación de disponer certificado energético

A fecha de hoy y desde 2015 los inmuebles privados y los públicos destinados a la venta y a su alquiler deben disponer de certificado energético. Dicho certificado tiene una validez máxima de 10 años. Sin embargo nos encontramos anuncios como: “Actualmente existen ayudas para la renovación energética de edificios e infraestructuras existentes de la Administración General del Estado. Cofinanciada con Fondos FEDER. Economía baja en carbono (FEDER -POCS 2014-2020)”.

El plazo de presentación de solicitudes finalizará cuando se agote el presupuesto disponible o se llegue al 31 de diciembre de 2018 sin haberse cursado solicitudes suficientes para agotar el presupuesto disponible. Siendo el objetivo: “Con esto se pretende que la Administración General del Estado y sus organismos dependientes realicen actuaciones de reforma ejemplarizantes en sus edificios, para alcanzar la consideración de edificio de consumo de energía casi nulo”. [1]

### 2.4 Huella de carbono

La huella de carbono permite cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero que son liberados a la atmósfera como consecuencia de una actividad determinada, bien sea la actividad necesaria para la fabricación de un producto, para la prestación de un servicio, o para el funcionamiento de una organización

Se han desarrollado una serie de herramientas para facilitar el cálculo de la huella de carbono de una organización y la estimación de las absorciones de dióxido de carbono que genera un proyecto de absorción.

<http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/caluladoras.aspx> [2]

### 2.5 Comercio de derechos de emisión

Se establece un límite sobre la cantidad de gases contaminantes que pueden ser emitidos. Las empresas son obligadas a gestionar un número de *derechos*, que representan el derecho a emitir una cantidad determinada de residuos o emisiones. Las compañías que necesiten aumentar las emisiones por encima de su límite deberán comprar créditos a otras compañías que contaminen por debajo del límite. El comprador está pagando una cantidad de dinero por contaminar, mientras que el vendedor se ve recompensado por haber logrado reducir sus emisiones. “**Es decir el rico compra al pobre para poder contaminar más.**”

El Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC) ha recogido las emisiones de CO<sub>2</sub> (toneladas métricas per cápita) donde se puede analizar la evolución de las emisiones por países y comparándolo con países y económicas desde el año 1960-2014. Donde queda patente el comentario precedente. <http://www.globalcarbonatlas.org/en/CO2-emissions> [3]

### 2.6 Futuro de las renovables y equilibrio medioambiental

En un sistema bien gestionado es posible que puedan coexistir los procesos productivos con las reservas medidas de biomasa. Sin embargo el equilibrio está sobre una línea muy fina.

El costo de la energía renovable, según un nuevo informe de la Agencia Internacional de Energía Renovable[4] (IRENA) de 2018, será en unos pocos años una fuente de generación de electricidad considerablemente más barata que los combustibles fósiles tradicionales.

La directiva europea 2010/31/UE determina que a partir del 31 de diciembre de 2018 todos los edificios públicos nuevos serán EECN, en el 2020 el resto.

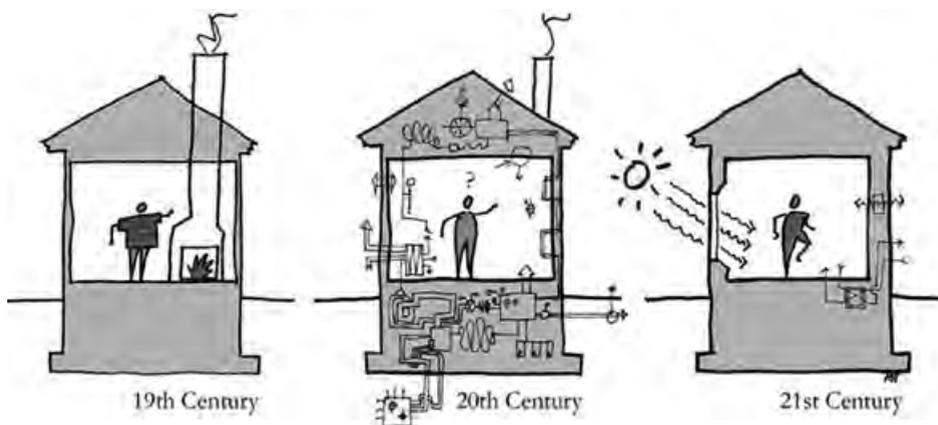


Imagen 2. Evolución de la arquitectura en los tres últimos siglos.[5]

La hoja de ruta señala que en 2050 la UE deberá haber disminuido sus emisiones un 80% respecto a los niveles de 1990 exclusivamente mediante reducciones internas (es decir, sin recurrir a créditos internacionales). Para conseguirlo, antes tendrá que lograr una reducción del 40% en 2030 y del 60% en 2040.

El 5 de diciembre de 2017, Roma – Coincidiendo con la celebración del Día Mundial del Suelo, la FAO presentó el mapa más completo sobre las reservas de carbono en los suelos jamás elaborado.

<http://www.fao.org/global-soil-partnership/pillars-action/4-information-and-data/global-soil-organic-carbon-gsoc-map/en/>[6]

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Con caldera mal mantenida y mal aislada

Los resultados obtenidos respecto a las emisiones de CO<sub>2</sub> en los edificios de referencia según el combustible empleado en la caldera son:

Tabla 3. Resultados por emisiones de las certificaciones energéticas por combustibles.

EMISIONES DE CO <sub>2</sub>		CARBÓN	GASOIL	GLP	GAS	BIOCO y PELETS
kgCO <sub>2</sub> / m <sup>2</sup> año	ANTERIOR 79	102,79	68,69	56,62	56,2	3,18
	Emisiones calefacción	90,85	59,86	48,89	48,51	3,46
	Emisiones ACS	9,11	6	4,9	4,86	0,35
	Emisiones Refrigeración	2,83	2,83	2,83	2,83	2,83
CLASIFICACIÓN		G	F	F	F	A
kgCO <sub>2</sub> /año	Emisiones CO <sub>2</sub>	135.942,38	89.572,21	73.155,43	72.579,41	5.184,24
EMISIONES DE CO <sub>2</sub>		CARBÓN	GASOIL	GLP	GAS	BIOCO y PELETS
kgCO <sub>2</sub> / m <sup>2</sup> año	POSTERIOR 79	84,23	56,81	46,39	46,04	5,96
	Emisiones calefacción	72,82	47,98	39,19	38,88	2,78
	Emisiones ACS	9,11	6	4,9	4,86	0,35
	Emisiones Refrigeración	2,3	2,83	2,3	2,3	2,83
CLASIFICACIÓN		G	F	F	F	A
kgCO <sub>2</sub> /año	Emisiones CO <sub>2</sub>	111.424,73	73.417,57	59.961,61	59.489,48	4.249,25

### 3.2 Con caldera de “condensación”, bien mantenida y bien aislada

Los resultados obtenidos respecto a las emisiones de CO<sub>2</sub> en los edificios de referencia según el combustible empleado en la caldera son:

Tabla 4. Resultados por emisiones de las certificaciones energéticas por combustibles.

EMISIONES DE CO <sub>2</sub>		CARBÓN	GASOIL	GLP	GAS	BIOCO y PELETS
kgCO <sub>2</sub> / m <sup>2</sup> año	ANTERIOR 79	90,75	60,76	50,14	49,77	6,19
	Emisiones calefacción	79,91	52,65	43	42,66	3,05
	Emisiones ACS	8,01	5,28	4,31	4,28	0,31
	Emisiones Refrigeración	2,83	2,83	2,83	2,83	2,83

CLASIFICACIÓN		G	F	F	F	A
	EMISIONES DE CO <sub>2</sub>	CARBÓN	GASOIL	GLP	GAS	BIOCO y PELETS
kgCO <sub>2</sub> / m <sup>2</sup> año	POSTERIOR 79	74,36	49,78	41,08	40,78	5,05
	Emisiones calefacción	64,05	42,2	34,47	34,2	2,44
	Emisiones ACS	8,01	5,28	4,31	4,28	0,31
	Emisiones Refrigeración	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
CLASIFICACIÓN		F	F	F	F	A

**3.3 Mejoras por tipo de caldera y aislamiento de la misma.**

Se puede observar que en todos los combustibles, salvo en las biomasa el porcentaje de mejora o de bajada de emisiones de CO<sub>2</sub> supone aproximadamente un 11.5% respecto a que la caldera este bien aislada y mantenida, aparte de ser de condensación (se ha supuesto que todas calderas con todos los combustibles pudieran ser de condensación). En las calderas de biomasa el incremento o mejora solo se produce en un 6.78 % como se puede observar en la tabla anterior.

Tabla 5. Mejora por el tipo de caldera.

EMISIONES DE CO <sub>2</sub>		CARBÓN	CARBÓN BISS	MEJORA	GASOIL	GASOIL BISS	MEJORA
kgCO <sub>2</sub> / m <sup>2</sup> año	ANTERIOR 79	102,79	90,75	11,71%	68,69	60,76	11,54%
CLASIFICACIÓN		G	G		F	F	
kgCO <sub>2</sub> / m <sup>2</sup> año	POSTERIOR 79	84,23	74,36	11,72%	56,28	49,78	11,55%
CLASIFICACIÓN		G	F		F	F	
EMISIONES DE CO <sub>2</sub>		GLP	GLP BISS	MEJORA	GAS	GAS BISS	MEJORA
kgCO <sub>2</sub> / m <sup>2</sup> año	ANTERIOR 79	56,62	50,14	11,44%	56,2	49,77	11,44%
CLASIFICACIÓN		F	F		F	F	
kgCO <sub>2</sub> / m <sup>2</sup> año	POSTERIOR 79	46,39	41,08	11,45%	46,04	40,78	11,42%
CLASIFICACIÓN		F	F		F	F	

	EMISIONES DE CO <sub>2</sub>	BIOCO y PELETS	BIOCO y PELETS BISS	MEJORA
kgCO <sub>2</sub> / m <sup>2</sup> año	ANTERIOR 79	6,64	6,19	6,78%
CLASIFICACIÓN		A	A	
		BIOCO y PELETS	BIOCO y PELETS BISS	MEJORA
kgCO <sub>2</sub> / m <sup>2</sup> año	POSTERIOR 79	5,43	5,05	7,00%
CLASIFICACIÓN		A	A	

### 3.4 Mejora por el tipo de combustible

La tabla se realiza a partir de la referencia del carbón y nos indica la disminución porcentual de emisiones de CO<sub>2</sub> respecto a las producidas por el carbón. Cada una respecto a su caldera de carbón.

Tabla 6. Reducción de CO<sub>2</sub> % por el tipo de edificio, caldera y combustible.

TIPO DE CALDERA	TIPO DE EDIFICIO	COMBUSTIBLE				
		CARBÓN	GASOIL	GLP	GAS	BIOCO y PELETS
CALDERA NI MANTENIDA NI AISLADA	ANTERIOR 79	0	33,17%	44,92%	45,33%	93,54%
	POSTERIOR 79	0	33,18%	44,92%	45,34%	93,55%
CALDERA CONDENSACIÓN MANTENIDA Y AISLADA	ANTERIOR 79	0	33,05%	44,75%	45,16%	93,18%
	POSTERIOR 79	0	33,06%	44,76%	45,16%	93,21%

La siguiente tabla nos resume la letra obtenida en la certificación energética en cada caso.

Tabla 7. Letra de clasificación según edificio, caldera y combustible.

TIPO DE CALDERA	TIPO DE EDIFICIO	COMBUSTIBLE				
		CARBÓN	GASOIL	GLP	GAS	BIOCO y PELETS
CALDERA NI MANTENIDA NI AISLADA	ANTERIOR 79	G	F	F	F	A
	POSTERIOR 79	G	F	F	F	A
CALDERA CONDENSACIÓN MANTENIDA Y AISLADA	ANTERIOR 79	G	F	F	F	A
	POSTERIOR 79	F	F	F	F	A

### 3.3 Clasificación del edificio, mejorando sensiblemente cerramientos carpinterías y caldera

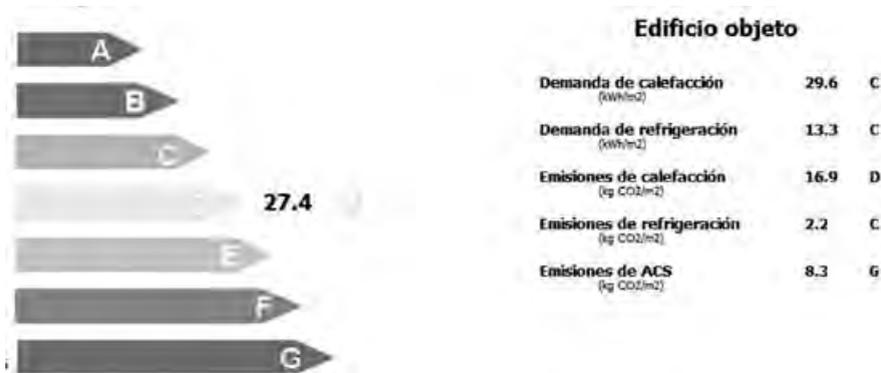


Imagen 4. Clasificación obtenida.

## 4. CONCLUSIONES

La mejor conclusión es a la que ustedes hayan llegado después de analizar los datos aquí expuestos. Dejamos unas líneas resumen en las que deberíamos pensar si realmente no nos queremos hacer trampas al solitario.

- Si convertimos el CO<sub>2</sub> como moneda de cambio, donde los países industrializados compran las emisiones a los países en vías de desarrollo, cada vez la diferencia ricos pobres se hará más grande.
- Lo que queda patente para todo el mundo es que cualquier proceso de combustión genera CO<sub>2</sub> y Agua incluido en el de la biomasa.
- Considerar que la biomasa tiene balance cero de emisión de CO<sub>2</sub> es un criterio considerando que el ciclo completo se realiza con el CO<sub>2</sub> de la atmósfera, no participando el fijado en los suelos como ocurre con los combustibles fósiles. En este balance no se tiene en cuenta el transporte de la biomasa y su producción. Se debería estudiar la huella de carbono para obtener realmente las emisiones que se generan por el mero hecho de cultivar, transportar y manipular la biomasa.
- En los edificios a rehabilitar en los que no usemos una caldera de biomasa, anteriores al CTE, solo podrán alcanzar una clasificación energética D si se pretende actuar sobre envolvente e instalaciones.
- Sin hacer ninguna actuación más en el edificio que el cambio de caldera existente por una de biomasa, ya se consigue la certificación A del edificio, punto que están aprovechando ya alguna administración para cumplir con los requisitos marcados por Europa, lo que realmente deberíamos pensar es si el consumo de energía de dicho edificio realmente se ha reducido (volvemos a la huella de carbono).
- Las mejoras entre los distintos modelos de calderas permite un rango del 11.5% de reducción de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.
- Respecto al carbón se consiguen reducciones de hasta el 50% de emisiones de CO<sub>2</sub> en los edificios dependiendo del combustible usado.

- El uso masivo de la biomasa puede llegar a producir hambrunas (cereales para bio-combustibles) por encarecer los alimentos.
- El uso de biomasa procedente de la limpia de bosques disminuye el riesgo de incendios forestales, los cuales provocan la eliminación de parte del CO<sub>2</sub> fijado en los suelos. Pero cuidado que se puede volver la tortilla y que haya intereses en quemar los bosques para conseguir biomasa.
- Aunque la cantidad de azufre contenido en la biomasa es reducida, la cantidad de biomasa que se debe quemar para producir la misma energía que por ejemplo un gas natural es muchísimo mayor, por lo que el riesgo de generar corrosión e incluso lluvia acida está presente con volúmenes muy grandes.

## 5. ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

CO<sub>2</sub> – Dióxido de carbono.

GLP – Gas Licuado del Petróleo.

GEI – Gases de Efecto Invernadero.

PCS – Poder Calorífico Superior.

PCI – Poder Calorífico Inferior.

CDIAC - Carbon Dioxide Information Analysis Center.

EECN - Edificio de Consumo de Energía Casi Nulo.

UE – Unión Europea.

IRENA - Agencia Internacional de Energía Renovable.

ACS – Agua Caliente Sanitaria.

CTE – Código Técnico de la Edificación.

NBE-CT 79 – Norma Básica de la Edificación. Condiciones Termicas en los Edificios de 1979.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] IDAE, «Ayudas a la reducción de emisiones GEI».

[2] Ministerio de agricultura y pesca, alimentación y medio ambiente, «Calculadora huella de carbono».

[3] «Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC)». [En línea]. Disponible en: <http://cdiac.ess-dive.lbl.gov/>. [Accedido: 30-ene-2018].

[4] IRENA, «Mapa de emisiones de carbono».

[5] «Albert, Righter & Tittmann Architects, Inc.» [En línea]. Disponible en: <http://www.artarchitects.com/sustainability/>. [Accedido: 31-ene-2018].

[6] «Global Soil Organic Carbon (GSOC) Map | Global Soil Partnership | Food and Agriculture Organization of the United Nations». [En línea]. Disponible en: <http://www.fao.org/global-soil-partnership/pillars-action/4-information-and-data/global-soil-organic-carbon-gsoc-map/en>. [Accedido: 12-mar-2018].

**LOS ACCESOS AL ANTIGUO CAUCE DEL RIO TURIA A SU PASO POR LA CIUDAD DE VALENCIA, EN LOS ALEDAÑOS A LOS PUENTES HISTÓRICOS**

MARTÍNEZ BOQUERA, JUAN JOSÉ<sup>1</sup>; MARTÍNEZ PORTILLA, JUAN JOSÉ<sup>2</sup>

*<sup>1</sup> Liberal, Valencia, España*

*E-mail: jmboquer@csa.upv.es, Web: jmboquer@csa.upv.es*

*<sup>2</sup> Liberal, Valencia, España*

*E-mail: juamarpo@gmail.com, Web: juamarpo@gmail.com*

**PALABRAS CLAVE:** ANTIGÜEDAD, ACCESOS, ACCESIBILIDAD.

**RESUMEN**

El río Turia a su paso por la ciudad de Valencia siempre ha estado presente en la configuración de su casco urbano.

Por sus características, al tener un cauce muy ancho y con ello tener muchos espacios libres en su lecho y una corriente fluvial relativamente pequeña, se utilizaba (cuando no se producían avenidas de aguas) desde eventos de gran relevancia como otros de cualquier índole o de poca importancia,

El cauce del río, siempre estuvo dotado de fáciles accesos que por la morfología de sus márgenes, ya los contenía en la antigüedad, pero a partir de los siglos XVI - XVII que se empezaron a construir los primeros paredones para canalizar las aguas del río y así tratar de evitar la inundación de la ciudad, es cuando se vieron en la necesidad de realizar unos accesos al lecho del río para continuar con su disfrute. Éstos eran a través de rampas para el discurrir de carruajes y de las gentes o con escaleras desde los puentes, siendo el léxico de unión entre la ciudad y el cauce del río.

En esta ponencia se reseñan los accesos al cauce del río en los alrededores a los cinco puentes más antiguos de la ciudad, por lo que representaron en el transcurrir de la ciudad, la accesibilidad y las medidas correctoras que serían de aplicación

## INTRODUCCIÓN

El río Turia, es un característico río mediterráneo, con grandes diferencias de caudal en las distintas épocas del año y a su paso por Valencia era un río con un cauce desmesuradamente ancho, poco profundo, pero con fuertes crecidas. A lo largo de la historia, han intentado por todos los medios paliar las catástrofes que las grandes avenidas ocasionaban. El binomio inundación-reacción siempre se ha producido, pero los muros construidos en argamasa fueron incapaces de aguantar las embestidas de las aguas en las riadas de los años 1475, 1487, 1500, 1517 y 1546, siendo la falta de solidez y espesor o dimensionado las causas que en las avenidas del siglo XVI las hicieran desaparecer. Hasta que 1589, a raíz de las crecidas acaecidas el 21 de julio y el 20 de octubre, el entonces rey Felipe II, ordena que realicen las obras destinada a corregir y proteger a la ciudad de las avenidas que se pudieran producir encauzando el lecho del río y realizando las protecciones laterales como paredones y muros para contener y encauzar las aguas del río Turia a su paso la ciudad, así como reedificar los puentes del Real, del Mar y San José, destruidos en la éstas últimas crecidas del río. La construcción de estos paredones, a partir de los siglos XVI - XVII con casi 8 km de longitud en cada ribera, supuso la realización de la obra de infraestructura más importante acometida en la ciudad hasta aquel entonces.

Por contra, la ciudadanía que hasta ese momento podía acceder al lecho sin ninguna dificultad ni obstáculo, ya que el río siempre estuvo dotado de fáciles accesos por la morfología de sus márgenes, al construir dichos muros se vio en la necesidad de realizar unos accesos al lecho del río. Éstos eran rampas para el discurrir de carruajes y gentes y escaleras desde los puentes, para continuar con el disfrute del cauce. Habitualmente se construían al unísono con los paredones del río que se estaban construyendo, empleándose en su realización el mismo material, es decir, mampostería ordinaria que se extraída de la cantera de Godella tomada con mortero de cal.

Desde siempre, el río al tener un cauce muy ancho, muchos espacios libres en su lecho y una corriente fluvial pequeña, a su paso por la ciudad, ha contribuido a que los valencianos hayan sabido gozarlo y aprovechar sus bondades, estando ligado a Valencia socialmente y culturalmente, realizando sus gentes infinidad de actividades lucrativas, recreativas o lúdicas a lo largo de sus años, era lugar de encuentro, para conversar, pasear, etc. Es decir, se organizaban desde conciertos, castillos de fuegos artificiales, eventos, ferias de caballos y ganado, hasta competiciones deportivas, etc.



Figura 1. Mercado de caballerizas en las inmediaciones del puente de Serranos.  
<http://comarcarural.com/valencia/2016>.

Los primeros puentes sobre el río Turia comienzan su construcción en el siglo XV y se terminan en el siglo XVII, desde esa fecha hasta el siglo XX no se vuelve a construir ningún puente. Ello es debido a que como la ciudad estaba amurallada los puentes daban el servicio requerido a las puertas de acceso a la ciudad. Con la demolición de la muralla a finales del siglo XIX, Valencia se ensancha hacia la otra ribera del río, lo que conlleva a una nueva etapa en la construcción de puentes. En la actualidad, los puentes permiten el paso de vehículos y peatones a excepción del Puente del Mar y del Puente de Serranos que son solamente peatonales.

Englobados como elementos integradores del cauce, se reseñan los accesos en los alrededores a los cinco puentes más antiguos de la ciudad

1. Puente de San José: De los cinco puentes el de San José era el situado al oeste, en el lugar donde el río hace una curva. Daba acceso a la ciudad desde el antiguo camino de Sagunto. Se llama Puente de San José, por estar frente a la “puerta” que le correspondía “el portal de San José” (hoy derribado). En su origen fue de madera (finales siglo XIII). El primer indicio de la existencia de este puente data de 1486 (siglo XV), mientras que su construcción en piedra está fechada entre 1604 y 1608. Al puente se le dotó de una rampa de bajada al cauce en su margen derecha, de la cual, no se conocen datos de su realización, aunque cabe pensar, que ésta se hiciese aprovechando las obras de la construcción de los paredones de ese lado del río que fueron entre 1606 y 1608. La primera noticia que se tiene de esta bajada al lecho del río fue a través de un grabado de Francisco Quesádez y que figura en el libro del jurista Joseph Llop[1] de 1674.

2. Puente de Serranos: A principio del siglo XVII, se levantaron los paredones del cauce del río en los alrededores al puente de Serranos. Tras la riada de 1672 los de su margen derecha fueron derruidos, y fue en el transcurso de la reconstrucción de los mismos cuando se construyó una amplia rampa para carruajes ubicada aguas abajo del puente. En la segunda mitad del siglo XVIII el puente contó con una escalera que lo conectaba con el cauce, pero en 1808, durante la guerra de la Independencia, la escalera fue demolida. En el 1837, Salvador Escrig en la margen izquierda del río, aguas arriba del puente, proyectó un mirador semicircular y se abrió una pequeña escalera de acceso al cauce. Tras la intervención de la restauración finalizada en el año 2009[2], el puente ha retornado su morfología original

reconstruyéndose los miradores y escaleras, reintegrando además, el tramo que faltaba en la rampa de carruajes.

3. Puente de la Trinidad: Durante su construcción en el siglo XVI, se realizaron dos escaleras a cada lado del puente para acceder a lecho del río, y en la construcción de los paredones en la ribera izquierda, se adosó al puente una rampa para facilitar el acceso de esa orilla con la ribera del río. En el año 2006[2] se han reconstruido las dos escalinatas que lo conectaban con el cauce, dejando el puente con la morfología original.

4. Puente del Real: Inicialmente era de madera y facilitaba el acceso al cercano Palacio Real, de ahí que tomara su nombre, hasta que en el año 1594 se construyó el puente de cantería, donde en el margen derecho, aguas abajo, una rampa daba acceso al cauce del río. A principios del siglo XVII se construyeron los muros y la rampa de bajada al cauce, aguas abajo y lindando con el puente. En el plano del padre Thomas Vicentio Tosca [3] de 1704, aparece dibujada en el puente una escalera de dos tramos, que en el transcurso del tiempo ha desaparecido.

5. Puente del Mar: Era la salida natural de la ciudad para ir al mar, inicialmente era de madera hasta que en el año 1424 se construyó en piedra. Fue abatido en diversas ocasiones por las avenidas del río Turia. En el año 1591, se construye un nuevo puente de sillares calizos y cuando se construyeron los paredones aguas arriba, se construyó la rampa de acceso al cauce.

Como dato informativo, en la actualidad, el antiguo cauce del río Turia está dotado de 40 rampas y 27 escaleras de acceso al lecho del cauce.

La crecida del río Turia acaecida el 14 de octubre de 1957, con un caudal de 3.700 m<sup>3</sup>/s, inundó gran parte de la ciudad de Valencia produciendo cuantiosos daños personales y materiales. Este acontecimiento, fue un punto de inflexión abriendo un debate sin precedentes en la ciudad, hasta el punto que obligó al Estado a tomar una decisión importantísima como es el desviar el río a su paso por dentro de Valencia y evitar posteriores inundaciones. Este proyecto se materializó con la construcción de un nuevo cauce desviándolo por el sur de la ciudad, conocido como Plan Sur que cambió no solo el curso del río sino también la fisonomía urbana de la ciudad de Valencia.

Con el desvío del río, el casco antiguo se encuentra con más de 1.800.000 metros cuadrados de suelo público a disposición de la ciudad, lo que origina una controversia para decidir cuál es el uso de dichos terrenos, una franja que recorre de oeste a este el centro de la urbe. Entre las propuestas para decidir el destino estaba el realizar una gran autopista que recorrería la ciudad por el cauce de oeste a este, uniendo el aeropuerto con el puerto o la playa. Ante estos planteamientos, la ciudadanía empezó a levantar la voz demandando un giro total, se pidió el cambiar las autopistas por una gran zona verde, hasta que en el año 1986, felizmente se aprobó dicho deseo convirtiendo el antiguo cauce del río Turia a su discurrir por la centro de Valencia en una zona verde con una extensión de más de 110 Ha. Formándose así el mayor jardín urbano de España utilizado por todo tipo de personas, de todas las edades y características, con fines deportivos, lúdicos, de ocio y descanso. Dichas personas para disfrutarlo tienen que acceder al Jardín del Turia a través de rampas, escaleras o con aparato elevador.

Por ello, el objetivo es el estudio de los accesos situados en los alrededores a los puentes históricos para su adecuación a la normativa vigente con una posible propuesta de mejora si fuese necesario para convertir al antiguo cauce del río Turia en una zona accesible para todos.

## METODOLOGÍA

La primera fase, se centra en la obtención de documentación del antiguo cauce del río Turia, tanto escrita como gráfica. Todos estos datos permitirán conocer la evolución del viejo cauce y de la ciudad de Valencia, su adecuación a las necesidades de cada momento así como los usos a que ha sido destinado. Esta información ha servido de base para iniciar el proceso de investigación planificado.

La segunda fase se basa en realizar un análisis comparativo de la Normativa vigente en materia de Accesibilidad en el Medio Urbano de la Comunidad Valenciana “Orden de 9 de junio de 2004 [4], de la Consellería de Territorio y Vivienda, por la que se desarrolla el decreto 39/2004, de 5 de marzo, del Consell de la Generalitat, en materia de accesibilidad en el medio urbano” y la Normativa Estatal “Orden VIV/561/2010, de 1 de febrero [5], por la que se desarrolla el Documento Técnico de condiciones básicas de accesibilidad y no discriminación para el acceso y utilización de los espacios públicos urbanizados”. Con ello se pretende establecer los puntos más restrictivos de cada uno de los artículos que establecen las normativas para seguidamente crear unas fichas resumen y aplicarlas al estudio de los accesos históricos ubicados en el antiguo cauce del río Turia.

La tercera fase, se centra en conocer el estado actual en que se encuentra el cauce del río Turia. Para ello, el cauce, a su paso por la ciudad se ha dividido en tramos que facilitan su estudio por partes. Para definir los tramos se han tomado como elementos delimitadores los puentes que se suceden a lo largo del río.

Siguiendo esta subdivisión del río, se han estructurado los siguientes tramos:

Tramo 1-2: Desde el Puente 9 de Octubre hasta el Puente de Campanar.

Tramo 3: Desde el Puente de Campanar hasta el Puente de Glorias Valencianas.

Tramo 4-5: Desde el Puente de Glorias Valencianas hasta el Puente San José.

Tramo 6: Desde el Puente de San José hasta el Puente de la Trinidad.

Tramo 7-8: Desde el Puente de la Trinidad hasta el Puente de la Exposición.

Tramo 9: Desde el Puente de la Exposición hasta el Puente de las Flores.

Tramo 10-11-12A: Desde el Puente de las Flores hasta el Puente del Reino.

Tramo 12B-13-14-15: Desde el Puente del Reino hasta el Puente de l'Assut de l'Or.



Figura 2: Tramos del Cauce del Río Turia. <https://es.wikipedia.org>: Jardín del Turia.

En la cuarta fase, se realiza el estudio en cada tramo del cauce del río localizando los diferentes accesos que pueden ser recorridos de diferente formas: peatonal, en bicicleta, patines, monopatín, vehículos, etc. y se analizan.

Consiste en comprobar, analizar y actualizar la información de toma de datos mediante trabajos de campo realizando croquis in situ, tomando fotografías, mediciones, cotas, pendientes, dimensiones, estado de conservación, lectura de información, etc.

Para las rampas se obtiene:

1. Tipo de rampa: peatonal, mixta o carril bici.
2. Ancho libre de paso.
3. Longitud rellano intermedio.
4. Longitud de cada tramo.
5. Pendientes longitudinales y transversales.
6. Nivel de iluminación.
7. Tipo de pavimento.
8. Elementos de apoyo y protección al peatón.
9. Señalización.
10. Diferenciación táctil.

En las escaleras:

1. Ancho libre de paso.
2. Número máximo de peldaños seguidos.
3. Número mínimo de escalones seguidos.
4. Escalones, relación de huella y contrahuella.
5. Nivel de iluminación.
6. Tipo de pavimento.
7. Diferenciación táctil.
8. Elementos de apoyo y protección al peatón.



Figura 3. Luxómetro, para conocer el nivel de iluminación. (Fotografía propia)

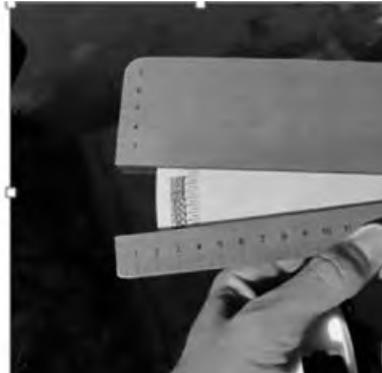


Figura 4. Inclinómetro para sacar % de las pendientes en las rampas. (Fotografía propia)

La quinta fase consiste en catalogar los accesos mediante unas fichas elaboradas, aplicando siempre la normativa más restrictiva entre la Comunidad Valenciana según su Decreto 39/2004 [4] y la Normativa Estatal mediante la Orden 561/2010 [5]. Lo que se pretende con ello es facilitar una información ágil del acceso, aportando datos sobre las características generales que debe poseer el elemento analizado para que cumpla la normativa vigente.

La ficha, dispone de dos columnas, en la primera se indica el grado de cumplimiento de la normativa y en la segunda su estado actual, donde se plasma del elemento estudiado el resultado evaluado, indicando en cada casilla si cumple con una (C), no con cumple (N.C) y no procede (N.P).

Nº	ACCESOS RAMPAS	Normativa	Situación actual
<b>1</b>	<b>Características generales</b>		
1.1	Ancho libre $\geq$	1,80m	
1.2	Longitud del tramo (proyección horizontal) $\leq$	9,00m	
1.3	Pdte. longitudinal para considerar rampa $\geq$	6%	
1.4	Pdte. longitudinal	6%	
1.5	Pdte. transversal $\leq$	1,5%	
1.6	Longitud de rellano intermedio $\geq$	1,50m	
1.7	Desembarque al inicio-final de rampa $\geq$	1,50m	
1.8	Nivel de iluminación	20 lux	
<b>2</b>	<b>Pavimento</b>		
2.1	Antideslizante	SI	
2.2	Exento de resaltes	SI	
2.3	Compacto, duro	SI	
2.4	Firme fijación al soporte	SI	
2.5	Diferenciado inicio y final de rampa	SI	
<b>3</b>	<b>Pasamanos</b>		
3.1	A ambos lados	SI	
3.2	Central	Si $a \geq 4m$	
3.3	Altura pasamanos inferior	0,65-0,75m	
3.4	Altura pasamanos superior	0,95-1,05m	
3.5	Prolongación de los extremos	30cm	
3.6	Sección igual o equivalente a	$\varnothing$ 4,5-5 cm	
3.7	Separación a paramento vertical $\geq$	4cm	
<b>4</b>	<b>Protección lateral</b>		
4.1	Zócalo lateral desnivel de 0,20m $\geq$	0,10m	
<b>5</b>	<b>Plataforma Mixta</b>		
5.1	Diferenciación táctil	SI	
5.2	Diferenciación visual color	SI	
5.3	Señalización de los dos carriles	SI	

Tabla 1: Ficha de comprobación de cumplimiento grado de accesibilidad en rampas, según Normativa vigente en materia de Accesibilidad en el Medio Urbano de la Comunidad Valenciana “Orden de 9 de junio de 2004” y Normativa Estatal “Orden VIV/561/2010, de 1 de febrero”.

Por último se presenta una propuesta de medidas correctoras y recomendaciones si fueran necesarias de cada uno de los accesos en los puentes históricos. De cada acceso estudiado, se confecciona una conclusión final relativa al grado de accesibilidad que posee.

## RESULTADOS

1. Puente de San José: Rampa ubicada en el margen derecho del cauce del río, rehabilitada y pavimentada al no existir otros accesos próximos para acceder al cauce.

El estudio de las rampas consta de 5 apartados que recogen 24 puntos de verificación. Se indica en cada rampa el número de puntos de inspección, su número de cumplimiento y la valoración obtenida en porcentaje de tanto por cien.

RAMPA DE SAN JOSE	Puntos totales	Cumple	Valoración
Características generales	8	4	50%
Pavimentos	5	4	80%
Pasamanos	5	1	20%
Protección lateral	1	1	100%
Plataforma mixta	---	---	---
<b>Valoración</b>	<b>19,00</b>	<b>10,00</b>	<b>53%</b>

Tabla 2: Resultado de grado de cumplimiento de accesibilidad rampa ubicada en el Puente de San José.

2. Puente de Serranos: Rampa de difícil valoración y justificación desde el punto de vista de la accesibilidad, ya que se conserva como “muestra del Patrimonio Histórico de la ciudad”. Su adecuación llevaría a la pérdida de esta “característica”, y dada la presencia de otros accesos cercanos como la rampa ubicada en su mismo margen a una distancia de 120 metros o la escalera ubicada en el Pont de Fusta a una distancia de 20 metros, hacen que no sea necesaria su intervención. Por dicho motivo, se procede a la evaluación que no propone ninguna modificación de su estado:

Carece de iluminación propia, ya que se ilumina gracias a las luminarias ubicadas en viales superiores e inferiores del cauce, no existe señalización indicando que es un acceso histórico y proporciona confusión a los visitantes del cauce, no dando información de los accesos, punto dónde estáis ubicado, zonas de interés, normas de utilización y carece de información en braille y en alto relieve, así como pasamanos a doble altura en ambos lados.

Solado baldosas y adoquines de granito, donde no se puede actuar, ya que perdería su morfología.

3. Puente de Trinidad: Las escaleras ubicadas en este puente, mantienen su misma morfología tras su rehabilitación del año 2009. Igual que ocurre con el puente de Serranos, no se pueden justificar desde el punto de vista de la accesibilidad. Su adecuación llevaría a la pérdida de su valor histórico, dada la existencia de dos rampas cercanas, una en el margen derecho a una distancia de 50 metros y otra en el margen izquierdo a una distancia de 35 metros. Por tal motivo, se procede a la evaluación que no propone ninguna modificación de su estado:

Carece de alumbrado específico, de banda antideslizante ubicada en las huellas de los peldaños, ya que es muy pronunciada y carece de señalización indicando que es un acceso histórico y proporciona confusión a los visitantes del cauce, no dando información de los accesos, punto dónde está ubicado, zonas de interés, normas de utilización y carece de información en braille y en alto relieve.

No cumple con el apartado de barandillas, ya que solo existe un pasamanos de sección rectangular en ambos lados.

4. Puente del Real: Acceso que data del periodo en que se construyó el puente y sobre el que queda adosada. En la actualidad, está adecuado y pavimentado, siendo una rampa mixta para peatones y ciclos.

RAMPA PUENTE DEL REAL	Puntos totales	Cumple	Valoración
Características generales	7	5	71%
Pavimentos	5	4	80%
Pasamanos	5	2	40%
Protección lateral	1	1	100%
Plataforma mixta	---	---	---
<b>Valoración</b>	<b>18,00</b>	<b>12,00</b>	<b>67%</b>

Tabla 3: Resultado de grado de cumplimiento de accesibilidad rampa ubicada en el Puente del Real.

5. Puente del Mar: Acceso que data del periodo en que se construyó el puente, se ha adecuado su pavimento, resultando una rampa mixta para peatones y ciclos.

RAMPA PUENTE DEL MAR	Puntos totales	Cumple	Valoración
Características generales	8	4	50%
Pavimentos	5	4	80%
Pasamanos	6	0	0%
Protección lateral	---	---	---
Plataforma mixta	3	0	0%
<b>Valoración</b>	<b>22,00</b>	<b>8,00</b>	<b>36%</b>

Tabla 4: Resultado de grado de cumplimiento de accesibilidad rampa ubicada en el Puente del Mar.

## CONCLUSIONES

Las conclusiones generales extraídas por el resultado del análisis en los accesos ubicados en los alrededores de los puentes históricos de Valencia, se expone a continuación la relación de los puntos débiles de cada uno de ellos susceptibles de ser mejorados y adecuados a la normativa vigente.

La señalización es escasa y puede proporcionar confusión, no dando información de accesos, punto dónde estás ubicado, zonas de interés, normas de utilización y carece de información en braille y en alto relieve. Es este uno de los puntos débiles que se han detectado en este estudio y que precisaría de una modificación urgente.

Las rampas se iluminan gracias al vial superior o a las luminarias del cauce. También se encuentran casos donde existe una falta de mantenimiento ya que no se han repuesto las luminarias en mal estado, siendo éste otro punto débil.

Las longitudes del tramo de las rampas son excesivas, no existen rellanos intermedios para el descanso y la desmedida pendiente longitudinal es un problema para las personas con movilidad reducida.

Los accesos en muchos casos carecen de elementos de apoyo y protección frente a caídas, como son los guardacuerpo y pasamano.

La única escalera existente y que es “histórica”, dispone de este elemento de apoyo a doble altura.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Joseph Llop de la Intitutió Govern polithiv y Juridich. Costums y Observacies de la Fábrika Vella dita de Murs, E Valls; y Nova dita del Riu. 1674.
  - [2] Bosch Reig, I.; Corell Farinós, V.; Alapont Ramón, J.L.; Navarro Bosch, AM. (2006). Intervención de restauración en los puentes de Trinidad y Serranos de Valencia. Arché. (1):211-222. Use este identificador para citar este ítem: <http://hdl.handle.net/10251/32532>
  - [3] Plano Valentia Edetanorum alliis Contestanorum, vulgo del Cid. Plano Thomas Vicentio Tosca. 1704
  - [4] Normativa vigente en materia de Accesibilidad en el Medio Urbano de la Comunidad Valenciana “Orden de 9 de junio de 2004, de la Consellería de Territorio y Vivienda, que se desarrolla el decreto 39/2004, de 5 de marzo, del Consell de la Generalitat, en materia de accesibilidad en el medio urbano”
  - [5] Normativa Estatal “Orden VIV/561/2010, de 1 de febrero, por la que se desarrolla el Documento Técnico de condiciones básicas de accesibilidad y no discriminación para el acceso y utilización de los espacios públicos urbanizados”.
- ALMELA I VIVES, F. Las riadas del Turia 1321-1949. Ayuntamiento de Valencia. Valencia. 1957. Archivo Municipal de Valencia. Libro Sutsobrería de Murs i Valls. SMV d-38. F 48v. Càrcel Ortí M. Vida y Urbanismo en la Valencia del S. XV. Regerta Documental. Miscel.landia Medievals. Barna. 92

Figura 1. Mercado de caballerizas. Inmediaciones del puente de Serranos.

<http://comarcarural.com/valencia/2016>.

Figura 2: Tramos del Cauce del Rio Turia. <https://es.wikipedia.org>: Jardín del Turia.

**LOS REVOCOS DECORADOS Y ESGRAFIADOS. FACHADAS  
TRADICIONALES Y MURALES ACTUALES, FORMA EFICIENTE,  
ECONÓMICA Y TAMBIÉN ACTUAL DE CONSTRUIR**

PUGA ORIBE, LUIS

*Arquitecto Técnico. Profesión liberal, Salamanca, España*

*E-mail: pugaoribe@gmail.com, Web: No tiene página web*

**PALABRAS CLAVE:** Rehabilitación; restauración; fachadas; cal; revestimiento.

**RESUMEN**

Como tesis doctoral, se han recogido y estudiado los revocos decorados y esgrafiados en la provincia de Salamanca, sus procesos y técnicas, se puede afirmar que estos acabados tradicionales se adaptan a la construcción eficiente y a los gustos modernos, con mayor duración que los acabados pintados u otros materiales más actuales. Permiten dar orden y proporción a los huecos y fachadas, aportar valores estéticos, integrándose con corrección en los cascos históricos, y colaborando en su regeneración. Gracias a la disponibilidad de cales, pigmentos, y arenas de gran calidad, junto con el conocimiento y difusión de las técnicas tradicionales, es posible en su ejecución, conseguir acabados apreciables y económicos casi olvidados, comunes hasta fechas recientes en nuestro entorno, de fácil conservación y renovación, que se mantuvieron hasta la proliferación de los muros descarnados o los nuevos materiales, que tienden a unificar el aspecto de nuestras calles y cascos históricos, arrastrados por modas que alteran el aspecto de nuestra rica arquitectura tanto urbana como rural, y que se empobrece y puede llegar a desaparecer. Los arquitectos técnicos, o los actuales ingenieros de la edificación, pueden apreciar, conocer, y difundir estos acabados, incorporando en la dirección de la ejecución, la mejora de las técnicas, y calidad visual de una fachada.



Figura 1: Revoco con esgrafiado en Miranda del Castañar (Salamanca), fechado en 1770.

## 1. INTRODUCCIÓN

Si bien algunos métodos de construcción han quedado obsoletos y son superados por los nuevos materiales, de este trabajo de investigación, para el que se han recorrido trescientos sesenta y tres municipios o pedanías. Se puede deducir que los revocos decorados siguen siendo eficaces, demostrando sus aplicaciones en el nuevo arte y estéticas urbanas, y su durabilidad con revocos que se conservan en Salamanca con edades superiores a los doscientos cincuenta años, que deben ser conocidos “figura 1”. Los revocos cubren las fachadas de un importante número de edificios tanto tradicionales como actuales. En Salamanca se han recogido mil ciento cincuenta y nueve ejemplos apreciables. El rostro de la arquitectura aparece protegido por una fina capa de mortero, que es admirado por los vecinos y visitantes, y ocupa una superficie muy importante de los muros que vemos al pasear por nuestros cascos urbanos “figura 2”.



Figura 2: Edificio de nueva construcción esgrafiado en 1987 en Salamanca.

Ya el aparejador Marià Casas i Hierro en su obra *Esgrafiats* en 1981, manifiesta la necesidad de conservar estos acabados diciendo que, “*puede ayudar al esfuerzo colectivo necesario para dar una nota de color al aspecto de las ciudades, y si esto puede ser bastante importante, no lo es menos, lo que pueda ayudar al conocimiento de esta técnica para sensibilizarnos y evitar la destrucción de los mismos y por tanto la destrucción de parte de nuestro patrimonio artístico, cultural y tecnológico*” [1].

La existencia de paramentos revocados, tiene sus primeras referencias, encontradas hasta ahora, en Catal Hüyük, en Anatolia (Turquía), fechadas entre el 6600 y el 5650 a.C., pero su mayor difusión, y de mejor calidad, se produce sobre todo en el siglo II a.C., con la construcción romana. Es Vitruvio, quien en el siglo I a.C., redacta el tratado que será referencia básica para todos los tratadistas posteriores al hablar de los revocos. Jean-Pierre Adam confirma que *la presencia de gruesos enlucidos de varias capas de mortero está atestiguada en Campania desde el siglo III a.C.* [2].

La aparición del cemento, junto a la importante eclosión constructiva de las últimas décadas, favoreció la reducción del empleo de morteros tradicionales con conglomerante de cal. Los nuevos revestimientos, de colores y contrastes llamativos, han ocupado también los muros remozados de viejos inmuebles, invadiendo en algunos casos los cascos antiguos no suficientemente cuidados. La globalización, gracias a los modernos sistemas de promoción y distribución, han cubierto calles y plazas tendiendo a la uniformidad, con la consiguiente pérdida del carácter propio de cada comarca o región, derivando hacia una estética internacional que propiciaba la nueva arquitectura. Por otro lado, los maestros de obras y albañiles de mayor edad, conocedores de las técnicas tradicionales, han finalizado su actividad, trasladándose sus hijos y aprendices a las grandes urbes, donde los procedimientos convencionales eran otros, cayendo en el olvido o la marginalidad muchas de las técnicas que pervivían en el ámbito local, comarcal, o regional, de generación en generación, constituyendo un patrimonio inmaterial que permitía la pervivencia de soluciones constructivas propias y peculiares que aportaban carácter, singularidad, y personalidad a los entornos. La emigración dejó sin oficiales muchos núcleos urbanos, que recurrieron a la autoconstrucción, olvidando los antiguos y eficaces procedimientos. Tras la diáspora, se produce años después el retorno de algunos, que traen de las grandes metrópolis los nuevos procedimientos y revestimientos con los que levantan extrañas fachadas, transformando los espacios urbanos con sorprendentes mezcolanzas de materiales y colores. A esto se le añaden las modas. Criterios de restauración discutibles, que tienden a dejar a la vista las estructuras y mampuestos que componen los muros. El auge por descarnar las paredes de mampostería, levantadas en la gran mayoría de los casos para ser revestidas, ejecutadas sin intención estética, gracias al desarrollo de los muros de doble hoja, que protegen y ocultan con las cámaras la cara posterior de los muros, con sus zócalos húmedos, ahora invisibles. Iniciativas como las Escuelas Taller, surgidas en 1985, tenían la voluntad de recuperar estos oficios antes de la desaparición de los escasos maestros de obras. Publicaciones como la guía práctica de la cal y el estuco [3], recogían de forma eficaz trabajos que han ayudado a su pervivencia. También ha sido importante el mantenimiento de una enseñanza reglada como la impartida en la Escuela de Arte y Superior de Diseño de Segovia con un ciclo formativo de Procedimientos Murales, y la iniciativa de la Diputación de Segovia con publicaciones sobre el esgrafiado [4], y algunas otras que centran su atención en los aspectos estéticos e históricos fundamentalmente.

Los revocos al exterior, junto con los buenos rejuntados, se han mantenido en algu-

nas iglesias, conventos o monasterios, con muros de gran altura que difícilmente pueden ser trasdosados con cámaras esbeltas. El revoco, bien ejecutado, protege el espesor de los muros, evita las filtraciones, reduciendo considerablemente la humedad y prolongando su vejez. También reduce la superficie expuesta al tender a la planeidad frente a la cara ondulante de una fábrica despellejada. Unifica el aspecto de una fachada ocultando cargaderos, refuerzos, cantos de forjado, conductos y rozas, vistiéndola la arquitectura. Los revocos permiten dar unidad a un edificio en las remodelaciones, reformas, ampliaciones u otras actuaciones que intervienen sobre volúmenes o cuerpos exteriores.



Figura 3: Fachada esgrafiada en Ciudad Rodrigo (Salamanca).

Estos acabados suelen estar acompañados en ocasiones con decoración “figura 3”. De forma sencilla, en su ejecución, es posible realzar una fachada mediante subdivisiones. Ordenar u homogeneizar huecos de diferente tamaño y ubicación, y generar planos de luz o sombras mediante la realización de relieves o diferentes texturas de acabado. Desde rústicas y espontáneas, hasta refinadas y elaboradas, con trazados geométricos o más artísticos, así el empleo de los revocos decorados y esgrafiados ha sido hasta fechas recientes, una manera tradicional, sencilla y económica de revestir también los zaguanes, patios, escaleras o salones, pero de interés especial, los muros exteriores que constituyen la piel del edificio, y limitan y configuran el espacio urbano común, en el que se desarrolla la vida social, y por el que son apreciados o denostados nuestros pueblos, pasan a formar parte de los catálogos de pueblos más bonitos, o son declarados conjuntos histórico artísticos.

Nuestras fachadas también son elementos indicadores de un nivel social, como lo es su ubicación, y cuando son apreciables, forman parte del orgullo personal, popular o colectivo, con motivos decorativos propios, alimentando la riqueza del patrimonio edificado y enriqueciendo el turismo cultural, especialmente en comunidades como Castilla y León, con grave pérdida de población y de operarios y capital capaz de mantenerlo. El estudio pormenorizado de los revocos decorados de una provincia como la de Salamanca, rica en arquitectura monumental de sillería y piedra con otras labras, nos ha permitido conocer el número, la evolución y el estado actual de los revocos decorados. Las zonas de la Sierra de Francia o de Béjar, con el empleo de las estructuras de muros entramados de madera, han sufrido la pérdida de muchos de los revocos tradicionales que protegían del frío y la lluvia los espacios habitados, y contrastaban de forma plástica con cuadras y corrales, de mampostería, asentada con paja, barro o en seco.

El uso de las arenas locales y morteros de cal, unas veces finos, y otras rústicos, confeccionados con cales artesanales de la zona, configuraban calles y manzanas que realizaban

las rejas, balcones, puertas o tejados, aportándole una singularidad auténtica nada escenográfica. La incorporación de construcciones con estructuras de hormigón armado y acero, no deberían haber supuesto la eliminación o sustitución de los revocos tradicionales, con sus técnicas y acabados, que pueden ser aplicados tanto sobre un relleno de entramados de adobe o ladrillo de tejar, como sobre una moderna termoarcilla, muro de medio pie de ladrillo u hormigón armado. El contacto con el edificio, y la observación de los sistemas y acabados existentes en los inmuebles sobre los que actuamos, nos permiten conocer y evaluar los materiales, técnicas y terminaciones empleadas, así como su evolución a lo largo del tiempo. Si bien la responsabilidad del arquitecto técnico está delimitada temporalmente, en el seguimiento del resultado de una actuación, su buen o mal comportamiento, determinará nuevas decisiones sobre sucesivas intervenciones para conseguir los mejores y más duraderos resultados. Al mismo tiempo, la decoración sobre las fachadas ejecutada con morteros de cal, ha sido valorada, y es como afirma Gárate Rojas, *“tan característica de nuestros recintos monumentales, en muchos de los cuales sus revocos y esgrafiados hechos con cal les han dotado de esa dimensión tal sutil. Sería impensable una Segovia blanca”* [5].

La arquitectura tradicional nos permite observar los resultados de la experiencia acumulada por sucesivas generaciones que perfeccionaron los procedimientos de forma anónima pero eficiente, una forma de pensar y actuar, como afirma Juan Carlos Ponga que: *“han ido depurando formas, materiales y actitudes, han ido marcando “costumbres”* [6]. Algunas de las cuales se están perdiendo, como es el uso de revocos de cal de elaboración tradicional, tanto en entornos urbanos como rurales, marginada a trabajos de restauración, o morteros prefabricados que los incorporan. Los revestimientos exteriores colaboran en la configuración de un lugar, contribuyen a identificarlo, y su mantenimiento permite la continuidad del mismo y de su legado constructivo que en su evolución debería acrecentarse. Los acabados, en sus colores, texturas, y formas de terminar sus fachadas, recogen un conocimiento que debe perdurar. Un factor determinante era el aprovechamiento de los recursos del entorno de una forma racional. Cada tradición constructiva debe ser entendida como un valor generado por la comunidad, de importancia para ésta y para la humanidad. Estos conocimientos forman parte de la cultura del lugar, componen un catálogo de hallazgos o diseños experimentados valiosos para la sociedad local pero también para el conocimiento colectivo. Las limitaciones y escasez de recursos han facilitado soluciones y rasgos constructivos propios que personalizan la arquitectura, la diferencian, y enriquecen la del conjunto, “figura 4”.



Figura 4: Ventana con decoración esgrafiada en Robleda (Salamanca).

La sostenibilidad de los revestimientos tradicionales es indiscutible, y el conocimiento de estos métodos tradicionales será la base para el desarrollo de soluciones futuras. La economía global permite el empleo de materiales homogéneos, pero la homogeneización de estos lugares provoca que la sociedad pierda interés y apego por el entorno que la rodea. El patrimonio edificado se convierte en ocasiones también en objeto de consumo turístico, descontextualizándolo de su espacio urbano y social, distante de los valores de sus habitantes. Su mantenimiento se justifica mediante la participación en él y en su entorno, de tal modo que forme parte de nuestra vida y economía, haciendo que nos pertenezca. Mediante revocos es posible reponer el buen aspecto de un paramento, de nueva construcción o rehabilitado, se trata de un revestimiento tradicional por antonomasia. Acabado sencillo, incluso humilde pero que ejecutado correctamente aporta protección y ornato. El interés por la renovación y la nueva arquitectura no debe ir asociado a la condena o denigración de las técnicas y logros del pasado. Se sustituye de manera banal y frívola las técnicas tradicionales sin integrar muchos de sus valores. La interpretación de la tradición constructiva de un entorno permite minimizar el impacto ambiental con el uso de revestimientos adecuados. La sostenibilidad de estos procedimientos, la integración en el medio, y su cultura, permite mantenerlos en la memoria de la sociedad y entre los códigos propios del lugar. La conciencia social favorece una economía circular que reduce la producción de residuos, y se adecúa a la perfección con las corrientes ecológicas actuales.

## **2. LOS REVOCOS, SUS PROPIEDADES Y APLICACIÓN**

Realizados con mortero de cal hasta la década de los años sesenta, se empiezan a ejecutar morteros bastardos, con cal y cemento, y a partir de los setenta. Con la casi desaparición de la cal del mercado, se sustituye por cemento blanco. Un revestimiento barato que se termina preferentemente pintando. Su excesiva rigidez, escasa permeabilidad y ejecución irregular ha producido su descrédito y múltiples patologías. La introducción de morteros preparados y ensacados ha mejorado la facilidad de aplicación, con aditivos plastificantes, impermeabilizantes, retenedores de humedad, y colorantes, no por ello resolviendo la totalidad de los múltiples problemas que pueden presentar. Los enfoscados, regularizan y confiere uniformidad, tanto de aspecto como en el plano, varían su espesor en función de la irregularidad del soporte y de la regularidad o tolerancia en el plano que pretendemos conseguir. La aplicación de mortero tradicional, a mano, presentaba características de acabado distintas a las de los revocos actuales. La proyección con violencia, arrojando mediante un movimiento de muñeca acelerando la pasta contra el muro, conseguía una mayor adherencia mecánica y revocos más compactos.

Los enfoscados mediante frotación de la pasta con llana, no garantizan una adherencia permanente, la falta de compacidad de estos revocos se manifiesta con el empanado y desprendimiento, en particular en paramentos con poca absorción de humedad y especialmente sobre hormigón, problema que se resuelve con la colocación de grapas de ladrillo, mallas galvanizadas, plásticas o de fibra, o la aplicación de pinturas o resinas de anclaje, de las que no tenemos suficiente experiencia sobre su duración por tratarse de anclajes químicos y no mecánicos.

## 2.1 Revocos con morteros industriales o artesanales

Las nuevas técnicas y la tecnología permiten aplicar la pasta mediante máquinas de proyección o chorreo, con una consistencia blanda, que luego es trabajada con grandes llanas “figura 5”. En ocasiones es necesario proceder previamente a aplicar una capa de regularización que rellene los relieves más pronunciados, evitando puntos con grandes espesores de mortero y reduciendo la posibilidad de formación de fisuras por retracción. Dependiendo del mortero aplicado (cuanto más gruesa es la arena, el espesor a aplicar puede ser mayor), cuando se superan los 18mm., la contracción en el fraguado, y posterior secado puede dañarlos, provocando fisuras. Los fabricantes de morteros ensacados producen estos materiales listos para amasar con agua, hasta el punto de plasticidad que consideremos idóneo, bien batido con batidora o amasadora mecánica. Avalados por el cumplimiento de la norma UNE EN 998, morteros para revoco y enlucido, su fabricación industrial nos impide conocer su verdadera composición, y la corrección de los posibles problemas puntuales que pueden surgir en su uso. Por otro lado, la homogeneidad conseguida en la fabricación de un mortero preparado se traslada a su ejecución sobre los paramentos, pero limita o impide trabajos o acabados no normalizados.



Figura 5: Muro con revoco antiguo revocado proyectado con monocapa.

La experiencia nos dice que la ejecución realizada al modo tradicional de enfoscados ha hecho posible la variedad de acabados, tanto en colores, más naturales, como en textura, que podemos ver en antiguas edificaciones. El uso de arenas locales, la preparación de soporte de forma tradicional o incluso el fratasado realizado con madera (en lugar de las modernas herramientas de plástico), le confiere a los muros una personalidad y singularidad que es apreciada por los promotores, por los profesionales de la construcción e incluso los artistas plásticos. Diferenciar un revoco tradicional, a la manera local, de otro realizado con un mortero industrial, no es nada complicado. Pero todo no son ventajas en la ejecución de enfoscados tradicionales con cemento o cal, arena, y agua amasados en obra a mano o con una hormigonera. No son pocos los albañiles, en muchas ocasiones animados por técnicos ilustrados, que sin experiencia alguna, orientados por libros antiguos, manuales, revistas, y ahora en Internet, se deciden a realizar revocos de cal, lisos o decorados, con resultados, en el mejor de los casos, aleatorios. El uso de materiales tradicionales requiere no solo unos momentos de estudio y lectura. Los albañiles y maestros de obras repetían sus técnicas de albañilería y enfoscados, empleando siempre los mismos materiales, en la misma localidad

o comarca, experimentado su comportamiento sin necesidad de homologación o marcado CE. Podemos afirmar que en ocasiones también sufrían rotundos fracasos que deshacían, repetían y ocultaban en lo posible a los ojos del promotor o cliente, y por supuesto en escasas ocasiones trasladaban a manuales o tratados de albañilería su nefasta experiencia. Para no señalar a otros, el que escribe también ha experimentado esta faceta del oficio.

Realizar un buen mortero de cemento, de cal o bastardo supone, además de conocer la arena que vamos a emplear, estudiar su aptitud y propiedades, experimentada en anteriores ocasiones o realizar muestras y testigos. Las dosificaciones que leemos en los manuales 1:4, 1:3:5, etc, no deben ser entendidas como formulaciones matemáticas exactas. Es necesario que la mezcla sea homogénea en todas las amasadas de un revoco, pero del mismo modo que un cocinero sala o aliña sus guisos sin necesidad de una báscula de alta precisión, cada arena, en función de su aspereza, compacidad, o consistencia, debería requerir una corrección puntual de los diferentes conglomerantes o arenas hasta conseguir la pasta correcta, trabajable y de comportamiento idóneo al muro a revocar. El responsable del control de la ejecución debe decidir si con la arena disponible en la localidad, la cal de nuestro almacén, y el personal poco experimentado, puede revestir las fachadas de un edificio singular. La existencia de los morteros industriales preparados, que disponen de su certificado y de un control del proceso de fabricación y suministros homogéneos, nos permite minimizar algunos de los factores que pueden provocar el fracaso, centrándonos en el control de soporte y la ejecución del propio revoco y su curado. Permite mayor rapidez y mejora las garantías de un buen comportamiento. Unos paramentos de extensión importante, realizados con morteros industriales, nos garantizan la uniformidad de textura, color y en general de acabado.

La selección de un buen mortero industrial fabricado con materias seleccionadas, semejantes a las tradicionales, puede llevarnos a buenos resultados, tanto técnicos como estéticos, y el trabajo se ve protegido por la garantía de un mortero certificado. La ejecución de revocos y técnicas tradicionales, requiere un importante control a pie de obra, supervisando todo el proceso, como lo hacían los maestros de obras tradicionales. Las malas experiencias con estos humildes materiales también han colaborado en relegar sus técnicas al olvido, desterrando los revestimientos tradicionales propios y sus posibilidades de evolucionar, “figura 6”.



Figura 6: Biblioteca Abraham Zacut, de nueva construcción (Salamanca).

### 3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE USO DE LAS CALES Y ARENAS

El estudio de los revocos decorados y esgrafiados en Salamanca ha incluido los materiales empleados [7]. La cal, que era fabricada de forma artesanal hasta mediados del siglo XX en muchas localidades, con concentraciones de hasta dieciocho hornos caleros en Linares de Riofrío, llegando incluso a darle nombre a una comarca, La Calería, han cesado todos su actividad, y no se produce cal en ninguno de ellos en la provincia. La cal consumida en la actualidad es traída de Extremadura y Sevilla fundamentalmente. Las arenas locales también son escasas, recogidas en los remansos, en el entorno de pequeños municipios, e importadas, principalmente de las provincias próximas como Zamora, Valladolid, o Segovia.

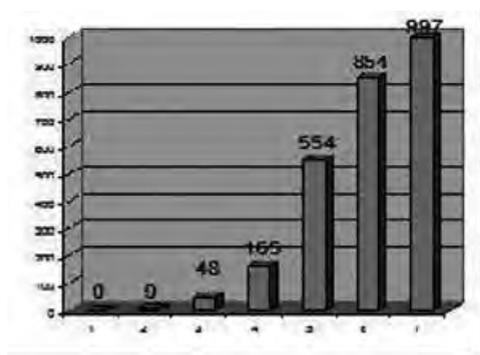


Gráfico 1: Gráfico de la arena 4.

	TAMICES						PASAN
	5	2,5	1,25	0,63	0,3	0,15	
ARENA 1	9	71	264	574	916	980	999
	9	82	193	310	341	85	19
ARENA 2	35	184	367	597	775	861	1000
	35	149	203	210	178	86	139
ARENA 3	12	115	446	774	932	979	998
	12	103	335	328	158	24	12
ARENA 4	0	9	48	165	554	854	997
	0	9	39	117	388	300	148
ARENA 5	1	21	156	490	807	956	1000
	1	20	138	354	317	149	44
ARENA 6	40	167	350	600	775	918	1000
	40	127	182	250	175	143	82

Tabla 1: Resultados del cribado de seis arenas.

En cuanto a las arenas, se estudiaron las seis más empleadas en obra en la provincia, obteniéndose resultados muy dispersos, con algunas granulometrías de contenidos muy abundantes de finos, y otras de mejor proporción, todas ellas de origen sedimentario, no se emplean arenas de machaqueo como la calcita que podría servir para mejorar la manejabilidad de los áridos locales “tabla 1”. Incluimos la tabla de resultados obtenidos en los cribados, con el gráfico de la cuarta en la que se puede ver su gran finura, seleccionadas generalmente por su color y aspecto acabado, sin tener en cuenta la compacidad que condiciona la dosificación necesaria de conglomerante y su mayor retracción y dificultad de trabajo que hace recomendable en muchos casos su mezcla “gráfico 1”.

### 4. CONCLUSIONES

Los revocos, ya sean sencillos revestimientos, o decorados y esgrafiados, son la superficie más visible de muchas fachadas, tanto tradicionales como de nueva construcción. Su mayor o menor cuidado en la elección de materiales tradicionales o morteros preparados, determina el aspecto final de un edificio, e incide directamente en la estima y aprecio del inmueble y en la valoración del trabajo de los técnicos.

Los revocos industriales permiten conseguir resultados más precisos y homogéneos, y los morteros tradicionales de cal, aportan mayor personalidad y se integran mejor en el entorno edificado cuando se cuida el empleo de los materiales propios del lugar y las técni-

cas y acabados autóctonos, enriqueciendo los conjuntos históricos y manteniendo una cultura particular en la forma de construir y revestir las fachadas. Los movimientos modernos de pintura urbana, de graffitis o decoración mural, disponen de los revocos, tradicionales e industriales, como un recurso importante de expresión artística que recoge la tradición técnica y plástica de cada zona o región, logrando generar nuevas obras que mantengan y fomenten los recursos expresivos sobre los muros, colaborando en la regeneración de espacios urbanos anodinos o degradados.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Casas i Hierro, M. (1981). *Esgrafiats*. Tarragona. Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Tarragon i Departamento de Cultura de la Generalitat de Catalunya.
- [2] Adam, J.P. (1989). Edición en castellano 1996. León. *La construcción romana. Materiales y técnicas*. Editorial de los Oficios.
- [3] V.V.A.A. (1998). *Guía práctica de la cal y el estuco*. León. Editorial de los Oficios.
- [4] Ruiz Alonso, R. (2015) Segovia. *Esgrafiado. Materiales, técnicas y aplicaciones*.
- [5] Gárate Rojas, I. (1993). *Artes de la cal*. Madrid, Ministerio de Cultura.
- [6] Ponga Mayo, J.C. y Rodríguez Rodríguez, M.A. (2003) Valladolid. *Arquitectura popular en las comarcas de Castilla y León*. Junta de Castilla y León.
- [7] Puga Oribe, L. (2017). *Los revocos decorados y esgrafiados en la provincia de Salamanca*. Salamanca. Colección Vitor nº 421. Ediciones Universidad de Salamanca.

**LA RESTAURACIÓN DEL CHAPITEL DE LA CARTUJA DE NUESTRA  
SEÑORA DE LAS FUENTES: DEL TRABAJO ACADÉMICO  
A LA EJECUCIÓN DE LA OBRA**

PUERTAS MIRAMÓN, CRISTINA<sup>1</sup>; MARTÍN DOMÍNGUEZ, BEATRIZ<sup>2</sup>

*<sup>1</sup> EUPLA, Zaragoza, España*

*E-mail: [crispuertasmiramon@gmail.com](mailto:crispuertasmiramon@gmail.com), Web: [www.eupla.unizar.es](http://www.eupla.unizar.es)*

*<sup>2</sup> EUPLA, Zaragoza, España*

*E-mail: [beamardo@unizar.es](mailto:beamardo@unizar.es), Web: [www.eupla.unizar.es](http://www.eupla.unizar.es)*

**PALABRAS CLAVE:** patrimonio arquitectónico, intervención, trabajo fin de grado, monasterio cartujano, chapitel.

**RESUMEN**

La Cartuja de Nuestra Señora de las Fuentes, construida en el siglo XVIII, en el municipio oscense de Sariñena, pasó por varios propietarios desde la desamortización de Mendizábal hasta la adquisición del recinto por la familia Bastarás, que, ante la imposibilidad de financiar la urgente intervención que demandaba el deficiente estado del conjunto, decidió ceder su propiedad a la administración pública aragonesa, con lo que se iniciarían las negociaciones que finalizaron con la adquisición del monasterio por parte de la Diputación Provincial de Huesca en 2015.

Fue en este periodo de delicadas negociaciones en el que se estableció el primer contacto de la Escuela Universitaria Politécnica de La Almunia con el conjunto monástico, a través de una visita académica organizada por el grado de Arquitectura Técnica, en colaboración con el Servicio de Restauración de la Diputación Provincial de Zaragoza. Momento en el que se observó el interés de desarrollar algún trabajo académico que contribuyera al conocimiento del conjunto monumental, fundamental para su revalorización, y a la difusión de su estado.

En esta presentación se pretende exponer el trabajo desarrollado para la restauración del chapitel de la torre de la iglesia iniciado, en un primer momento, como trabajo final de grado de una estudiante de arquitectura técnica, para después culminar con la ejecución de la obra dirigida por la misma estudiante, ya titulada, como parte del equipo técnico de las obras de restauración de La Cartuja. Se pone de manifiesto las diferencias en cuanto a los problemas planteados y las soluciones adoptadas entre el proyecto académico y la obra de ejecución, de forma que contar con un equipo interdisciplinar y con los medios apropiados, que permitan la realización de un estudio previo exhaustivo, se revela esencial para la toma adecuada de decisiones.

## 1. INTRODUCCIÓN

La fundación de la Cartuja de Nuestra Señora de las Fuentes, primer monasterio cartujano en Aragón, fue en 1507, por los condes de Sástago, doña Beatriz de Luna y don Blasco de Aragón, en una ermita situada cerca de Lanaja, donde estaba enterrado el hijo de ambos, don Artal de Aragón [1]. Momento en el que una comisión formada por varios monjes de la fundación Scala Dei se instalaron en la Cartuja, usando la ermita como iglesia provisional.

Durante los primeros años de la fundación, gracias a la aparición de benefactores, la vida en el monasterio transcurrió favorablemente. Desafortunadamente, la desaparición de éstos y las pobres condiciones del terreno, impropio para el cultivo, junto con el clima adverso típico de la zona, contribuyeron a que la fundación abandonase la Cartuja de Nuestra Señora de las Fuentes y se trasladase a Zaragoza, creando la Cartuja del Aula Dei. Años más tarde, en 1589, tras haber enajenado el monasterio monegrino a la orden carmelita, los cartujos recuperaron y regresaron a la Cartuja con el fin de poder beneficiarse de una antigua herencia.

El siglo XVIII fue un período importante en la historia de la Cartuja. Gracias a la aparición de nuevos benefactores, como los hermanos Comenge [1], se pudo levantar un nuevo monasterio en un emplazamiento más propicio que el que ocupaba la cartuja original. Este monasterio, que se edificó entre 1707 y 1797, posee rasgos característicos que comparte con otras cartujas construidas durante los siglos XVII y XVIII, como es la simetría, disposición de los claustillos y la prolongación de las galerías del gran claustro [2].

El eje de simetría se articula en torno al gran claustro, coincidiendo, a su vez, con el eje mayor de la iglesia [2]. Simetría que se encuentra incompleta, ya que falta el claustillo este, del cual tan sólo se han encontrado las trazas del arranque de los muros, el resto de dependencias colindantes a éste, así como la supuesta prolongación este del claustro.

Siguiendo los principios de la orden cartujana, el monasterio monegrino destaca por la sobriedad de sus materiales y formas, aunque enriquecido por elementos del barroco tardío, propios de la época, y las espléndidas pinturas murales de Fray Manuel Bayeu, que decoran las bóvedas y muros de la iglesia, galerías del claustillo y capillas.

Durante el transcurso del siglo XIX la Cartuja fue abandonada por los monjes debido a la desamortización de Mendizábal, [1] a partir de entonces las fincas que albergaban el monasterio pasaron por las manos de distintos particulares, hasta que fueron adquiridas por la familia Bastarás y Cavero, quienes fueron sus propietarios hasta la adquisición del conjunto monástico por parte de la Diputación Provincial de Huesca (DPH), en 2015.

Durante este último periodo, el edificio fue destinado a los usos más variados. Desde cuartel, durante la Guerra Civil Española, hasta que, tras la guerra, la familia Bastarás vol-

viera a ocupar el conjunto monástico, utilizándolo como silo, residencia de verano y finca agropecuaria. Estos usos transformaron profundamente algunos de los espacios, pero permitieron su mantenimiento, factor clave que ha favorecido que este monasterio no se haya deteriorado tanto como lo han hecho otros que fueron abandonados.

No obstante, en las últimas décadas, la necesidad de acometer una intervención integral del conjunto era apremiante, aún más desde que, en 2002, la Cartuja fuera declarada Bien de Interés Cultural en la categoría de monumento [3]. Fue precisamente la inviabilidad de tal actuación por parte de la familia propietaria la que propició la decisión de vender el conjunto a la administración pública aragonesa, con lo que se inició un periodo de delicadas negociaciones que finalizaría con la adquisición del conjunto por la Diputación de Huesca, el 26 de marzo de 2015.

En este periodo, fueron varios los expertos que se interesaron por el estado de La Cartuja y, viendo su significativo valor patrimonial, iniciaron iniciativas para divulgar sus valores y promover la necesidad de ser conservada. Entre ellos, el arquitecto José María Valero Suárez, como responsable del Servicio de Restauración de la Diputación Provincial de Zaragoza (DPZ), junto con Beatriz Martín Domínguez, profesora responsable de la asignatura de Restauración Monumental del grado de Arquitectura Técnica de la Escuela Universitaria Politécnica de La Almunia (EUPLA), vieron el interés de organizar una visita académica durante el curso 2013-2014 al conjunto patrimonial, con el objetivo de dar pie al desarrollo de trabajos académicos que contribuyeran al conocimiento del conjunto, fundamental para lograr su revalorización.

La EUPLA es un centro adscrito a la Universidad de Zaragoza, pero de titularidad municipal, cuya gestión se estructura en torno a un patronato, entre cuyos miembros se encuentra la Diputación de Zaragoza. Entre las ventajas atribuibles al patronato, destaca la estrecha colaboración con la que se viene trabajando en los últimos años entre las distintas instituciones que lo conforman. Como consecuencia de esta colaboración se han firmado algunos convenios, además de desarrollar otras actividades de carácter académico, como las charlas, clases y visitas que se vienen organizando anualmente con el Servicio de Restauración de la DPZ. Actividades, estas últimas, que han arrojado resultados muy satisfactorios, principalmente, para los alumnos de la asignatura de Restauración Monumental, que han tenido la posibilidad de acercarse al modo de trabajar de este Servicio, que ya cuenta con más de tres décadas, dedicado a la conservación del patrimonio de la provincia de Zaragoza.

La visita a La Cartuja de Nuestra Señora de las Fuentes, en el año 2014, se encuadra dentro de estas actividades académicas, que tratan de poner en contacto al alumno con el patrimonio arquitectónico aragonés y, con ello, despertar su interés por su conservación. Una actividad que, en el ámbito de la asignatura de Restauración Monumental, forma parte de una experiencia docente más amplia, que se inició en el curso 2013-2014 y ha tenido continuidad hasta la actualidad, que gira en torno al conocimiento del conjunto monumental y su estado, e incluye otro tipo de actividades a trabajar desde el aula, como la lectura crítica de algunas de las noticias que durante este periodo han frecuentado los titulares de los periódicos, o el trabajo de la legislación en materia de protección del patrimonio, con La Cartuja como protagonista, además de la realización de otras visitas docentes, que permitan observar la evolución del estado del conjunto edilicio, como la realizada durante el curso 2016-2017, en el momento en el que las obras de restauración del chapitel ya habían concluido, así como las de un porcentaje significativo de cubiertas.

Sin duda, el trabajo académico vinculado con La Cartuja de mayor empaque, desarrollado hasta la fecha en la EUPLA, como consecuencia de esa primera visita en el año 2014, ha sido el Trabajo Fin de Grado firmado por la ahora graduada en Arquitectura Técnica, Cristina Puertas Miramón, y dirigido por Beatriz Martín Domínguez, que se defendió en junio de 2015, bajo el título “Diagnóstico y propuesta de intervención de la Cartuja de Nuestra Señora de las Fuentes” y que obtuvo la distinción de premio extraordinario. Un trabajo que tenía como objetivo inicial estudiar el estado del conjunto patrimonial para la posterior propuesta de intervención, según las prioridades determinadas por el estudio previo.

La adquisición de la Cartuja por parte de la DPH coincidió con el periodo de desarrollo de los estudios previos realizados en el ámbito del Trabajo Fin de Grado, lo que condicionó el progreso del trabajo. Desde el momento en que la titularidad del conjunto pasó a la Diputación, se inició el trabajo del equipo técnico, dirigido por el arquitecto Daniel Zabala, para elaborar un proyecto de rehabilitación. Fue precisamente el contacto que se estableció entre la entonces alumna, Cristina Puertas, y el citado arquitecto el que condicionó que la propuesta de intervención a desarrollar en el Trabajo Final de Grado se centrara en la torre de la iglesia, ya que, por su prioridad, era una de las primeras fases que se iba a ejecutar en las obras de rehabilitación de la Cartuja, y, desde un primer momento, se vio el interés de enfocar el trabajo académico hacia el proyecto real y, con ello, poder establecer sinergias entre lo académico y lo profesional.

Fue tal el éxito de este trabajo colaborativo que la citada alumna pasó a formar parte del equipo técnico de las obras de la Cartuja, desde el momento de la graduación como arquitecta técnica, lo que ha permitido llevar a cabo un análisis reflexivo sobre la validez de los métodos, resultados y criterios adoptados en el trabajo académico. Desde que se iniciaran las obras, en diciembre de 2015, ya se han ejecutado varias fases, centradas principalmente en la restauración de las cubiertas del edificio monacal.

## **2. METODOLOGÍA Y DESARROLLO**

### **2.1 El trabajo académico**

La metodología implementada en el Trabajo Fin de Grado partía de la indicada en la asignatura de Restauración Monumental, que no es otra que la que se desprende de las cartas, convenciones y recomendaciones internacionales en vigencia, en materia de patrimonio, en las que se promueve la realización de estudios previos, que permitan el conocimiento necesario del objeto arquitectónico, que ha de ser valorado en su unicidad. Proceso que necesariamente ha de arrojar resultados previamente a la toma de cualquier decisión conducente a la intervención sobre el bien patrimonial y que, a ser posible, ha de ser elaborado por un equipo interdisciplinar.

Así, la metodología, necesariamente, había de comenzar por la documentación del conjunto monumental, a partir tanto de fuentes indirectas, principalmente documentales, así como de la propia arquitectura, fuente directa esencial. En este sentido, el levantamiento arquitectónico es una herramienta fundamental, considerado, desde que así lo definiera la *Carta del Rilievo* del 2000, como “un proceso de investigación enfocado hacia el conocimiento de la arquitectura” [4], en el que se recomienda la utilización de distintas técnicas de levantamiento, en función de los resultados deseados y de los medios disponibles. De esta forma, se establecieron las fases que se exponen a continuación.

Se comenzaba por la investigación histórica, esencial para adquirir el conocimiento sobre los acontecimientos acaecidos sobre el edificio y, así, comprender el estado actual de su arquitectura. Esta investigación se basó en la recopilación y análisis de la bibliografía sobre la historia de la Cartuja de Nuestra Señora de las Fuentes, en particular, y la arquitectura de las Cartujas e historia de la orden Cartujana, en general, mediante la consulta de diversas fuentes disponibles tanto en bibliotecas, principalmente la Biblioteca de Filosofía y Letras, de la Universidad de Zaragoza, y la Biblioteca de Aragón de Zaragoza, como en Internet.

El levantamiento arquitectónico es, como se ha comentado, el otro pilar esencial sobre el que se ha de sustentar la fase de documentación de cualquier edificio. En este caso, se basó en la utilización del sistema tradicional, mediante la elaboración de croquis de zonas concretas del monasterio, para después realizar la medición y toma fotográfica y elaborar, así, los planos de planta, alzado y sección.

El estudio constructivo detallado del monasterio se consideró indispensable, por conferir una información precisa sobre la composición material del edificio, fundamental para poder realizar una toma adecuada de decisiones en cuanto a los materiales y sistemas constructivos a utilizar en las posibles intervenciones de consolidación. En este caso, se elaboró mediante fichas en las que se aportaba una descripción de cada elemento constructivo, apoyada con fotografías y planos de detalle.

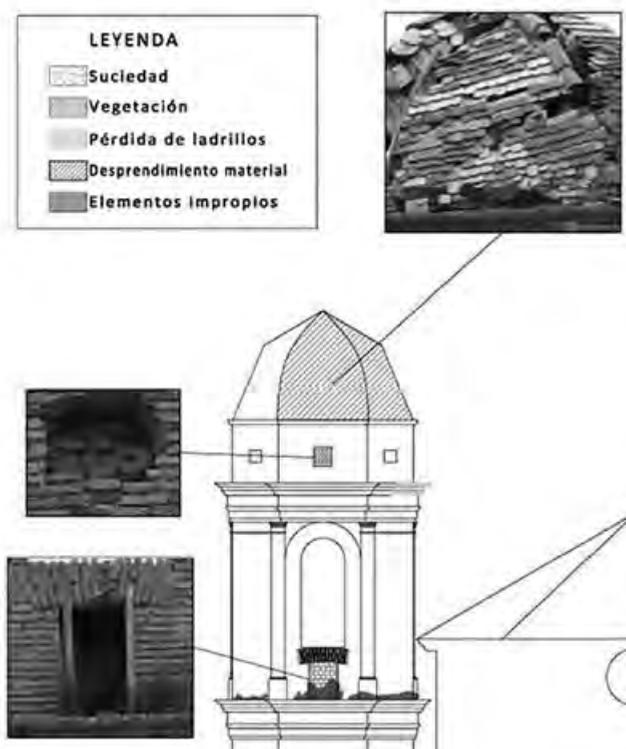


Figura 1: Plano de patologías de la fachada este del chapitel.

El estudio de patologías, realizado en este caso mediante la representación planimétrica de los efectos de degradación detectados “Figura 1”, que se complementa con su análisis a través de fichas que estudian la localización, posibles causas y actuaciones necesarias para subsanarlas, es otra de las labores ineludibles en la fase de estudio previo de cualquier proyecto de restauración, debido a que la intervención se ha de acometer dando prioridad a la resolución de los factores que están causando las patologías, además de sus secuelas [5].

Sólo en este momento, se estaba en condiciones de realizar la toma de decisiones que conduciría a la propuesta de intervención a desarrollar en el trabajo académico. En un primer momento, el objetivo se centró en el análisis de las patologías que adolecían a la iglesia, claustillo, sala capitular y sacristía del monasterio y su propuesta de actuación, asunto muy amplio que el tiempo teórico para desarrollar un Trabajo Fin de Grado, que actualmente tiene doce créditos, no permitía realizar un proyecto de restauración detallado. Por lo que, tras establecer el contacto con el arquitecto Daniel Zabala, siguiendo su criterio respecto a las prioridades que demandaba el estado del edificio y valorando los resultados obtenidos del estudio previo, se modificó el objetivo final del trabajo, que se centró en la elaboración del proyecto de restauración del chapitel de la torre de la iglesia que, al centrarse en un área más reducida, permitía abordar un estudio más exhaustivo, que derivara en soluciones concretas.

Los criterios adoptados en el proyecto de restauración se basaron en la consolidación de la estructura y la protección del elemento constructivo, solucionando el problema de humedad por infiltración que llevaba afectando a la construcción durante décadas, siempre con el máximo respeto por el diseño y los materiales de la estructura original.

## **2.2 La ejecución de la obra**

La actuación sobre el chapitel de la torre de la iglesia se acometió, por parte de la Diputación Provincial de Huesca, como una obra de emergencia, por lo que la formalización de la documentación técnica se tuvo que realizar tras la ejecución material de las obras. Esta decisión estuvo motivado por su deficiente estado de conservación, ya que, tras una somera inspección ocular, se hallaron piezas cerámicas dispersas por el suelo y cubiertas inferiores, como consecuencia de la falta de adherencia de las piezas a su tablero base, putrefacto, debido a su prolongada exposición a la intemperie y a la intensa acción del viento. Lo que suponía un elevado riesgo para los operarios que ya se encontraban trabajando en las labores de rehabilitación de las cubiertas que albergaban estancias con pinturas, tales como el cimborrio, la nave del coro, los transeptos y cabecera de la iglesia, el cimborrio y cuerpo de la capilla del Santísimo y las capillas laterales anejas a la iglesia, por permanecer bajo el área de influencia de la torre [6].

El elaborar un estudio previo, a pesar de no formalizar la documentación hasta la finalización de la obra, fue determinante para la restauración del chapitel. Estudio que se desarrolló según las fases que a continuación se describen.



Figura 2. A la izquierda, estado inicial del chapitel; a la derecha, armazón nuevo.

Como en el Trabajo Fin de Grado, se comenzaba por la búsqueda y análisis documental sobre las fases constructivas e historia del conjunto arquitectónico. De forma simultánea, se llevó a cabo la documentación directa del elemento arquitectónico y su relación con el entorno inmediato a través del levantamiento arquitectónico, en el que se combinó la técnica tradicional de dibujo de croquis y toma de medidas, mediante cinta métrica y distanciómetro laser, con otros métodos como la toma de cotas y niveles con GPS y estación topográfica.

El estudio constructivo centrado en el chapitel de la torre, analizando pormenorizadamente los materiales y soluciones constructivas que lo componen, se abordó como una fase indispensable para acometer la posterior ejecución, ya que dicho estudio confería información acerca del estado en que se encontraba la cubierta, la estructura y el entramado en el momento de emprender la obra. Estudio que se realizó en paralelo al de patologías. En este caso, el estado general era prácticamente de ruina “Figura 2”, lo que fue determinante para tomar la decisión de realizar la sustitución de la estructura del chapitel por otra similar a la original.

Esta fase de estudio previo facilitó una primera toma de decisiones que permitió abordar el trabajo con ciertas garantías. No obstante, durante la ejecución de la obra, debido a las particularidades que entrañaba la intervención en el chapitel, además de por la difícil accesibilidad sin los medios auxiliares adecuados a ciertas zonas de la cubierta, hubo que tomar decisiones in situ, que no podían ser previstas durante la fase del estudio previo, de forma que conforme la restauración iba avanzando, había que estudiar pormenorizadamente las peculiaridades de los elementos y sistemas a los que nos enfrentábamos, lo cual condicionó profundamente el transcurso de la obra.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante la elaboración del Trabajo Fin de Grado se generó una extensa documentación, fruto del análisis histórico y arquitectónico, así como la posterior ejecución teórica de la intervención sobre el chapitel, en la que se proponía una intervención basada en el conocimiento adquirido durante la fase de estudio previo y prioridades detectadas.

Así, la propuesta de intervención del trabajo académico se basaba en solucionar los graves problemas de estabilidad y humedades detectados. El alarmante estado de deterioro

de la estructura original del chapitel, debido al pésimo estado el material de cubrición, que había provocado la exposición a la intemperie de los elementos ligneos, con las consecuentes pudriciones y pérdidas de material, aconsejaba la sustitución de la estructura del chapitel por una de entramado de madera laminada de diseño similar a la original, además de ejecutar la correcta impermeabilización de la cubierta mediante la sustitución del material de entrevigado, conformado por tablero de madera, y el retejado, para el que se prescribía la reproducción de las piezas, de forma que se pudiera recuperar la bella composición, con formas triangulares y romboidales, que configuraban las tejas vidriadas de colores blanco, azul, verde y amarillo. Siempre llevando a cabo la adecuada documentación de la intervención para evitar caer en un indeseable falso histórico.

Por su parte, como resultado del estudio previo y posterior ejecución material de la obra de restauración del chapitel, llevada a cabo por la DPH, se obtuvo la recuperación efectiva de la torre y su consecuente revalorización “Figura 2”, mediante una intervención que, en lo esencial, fue muy similar a la propuesta en el trabajo académico, además de la formalización de una completa documentación técnica, compendio de la intervención realizada.

Si bien los objetivos, metodología y criterios del Trabajo Fin de Grado y del proyecto de restauración de la DPH eran parecidos, los resultados obtenidos en uno y otro difieren en diversos puntos:

Comenzando por el estudio previo, la disposición de medios y personal multidisciplinar, durante la investigación llevada a cabo con la DPH, favoreció la generación de una documentación más precisa y contrastada, lo que llevó a un conocimiento más profundo del objeto arquitectónico, que en la fase de estudiante había estado constreñido a los limitados recursos materiales y humanos.

Pero, sin duda, las diferencias más notables son las vinculadas con el proceso de ejecución de la obra. En cuanto al diseño y colocación del andamiaje, que, tanto durante la redacción del trabajo académico como durante la ejecución de las obras de restauración del chapitel, supuso un reto, debido a la altura de la cubierta a reconstruir y su proximidad a otras zonas del monasterio, en la propuesta de intervención realizada en el marco del Trabajo Fin de Grado, se propuso la instalación de un andamiaje tubular perimetral anclado en el cuerpo de campanas de la torre y al muro de la misma. No obstante, durante las obras de emergencia de la torre, debido a que se estaban rehabilitando las cubiertas de la iglesia, aneja al área a intervenir, tras afianzar la cubierta de la iglesia y previamente a colocar el material de cubrición de la misma, se instaló un andamio por la fachada oeste de la torre, adyacente a dicha cubierta, y el andamiaje no se ejecutó de forma perimetral, sino que, a la altura del chapitel, se construyó una plataforma de trabajo aprovechando los mechinales ya existentes en los muros de la torre “Figura 3”, lo que mejoraba la seguridad de los operarios en el acceso a la zona de trabajo y paliaba los posibles impactos posteriores que hubiera podido acarrear el interponer anclajes en los muros de la torre.



Figura 3: A la izquierda, diseño del andamio del TFG; a la derecha, vista del andamio y plataforma instalados.

El entramado de madera de la cubierta, sin embargo, es similar en ambos trabajos, salvo pequeños detalles. No obstante, durante la ejecución de las obras se observaron ciertos aspectos que obligaron a tomar decisiones “in situ” y a cambiar parte de las soluciones proyectadas. Es el caso del nivel inferior de la estructura, que se pretendía solucionar empotrando las vigas al muro, pero, al realizar un análisis exhaustivo del elemento, se observó que dicha actuación supondría una merma considerable de la sección del mismo, con la consiguiente pérdida de resistencia, por lo que se optó por la disposición de un zuncho perimetral metálico de perfil en “C”, que abraza la zapatera original, al que se sueldan pletinas que acogen las cabezas de los travesaños [6].

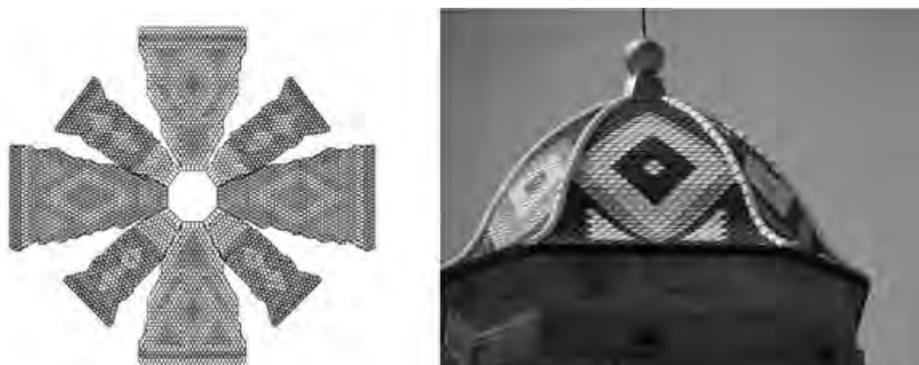


Figura 4: Comparación entre el diseño del despiece de tejas en el TFG, a la izquierda, y el proyecto, a la derecha.

Por otra parte, el diseño y colocación de las piezas cerámicas de cubrición ha sido muy diferente en ambos ámbitos “Figura 4”. Así, durante la elaboración del trabajo académico, se realizó un cálculo aproximado del área de las vertientes de la cubierta para estimar el número de tejas cerámicas resultantes, para, después, en base a las composiciones dibujadas por las tejas cerámicas que quedaban, esbozar el diseño de cada paño. Durante la fase del diseño del revestimiento para su ejecución material, sin embargo, debido a la posibilidad de realizar una medición in situ, se contabilizaron las tejas necesarias de cada color, atendiendo

además al empalme necesario entre hileras y a la colocación de los clavos respecto de las tablas subyacentes, para que estos no recayesen en las juntas, lo que derivó en una previsión de material mucho más ajustada. En cuanto al diseño de los dibujos de las vertientes, se proyectó más homogéneo, dotando a todos los faldones de un fondo del mismo color, bajo los criterios de facilidad técnica y de las tareas posteriores de mantenimiento, además de evitar la prolongación de los plazos que hubiese supuesto realizar cada vertiente con un diseño original y, por otra parte, por no tener constancia documental fiable de cómo eran los diseños de cada uno de los paños, por lo que se tomó el faldón este de muestra, por ser el mejor conservado.

#### 4. CONCLUSIONES

La vinculación establecida entre la figura de la universidad y la de la administración pública, a través de la EUPLA, ha permitido la cada vez más necesaria conexión entre el ámbito académico y el profesional, en este caso, centrada en la disciplina de la conservación del patrimonio arquitectónico.

En este caso excepcional, se ha podido poner en paralelo el modo en el que se aborda un proyecto de intervención de un elemento patrimonial desde la perspectiva de un trabajo universitario, marcado por una clara componente teórica, con la inevitable falta de practicidad en la toma de ciertas decisiones, y la evidente limitación de medios y conocimientos, con el acometido por un equipo técnico multidisciplinar en el ámbito profesional.

Así, se ha constatado que únicamente el conocimiento adecuado del bien patrimonial, considerado en su condición de elemento único, permite abordar una intervención bajo unos criterios que ofrezcan ciertas garantías, por lo que la metodología de trabajo siempre ha de partir de una documentación adecuada. En este sentido, se ha corroborado que sólo el acercamiento a la realidad del edificio, a través de las fuentes documentales, pero sobre todo del contacto directo y cercano con la arquitectura desde los distintos puntos de vista que proporcionan las diferentes disciplinas vinculadas con el patrimonio, puede arrojar un conocimiento apropiado. Para ello, es necesario contar con los recursos y el equipo técnico oportunos, pero también con una adecuada conservación preventiva, que evite que el objeto arquitectónico llegue a un estado de ruina tal, como era el caso del chapitel de la Cartuja, que obligue a abordar la intervención con urgencia, sin dejar tiempo a la deseable reflexión reposada tras la fase de estudios previos e imponiendo la ejecución de más sustituciones del material original de lo deseable, lo que sucede con demasiada frecuencia en el patrimonio arquitectónico.

Por otra parte, se ha verificado la relevancia de los aspectos funcionales, como la organización de las distintas fases de obra o el facilitar las posteriores tareas de mantenimiento, así como de los económicos, en la toma de decisiones que marcan una intervención patrimonial.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Barlés Báguena, E. (2014). *Arquitectura Cartujana en Aragón (siglos XVII y XVIII)* (1ª ed.). Zaragoza: Analecta Cartusiana.
- [2] Zabala Latorre, D. (2015). *Proyecto Restauración de la Cartuja de Nuestra Señora de las Fuentes. Rehabilitación Parcial de Cubiertas: fase 1º*. Huesca
- [3] España. Decreto 60/2002, de 19 de Febrero, del Gobierno de Aragón. Boletín Oficial de Aragón, 6 de marzo de 2002, núm. 28, p. 2370.
- [4] Carta del Rilievo. (2000). Castell Sant Angelo, Roma.
- [5] Puertas Miramón, C. (2015). *Diagnosis y propuesta de intervención en la Cartuja de Nuestra Señora de las Fuentes*. (Trabajo Fin de Grado no publicado). Escuela Universitaria Politécnica de La Almunia, Universidad de Zaragoza, La Almunia de Doña Godina (Zaragoza).
- [6] Zabala Latorre, D., & Puertas Miramón, C. (2016). *Documento de liquidación para la restauración del chapitel en torre campanario*. Huesca.

**EL ARQUITECTO TÉCNICO Y SU PAPEL EN LA REHABILITACIÓN  
ENERGÉTICA BAJO EL ESTÁNDAR  
PASSIVE HOUSE (ENERPHIT)**

SOLER CARBO, LUIS MIGUEL

*Zaragoza, Zaragoza, España*

*E-mail: info@casa-pasiva.es, Web: www.casa-pasiva.es*

**PALABRAS CLAVES:** Rehabilitación, Passive House, Dirección de Ejecución, Viviendas Teruel.

## **RESUMEN**

Esta comunicación se basa en explicar el proceso de la rehabilitación energética bajo el estándar Passivhaus en un edificio del parque de maquinaria en Teruel terminado recientemente y cuál es el papel del arquitecto técnico en la ejecución y el desarrollo de este tipo de proyectos tanto en la fase de proyecto, como en la fase de ejecución y finalización del mismo.

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1 El Estándar Passivhaus**

Según la Directiva Europea 2010/31/UE, todos los edificios de nueva planta construidos a partir de 2020 deberían ser de consumo de energía casi nulo (nZEB), 2018 en el caso de edificios públicos. En España, al igual que en algunos otros países europeos, aún no se ha desarrollado una normativa nacional para cumplir esta directiva, ni se ha establecido la definición exacta de “casi nulo”.

El Passivhaus Institut alemán ha creado un estándar privado de carácter internacional, que define los parámetros que debe cumplir un edificio de nueva planta para reducir drásticamente su consumo de energía, independientemente del clima al que pertenece. Sus inicios se remontan a los años 80-90, y en la actualidad existen poblaciones que incluso han incorporado el cumplimiento de este estándar a la normativa urbanística.

La certificación otorgada por este instituto garantiza el cumplimiento de una serie de parámetros:

- Demanda de calefacción inferior a 15 kWh por metro cuadrado y año (o, alternativamente, carga de calefacción máxima 10 W/m<sup>2</sup>).
- Demanda de refrigeración inferior a 15 kWh por metro cuadrado y año (o, alternativamente, carga de refrigeración máxima 10 W/m<sup>2</sup>).
- Consumo de energía primaria total del edificio inferior a 120 kWh por m<sup>2</sup> y año.
- Frecuencia de sobrecalentamiento en verano inferior al 10%.
- Infiltraciones de aire, medidas a 50 Pa de presión mediante test “Blower door”, inferiores a 0’6 renovaciones/hora.

Los valores de demanda de calefacción y refrigeración consideran una temperatura interior de 20°C, como mínimo, en invierno, y de 25°C como máximo en verano, a partir de las condiciones exteriores propias de la ubicación exacta del edificio. El sobrecalentamiento se refiere al tiempo en que se superan esos 25°C interiores en invierno. Por tratarse de un estándar centroeuropeo, se centra normalmente en la situación invernal, si bien dadas las condiciones meteorológicas españolas hay que prestar especial atención al riesgo de sobrecalentamiento en verano.

El cumplimiento de estos parámetros objetivos tiene como propósito garantizar el máximo confort interior con el mínimo gasto de energía, por ello se apuesta por soluciones constructivas y técnicas que, además, mejoren la calidad de vida del usuario.

## **1.2 EnerPHit: la aplicación del estándar a rehabilitación**

El estándar Passivhaus está pensado para su aplicación en edificios de nueva construcción. Evidentemente, es deseable la reducción del consumo energético en los edificios sometidos a una rehabilitación de cierta envergadura, con el fin de conseguir un mayor impacto a nivel global.

Sin embargo, en el caso de la actuación sobre un edificio existente, hay situaciones y elementos sobre los que no se puede actuar, y podría ocurrir que el intento de llegar a los parámetros definidos supere la intervención lógica en el edificio, haciéndola inviable o incluso imposible.

Estas circunstancias serían, por ejemplo:

- La orientación del edificio, que no puede adaptarse a la óptima para el aprovechamiento de la energía solar.
- Las sombras existentes, tanto exteriores como del propio edificio, que pueden ser insuficientes contra el sobrecalentamiento o excesivas, limitando la energía solar aprovechable.
- La imposibilidad de conocimiento de la composición exacta de los paramentos.

- La dificultad de actuación en determinados puntos.
- La existencia de puentes térmicos no eliminables.
- La necesidad de contar con elementos existentes en la continuidad de la línea de estanqueidad, no siempre accesibles.

Por ello, el Passivhaus Institut ha creado una adaptación del estándar a los casos de rehabilitación, llamado EnerPHit, y que, al contrario del estándar Passivhaus de obra nueva, se adapta a la zona climática en la que aparece el edificio.

La certificación EnerPHit plantea requisitos menos estrictos relativos a la demanda de calefacción y a las infiltraciones de aire. En relación a las infiltraciones de aire, medidas a 50 Pa de presión mediante test “Blower door”, deberán ser inferiores a 1 renovación/hora, si bien es deseable acercarse a 0’6. En cuanto a la demanda de calefacción, puede elegirse entre la limitación de esta o a la comprobación de una serie de requisitos en los distintos componentes del edificio de forma individualizada.

Según la clasificación climática aplicable, nos encontramos en un clima “cálido-templado”, por lo que la limitación de la demanda de calefacción máxima, en caso de ser éste el método utilizado, sería de 20 kWh/m<sup>2</sup>a, frente a los 15 definidos para la certificación Passivhaus general.

### 1.3 La certificación

Para garantizar el cumplimiento del estándar EnerPHit y obtener la correspondiente certificación del Passivhaus Institut, por medio de un certificador autorizado, es necesario seguir una serie de pasos:

- Realizar un estudio detallado de las soluciones constructivas necesarias para cumplir los parámetros definidos, con los cálculos recogidos en el software específico (PHPP). El certificador revisará todos los materiales empleados, sus características y la resolución de los detalles constructivos de acuerdo a los cálculos.
- Garantizar la calidad de todos los componentes de la obra mediante certificaciones de los mismos, en los que aparezcan todas sus características, o que directamente justifiquen el cumplimiento del estándar.
- Pasar con éxito el ensayo de hermeticidad al aire (Blower door), realizado a una presión de 50 Pa, cuyo resultado no deberá superar el valor de 1 renovación/hora. Con el fin de solventar en obra posibles problemas de hermeticidad, se suele realizar uno de estos ensayos en fase de ejecución, una vez colocados los elementos que forman parte de la línea de hermeticidad, si bien la certificación sólo contempla el resultado de la obra acabada. [1]

## 2. COMUNICACIÓN

### 2.1 Estrategias de fase de diseño y condicionantes

La rehabilitación integral que nos ocupa se plantea como objetivo fundamental conseguir unas viviendas adaptadas a las necesidades actuales, entre las que se pone especial énfasis en el ahorro de energía. Por ello, se plantea su adaptación a los criterios dictados

por el Passivhaus Institut como garantía del alcance de dicho objetivo, mediante la futura certificación EnerPHit.

Existen una serie de condicionantes previos que condicionan la aplicación de las estrategias de diseño propias de este tipo de edificios, debido a la naturaleza de la intervención:



Figura 1: Edificio antes de la rehabilitación.

- No se puede variar la posición ni orientaciones del edificio.
- No se puede modificar la posición de huecos, su sombreado por elementos constructivos ni su anchura.
- No se dispone de una altura libre en las viviendas que permita colocar aislamiento en los paramentos horizontales.

•

Si bien la estructura del edificio se encuentra en buen estado, las intervenciones sobre la misma deben ser mínimas debido a las soluciones constructivas adoptadas en su construcción, con el fin de evitar en lo posible vibraciones que la comprometan. Por ello, se desaconseja, por ejemplo, el levantamiento de pavimentos sobre los forjados.

- La composición de los forjados existentes no garantiza la existencia y/o posición de elementos macizos de hormigón que puedan servir en la continuidad de la capa hermética.
- Los muros exteriores existentes no disponen de aislamiento térmico fiable que pueda tenerse en cuenta en cálculo.
- La cámara de aire entre las dos hojas de los muros exteriores presenta previsiblemente irregularidades debido a la trabazón entre las hojas, lo que hace inviable la eliminación de la capa interior.
- Existen elementos estructurales interiores que no pueden ser modificados y que condicionan la distribución, la resolución de la hermeticidad y el paso de instalaciones.
- La actuación sobre la medianera que separa el edificio del contiguo debe realizarse por el interior del edificio, sin que sea posible actuar en los puentes térmicos existentes.



El arquitecto técnico, tiene varios campos de especialización:

- La realización del modelo de simulación energética se realiza bajo la herramienta PHPP se trata de una hoja de cálculo pero que pueden llegar a representar con gran complejidad el edificio. Sin embargo, esa introducción de datos no es válida sin una justificación de todos los datos introducidos, mediciones exactas de ventanas, de longitudes de puente térmico, de mediciones de fachada medida a cara exterior.
- Es necesario realizar el cálculo térmico de cada encuentro para determinar el valor del puente térmico y evaluar si la temperatura interior de paramento es inferior a  $16^{\circ}$ , este proceso requiere de conocimientos térmicos y sobre todo constructivos.
- El conocimiento en la modelización es tan específica que recae en un agente específico muy especializado en la eficiencia energética de edificios con altos conocimientos de construcción, algo denominado en otros países como el “térmico de edificación”.

## 2.2 Hermeticidad para evitar infiltraciones de aire no deseadas



Figura 4: Ensayo Blower Door.

El control sobre las infiltraciones de aire determina el buen funcionamiento de un edificio pasivo. El aire interior de las viviendas, evidentemente, debe ser renovado, con el fin de controlar la concentración de dióxido de carbono.

Está demostrado que el aumento del nivel de  $CO_2$  en un espacio cerrado perjudica la salud de los usuarios, partiendo de una falta de concentración y disminución de la calidad de sueño hasta consecuencias mucho más graves.

Además, el uso normal de los edificios aumenta el grado de humedad en su interior, que en determinadas circunstancias puede provocar patologías en la construcción y problemas de salud.

Sin embargo, la falta de control sobre la renovación de aire debida a las infiltraciones por la envolvente provoca que ante la falta de viento el aire no se renueve, mientras que, en otras situaciones, generalmente durante los meses fríos, la renovación sea tal que se esté produciendo una considerable pérdida de la energía de calefacción por los paramentos.



Figura 5: Estado de la capa de compresión forjado.

Se estima que gran parte del gasto en calefacción de un edificio de construcción convencional (no pasivo) se debe a las infiltraciones de aire por sus paramentos, principalmente por la deficiente unión entre unos sistemas constructivos y otros.

La drástica disminución de las infiltraciones de aire debe ir acompañada por un sistema de ventilación forzada que garantice la calidad de aire interior, y cuyo funcionamiento se explica más adelante.

La hermeticidad se trata de forma independiente en cada una de las viviendas, ya que es necesario evitar pasos de aire de unas a otras que descompensen los sistemas de ventilación. Hay que tener en cuenta que la continuidad debe ser absoluta, y que cualquier perforación de la capa hermética deberá ser tratada para evitar el paso de aire.

La hermeticidad se realiza con elementos como el hormigón, enlucido de yeso o laminas estancas específicas.

En el caso que nos ocupa, **no disponemos de una capa de compresión en el forjado que nos garantice la hermeticidad entre las viviendas, ni de elementos macizos que permitan conectar las soluciones de los paramentos verticales para evitar “fugas” indirectas.**

Por tanto, resulta necesario tratar las dos superficies del forjado, es decir, el techo de la vivienda inferior y el suelo de la superior.

Cobran especial importancia la resolución de los encuentros entre los distintos paramentos, que deberán resolverse convenientemente, así como la interacción con otras unidades de obra.

La medición objetiva de la idoneidad de las actuaciones previstas para reducir las infiltraciones, se realiza mediante en test “Blower door”, que para el caso que nos ocupa debe dar como resultado un valor inferior a 1 renovación/hora, bajo una presión de 50 Pa siendo 0,27 el resultado final.

### 2.2.1 Tratamiento de paramentos verticales



Figura 5: Trasdoso de protección para línea de hermeticidad en muro de carga.

Tras la preparación de la superficie, se aplica una capa de yeso adicional a la existente, con el fin de reparar las posibles fisuras que puedan existir, así como garantizar el espesor mínimo necesario. Se rellenan aquellos huecos que se hayan realizado en la capa existente con motivo del paso de instalaciones o de acciones de los usuarios anteriores.

La línea de hermeticidad es continua en todo el perímetro de la vivienda, por lo que afectará no sólo a la cara interior de las fachadas, sino también a la separación con los elementos comunes y con el edificio adyacente. La existencia de muros de carga en el edificio conlleva la necesidad de rodearlos con la capa hermética, de tal forma que deberá aplicarse a ambos lados de dichos elementos.

En general, la capa hermética queda protegida por el trasdoso realizado con pladur, que permite crear una cámara por la que discurrirán las instalaciones. De esta forma, se protege frente a la colocación de mecanismos, y no es necesario realizar rozas en el muro.

Se realiza el encintado posterior de los encuentros entre paramentos, así como de éstos con el enyesado de techo. Para ello, se utiliza cinta hermética de polietileno. Se sellan así mismo los premarcos de carpintería exterior a la capa hermética. En caso de que la capa de hermeticidad debe ser atravesada por un conducto de instalaciones, se sellará éste a la primera mediante cinta hermética altamente flexible.

### 2.2.2 Tratamiento de techos

Tras la preparación de la superficie, se aplica una capa de yeso adicional al igual que en paramentos verticales. La capa hermética queda vista en salones y dormitorios, y oculta tras falso techo en cocinas, baños y pasos.

No se coloca, por tanto, ningún elemento que deba ser anclado a la capa de enlucido que haya de quedar visto. Por este motivo, instalaciones de colocación típica en techos, como las de iluminación, deberán situarse en estas estancias sobre el trasdoso.

Los canales de techo para los trasdosados y tabiques son adheridos con una cinta-clavo de 5 cm de espesor, adhesiva a doble cara, para el sellado mediante butilo, y con colchón de polietileno de baja densidad de celda cerrada



Figura 6: Tratamiento y sellado de paso de instalaciones.

Las instalaciones que discurran por falsos techos se fija preferentemente a la tabiquería. De no ser posible, se utiliza cinta-clavo, en fragmentos de 5x5 cm que se pegan al enlucido en el punto donde se vaya a atornillar.

En caso en lso que la capa de hermeticidad es atravesada por un conducto de instalaciones, se sella éste a la primera mediante cinta hermética altamente flexible.

### 2.2.3 Tratamiento de suelos

Debido a la imposibilidad de levantar los pavimentos interiores de las viviendas, se decide colocar una lámina hermética directamente sobre el pavimento actual. Sobre ella, se coloca una lámina anti impacto y un pavimento flotante de PVC. Esta solución permite resolver la hermeticidad y el pavimento sin necesidad de disminuir apenas la altura libre. Sin embargo, la no existencia de una capa de mortero sobre la lámina de hermeticidad conlleva la necesidad de prestar especial atención a su protección de deterioros a lo largo de la obra.



Figura 7: tratamiento hermeticidad suelo.

### 2.2.4 El arquitecto técnico en la línea de hermeticidad

Una fisura de 1mm en un metro de fachada supone una minoración de un 40% de la resistencia térmica del cerramiento, la línea de hermeticidad es un concepto muy importante a la hora de realizar edificios de bajo consumo y en la rehabilitación supone un sobreesfuerzo en la dirección de ejecución.

El arquitecto técnico como director de ejecución tiene que controlar que no se perfora esta línea y que se llegue a buen puerto en el ensayo Blower Door.

Conocer las características constructivas y los tipos de materiales existentes fue muy necesario a la hora de resolver esta línea de estanqueidad en los encuentros más complicados.

### 2.3 LA ENVOLVENTE TÉRMICA Y EL CONTROL DE LOS PUENTES TÉRMICOS



Figura 8: Aislamiento existente.

Además de las pérdidas energéticas por infiltración de aire, resulta de vital importancia el control de las pérdidas por transmisión. Para ello, se dispone un espesor importante de aislamiento en los paramentos en contacto con el exterior y con espacios no calefactados. El aislamiento será exterior, sobre capa de mortero de regularización, en todas las fachadas, además del relleno de la cámara de trasdosado con lana de roca.

La solución de aislamiento únicamente por la interior resulta inviable para el cumplimiento de los parámetros definidos por el estándar, ya que provocaría la existencia de graves puentes térmicos en las líneas de contacto de los forjados con los muros exteriores. Dichos puentes térmicos habrían podido ser reducidos mediante la colocación de aislamiento en suelo y techo de cada una de las viviendas, al menos en una franja perimetral de 1 metro, pero esta solución no es posible en el caso que nos ocupa, con imposibilidad de disminuir la altura libre.

Hay que tener en cuenta que una edificación en la que no se resuelvan correctamente los puentes térmicos, además de sufrir una pérdida de calor por estos puntos, está expuesta a

la presencia de patologías interiores (humedades, mohos) por la disminución de la temperatura en la cara interior. Por otro lado, esta temperatura más baja haría necesario aumentar la temperatura del aire interior, ya que la sensación térmica del usuario está entre ambos valores, y por tanto el consumo energético para una misma situación de confort sería más elevado.

Los muros, por tanto, serán aislados por el exterior, con un espesor tipo de 14 cm de lana de roca, sobre un mortero de regularización de la superficie del ladrillo caravista y el mortero actual, y con un acabado continuo. Estaríamos hablando, por tanto, de un sistema SATE.

En la parte inferior del edificio, a modo de zócalo, se coloca una fachada ventilada de elementos prefabricados de hormigón polímero, que reduce el grosor del aislamiento térmico a 11 cm. En estas zonas se ha previsto la utilización de PIR, con menor conductividad térmica, para compensar dicha reducción de espesor.

La cubierta se aísla así mismo por el exterior, sobre la lámina de hermeticidad, y se comunica con el aislamiento de los muros envolviendo todos los elementos de conexión se realiza con una chapa sándwich de aislamiento PIR de 14 cm que equivaldría a unos 20cm de XPS.

Todas las cámaras de trasdosados de muros exteriores llevan aislamiento térmico en su interior, de apoyo al exterior, con grosores aproximados de 50 mm en general. En el caso de muros en contacto con espacios comunes y en la medianera con el edificio contiguo este espesor se aumenta hasta aproximadamente 10 cm. El forjado de suelo de planta baja es sustituido por una solera de 12 cm de XPS, apto para resistir esfuerzos de compresión.



Figura 8: Aislamiento de fachada.

En el estudio de los puentes térmicos, cuyo valor se incorpora en el PHPP, tiene relevancia no sólo la pérdida energética, sino también que no se produzca ninguna situación de disminución del confort interior, lo cual se considera cuando existe algún punto interior a menos de 16°C, considerando 0°C exteriores.

### 2.3.1 El Arquitecto Técnico agente del confort en paredes

Cada cambio aparte de contemplar criterios constructivos, estructurales o de salubridad debe ser mediante programa de dinámica de flujos, que determina su temperatura interior y su valor cuantitativo, para poder validar un cambio de detalle constructivo planteado, cada de talle será evaluado y cuantificado térmicamente.

## 2.4 LAS CARPINTERÍAS

Se garantiza la existencia de aperturas en todas las estancias, que son abatibles para mejorar la hermeticidad del cierre. No es admisible la existencia de estancias sin posibilidad de apertura de huecos, a pesar de existir una garantía de ventilación continua. Entre otras funciones, destaca la de refrigeración natural en las noches de verano mediante la organización de corrientes de aire.



Figura 9: Colocación de premarco de madera.

Puesto que en general no existen elementos de sombreado de los huecos, se plantea la posición de las carpinterías en la hoja interior del muro, lo cual permite además disponer de persianas, en su caso, y facilitar la maniobrabilidad. Esta posición, sin embargo, provoca la necesidad de reducir el impacto del puente térmico generado mediante la colocación de un aislamiento perimetral al hueco, a base de PIR de bajo espesor, que además protegerá los marcos, reduciendo su espesor visible.

Los factores fundamentales que determinan el buen funcionamiento de la ventana son:

- Su transmitancia térmica, de tal forma que cuanto menor sea este valor menor serán las pérdidas de energía por transmisión.
- El factor solar del vidrio, que determina la capacidad de la ventana de convertir la energía solar incidente en ganancia térmica en el interior.
- La colocación de la ventana, que garantiza los menores puentes térmicos posibles, así como la continuidad de la capa hermética.

- Las ventanas serán de PVC con hojas oscilo batientes, con fijo en la parte inferior en algunos casos. Los marcos disponen de 6 cámaras, grueso 86 mm y refuerzo perimetral de acero galvanizado. Transmitancia térmica del marco:  $1'0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  según DIN EN ISO 10077-2.
- El acristalamiento es triple, con vidrios de 4 mm y cámaras de 14 mm con insuflación de gas Argón y tratamiento bajo emisivo. Transmitancia térmica del vidrio:  $0'5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  según DIN EN ISO 10077-1. Aislamiento acústico 32 dB. Factor solar  $g=0'53$  según DIN EN 410. En la parte fija se colocan vidrios laminados con BUTIRAL en cara interior y/o exterior para protección frente impactos. El coeficiente Psi del distanciador del vidrio será  $0'039 \text{ W}/\text{mK}$ .
- Los cajones de las persianas vienen incorporados a las ventanas, con control de hermeticidad total y atenuación acústica 45 dB, con pestaña exterior y material de gran adherencia al revoque tanto exterior como interior. Las lamas serán de aluminio. El accionamiento será motorizado.
- Las ventanas se montan sobre dos premarcos de madera fijados en obra según protocolo de montaje Passivhaus, cintas de hermeticidad en cara interior que generan una unión continua entre la línea de hermeticidad de la pared y el marco de la ventana, sellado mediante espuma de poliuretano de celda cerrada.



Figura 10: Recuperador de Calor.

## 2.5. VENTILACIÓN Y RECUPERACIÓN DE CALOR

El concepto de casa pasiva se basa, entre otras cosas, como hemos visto, en la eliminación de infiltraciones (ventilación no controlada, a través de los paramentos) por medio de la hermeticidad. Se hace necesario, por tanto, un sistema de ventilación controlada que permita mantener la calidad del aire mediante su renovación continua, que se filtrará convenientemente para evitar la entrada en el interior de elementos contaminantes, pólenes, malos olores, etc. Si este aire se tomase a la temperatura ambiente, bajaría el nivel de confort, y sería necesario aumentar el consumo energético para alcanzarlo. Por otro lado, sería un desperdicio expulsar otra vez al exterior ese aire que hemos conseguido calentar.

Por este motivo, es necesario que el sistema de ventilación forzada se acompañe de un recuperador de calor, es decir, un intercambiador de energía que permita precalentar el aire que entra con el calor del aire que se expulsa. En este caso necesitaremos, además, un aporte extra de calefacción para lograr una tempera interior en invierno de 20 °C, pero muy inferior al necesario si no se contase con el recuperador.



Figura 11: Vivienda Rehabilitada.

La ventilación se resuelve para cada una de las viviendas de forma independiente, por lo que deberá compensarse en cada unidad la admisión y la extracción del sistema. Se ventila toda la vivienda, de tal forma que la impulsión de aire se realizará en salón y dormitorios y la extracción en baños y cocina. El aire discurrirá por el interior de la vivienda, por tanto, de los primeros a los segundos, gracias a holguras o rejillas en las puertas. Con esta dirección del flujo de aire garantizaremos que la humedad y posibles olores no son esparcidos por las zonas estanciales.

El recuperador de calor se coloca en falso techo del baño, y desde allí se realiza el reparto mediante falso techo y rejillas en los accesos a las estancias, reduciendo en lo posible las zonas de menor altura libre.

## 2.6 CONCLUSIONES

- Es habitual que durante la ejecución de edificio de bajo consumo se genere una gran atención en las partes térmicas y se deje un poco de lado el control de ejecución de los elementos habituales, por tanto, es necesaria por parte del arquitecto técnico la correcta revisión de todos los trabajos.
- Debido a la complejidad de los nuevos materiales es necesario y alguien revise la adecuada aplicación y compatibilidad con los elementos de construcción tradicionales y ver si su aplicación genera otros problemas. Existe un campo lleno de especialización donde el arquitecto técnico debe ser una figura primordial, para realizar lo más complicado en la realización de una rehabilitación EnerPHit su correcta ejecución.

### **3. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

#### PÁGINAS WEB Y OTROS RECURSOS TOMADOS DE INTERNET

[1] Guía del Estandar Passivhaus Fenercom

<https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-del-Estandar-Passivhaus-fenercom-2011.pdf>

## REHABILITACIÓN DE EDIFICIOS – LA *PANACEA* DE LA CONSTRUCCIÓN DIFÍCIL DE APLICAR

ARJONA BORREGO, JOSEP M.

*Arquitecto Técnico, Girona, España*

*E-mail: j.arjona@aparellador.cat, Web: www.aparellador.cat*

**PALABRAS CLAVE:** “Rehabilitación, conservación, restauración”.

### RESUMEN

Desde los primeros tiempos de Contart, siempre se ha considerado que la rehabilitación de edificios debía ser la salida a las, cada vez más, limitadas y exiguas políticas de edificación. Con la aparición de la grave crisis económica, de la que aún no hemos salido, parecía todavía más que la rehabilitación debía suplir la caída en picado de cualquier tipo de construcción, ya fuera residencial o de obra civil.

Es alentador saber que en Europa, en plena crisis, la rehabilitación fuera el 29% del sector de la construcción en 2009, mientras que el de obra nueva era solo del 18%. Si bien, en el resto de Europa la rehabilitación de su parque inmobiliario ha ido creciendo año tras año, en España seguimos a la cola, en cuanto a rehabilitación se refiere, según un reciente informe del 2016 del Colegio de Arquitectos de Catalunya. Si bien podemos estar de acuerdo en sus conclusiones respecto a que en nuestro país no existía cultura rehabilitadora, incluso en épocas anteriores a la crisis, cabe preguntarnos. ¿Es solo porque la ley estatal de rehabilitación, regeneración y renovación urbanas, del año 2013, y las escasas subvenciones promovidas por diferentes administraciones no han funcionado? ¿O hay más razones?

Nuestra experiencia propia en rehabilitación nos da algunas otras respuestas como la poca flexibilidad del Código Técnico en la aplicación de sus documentos básicos, aunque se intentara mejorar con el cambio de los puntos 3 a 7 del artículo 2 de la parte I, o también

por la menor flexibilidad en técnicos municipales que exigen el cumplimiento estricto sin posibilidad de argumentación. Mediante la explicación de algunos casos prácticos, la presente comunicación pretende demostrar una casuística común en pequeñas rehabilitaciones que el propio CTE debería ayudar a corregir.

## 1. INTRODUCCIÓN

Hacia los años 80, el Estado español, inició un cambio de criterio respecto los edificios existentes, cuando se publicaron los primeros decretos dedicados a la rehabilitación de edificios de viviendas. Estos decretos se demostraron del todo necesarios cuando, desafortunadamente, el 11 de noviembre de 1990 se derrumbó una parte de un bloque del Turó de la Peira, en el distrito de Nou Barris de Barcelona. Quedaba demostrado, de manera trágica, la necesidad que había de revisar nuestro parque de edificios para establecer programas de rehabilitación y reparación.

En Europa esto no era extraño, ya que muchos países habían establecido, mucho antes, programas y políticas de rehabilitación, entre los años 60 y 70, que ya estaban plenamente consolidadas. Las razones que impulsaron dicho cambio eran evidentes [1]: La crisis económica de la época que afectaba especialmente a la construcción, nuevas normativas urbanísticas municipales, escasez de suelo edificable, el envejecimiento y nula conservación de buena parte del parque edificado y la mirada en el resto de comunidad europea, donde la rehabilitación ya era un hecho.

Hay que pensar que buena parte del sector de la construcción en Europa corresponde a actuaciones de rehabilitación, siendo en la actualidad el motor de crecimiento del sector de la vivienda de muchos países europeos, muy por delante de la edificación de obra nueva. En plena crisis mundial dicha proporción, en 2009, era de un 29% para obras rehabilitación frente a un 18% en nuevas obras [2].

Normalmente, en nuestro país, dicha estadística siempre ha sido contraria primando la obra nueva sobre la rehabilitación de edificios. Y parece ser que seguimos así, ya que el último estudio realizado por el Colegio de Arquitectos de Catalunya sobre la actividad del año 2016 concluye con unas desalentadoras afirmaciones, en cuanto a rehabilitación [3]: *“La edificación sigue muy lejos de la normalización, sin un crecimiento estructural sólido que augure una mejora inminente”*, y también afirma que: *“Lo más preocupante es la insignificante actividad de rehabilitación, en conjunto en todo el territorio”*.

Parecía que con la obligación de realizar las Inspecciones Técnicas de Edificios (ITE), según el Real Decreto-ley 8/2011 y por normativas autonómicas o municipales, y el Certificado de Eficiencia Energética, desde el 2013, el mantenimiento y mejora del parque edificado sería el despegue de la actividad rehabilitadora. Pero parece ser que no ha sido así.

De hecho en Catalunya, donde ya se habían regulado las ITE desde el año 2010, se cambió el criterio con un nuevo decreto el año 2015, haciendo más estricta su aplicación, de tal forma que cualquier edificio, o casa, de más de 45 años, debe efectuarla para poder ser vendido, alquilado o acceder a ayudas de rehabilitación [4]. La pretensión no es coercitiva sino fomentar la cultura del mantenimiento de los edificios de viviendas, y facilitar a la propiedad el conocer el estado en que se encuentra y que posibilidades de mejora tiene.

Esto es una muestra que seguimos siendo una sociedad con poca cultura de mantenimiento y rehabilitación, aun así, en el momento que se decide hacerla: ¿Es fácil llevarla a cabo técnicamente?



Figura 1: Refuerzo estructural de un forjado de madera.  
¿Cumple el CTE?

El cambio normativo que supuso el CTE, después de unos años de adaptación, según nuestro parecer, limitó bastante la actuación, sobre todo en estructuras existentes. Tener un código prestacional generaba, muchas veces, complicaciones técnicas, económicas y de funcionalidad que limitaban las actuaciones a realizar, llegando a veces a recomendarse el derribo del elemento en lugar de conservarlo. De esta manera, nos consta, se “aparcaron” o simplemente se abandonaron algunas obras de rehabilitación

Es por ello que, con muy buen criterio, se decidió efectuar un cambio en la legislación que permitiera una mayor flexibilidad en los edificios existentes. En Junio de 2013, se publica de nuevo la parte I del CTE con una serie de modificaciones, entre las cuales, se incide en los puntos 3 a 7 del artículo 2 – Ámbito de actuación [5]. De forma resumida nos viene a decir que cuando la aplicación del CTE no sea urbanística, técnica o económicamente viable o, en su caso, sea incompatible con la naturaleza de la intervención o con el grado de protección del edificio, se podrán aplicar, bajo el criterio y responsabilidad del proyectista o, en su caso, del técnico que suscriba la memoria, aquellas soluciones que permitan el mayor grado posible de adecuación efectiva.

Es decir, permite soluciones técnicas que limiten los niveles de prestaciones pero deben quedar suficientemente justificadas en el proyecto y registradas en la documentación final de obra, bajo la responsabilidad del técnico proyectista o técnico competente.

Aún con esta modificación, en la provincia de Girona nos hemos encontrado con requerimientos muy estrictos, por parte de algunos técnicos municipales, para poder realizar una simple obra de rehabilitación o de adecuación. Entendemos que un técnico municipal debe velar por el cumplimiento de la normativa vigente, pero a veces dicha normativa puede ser interpretable. Últimamente, con la desaparición de técnicos experimentados, por jubilación, enfermedad, etc., nos encontramos con técnicos mucho más jóvenes que no tienen, ni la experiencia necesaria, ni el criterio de interpretarla, la cual cosa genera una interpretación muy estricta para cumplir los requisitos básicos del CTE, sin permitir ninguna justificación. En esta comunicación ponemos de ejemplo tres casos concretos de actuaciones en edificios existentes, y como se solucionaron.

## 2. ESTUDIO DE LOS CASOS PRÁCTICOS

### 2.1 Cambio de uso en un local de más de 100 años

El año 2014 recibimos el encargo de transformar un local comercial del barrio viejo de Girona, que llevaba muchos años cerrado, para ubicar un restaurante en pleno centro histórico de la ciudad. A parte de las propias limitaciones del CTE, también debíamos batallar con la normativa municipal de la *“Ordenanza reguladora de las condiciones de instalación, funcionamiento y intervención de determinados establecimientos públicos dedicados a la restauración, espectáculos y/o actividades recreativas y sus terrazas”*.

El local, antigua oficina bancaria, se ubicaba en un edificio histórico de más de 100 años en el barrio antiguo y sus paredes de carga, de más de 60 cm de grueso (Figura 1), limitaban mucho su adecuación a restaurante, sobre todo si pensamos que debía contener una cocina adecuada, un baño para mujeres, un baño para hombres y uno para minusválidos totalmente accesible. Además, por imperativo municipal, también debía tener un vestuario para los trabajadores y un almacén de productos de 5,00 metros cuadrados como mínimo.

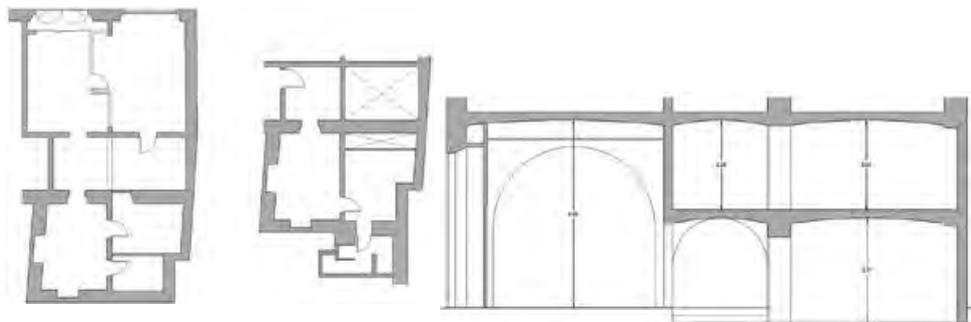


Figura 1: Planta baja y planta altillo.

Figura 2: Sección. Estado actual del local anterior a la reforma.

La única ventaja era que el local conectaba con un altillo superior que nos permitía ubicar los servicios de hombres, así como el vestuario y el almacén de productos (Figura 2).

A la hora de distribuir el local, siempre llegábamos a la misma conclusión: en planta baja se ubicaba la recepción, salas de mesas, cocina y baño de minusválidos. En planta altillo se situaban los otros dos servicios sanitarios, el vestuario para el personal y el almacén pertinente. Lo que no nos encuadraba de ninguna manera era la escalera que conectara la planta baja con el altillo. Y no nos encuadraba porque había que montar una escalera compensada que no cumplía con los requerimientos básicos de huella y contrahuella para este tipo de escaleras.

Concedores del cambio de criterio al respecto, en la versión del CTE de junio de 2013, se planteó al ayuntamiento una escalera bastante cómoda y que no dificultaba la evacuación en caso de incendio (Figura 3). Aún así, no se nos aceptaba el planteamiento, aunque emitiéramos un certificado técnico asumiendo esta responsabilidad.

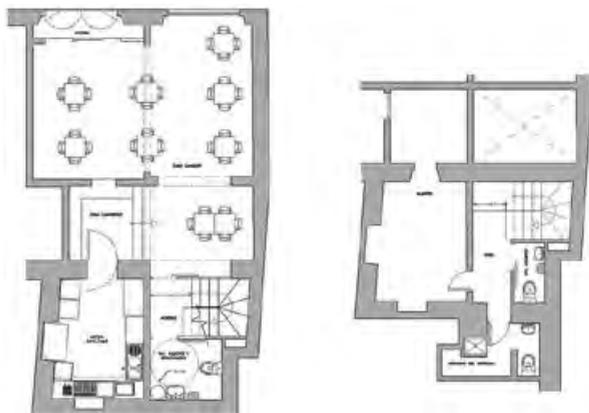


Figura 3: Nueva planta baja y altillo.



Figura 4: Arco existente a recuperar.

Finalmente encontramos la solución en la regla de las tres R (reducir, reciclar y reutilizar) y con la ley del patrimonio de Catalunya, porque al retirar unos revestimientos superficiales descubrimos un arco interno en la pared adyacente a la escalera, que en su momento se había desmontado en parte y tapado con yeso. Pudimos documentarlo y se decidió reha-cerlo y conservarlo (Figura 4). El encontrar un elemento patrimonial nos permitió proyectar una escalera compensada más ajustada. Con todo, nos quedó muy claro el criterio tan estricto que nos aplicaban, independientemente del CTE, porque no nos aceptaron ningún tipo de certificado en base al artículo 2.3.

## 2.2 Actualización de una actividad en un edificio existente

El año 2013 se hizo un proyecto de bar-restaurant en un local de un edificio de más de 30 años. En este proyecto se definieron toda una serie de condicionantes en cuanto a configuración, almacenamiento, alturas, etc., todo ello para cumplir la normativa municipal. La propiedad de este local lo dejó “abandonado” a finales de 2015.

A principios del año 2016 un nuevo propietario se hizo cargo, y cuando empezó todos los trámites del cambio de nombre se encontró con una desagradable sorpresa: había toda una serie de requerimientos, por parte del ayuntamiento, en cuanto a la chimenea, la ventilación, y en especial, a la accesibilidad del servicio para mujeres, que a la vez era también para minusválidos.

En el momento que nuestro equipo entró para solucionar el problema, sin poder realizar obras significativas en un local en “pseudofuncionamiento”, la cuestión fue: ¿podemos justificar la distribución actual? La respuesta era complicada.

Es en este momento cuando, a través de una instancia municipal, se pide aplicar el artículo 2 del CTE, en cuanto a que había un impedimento físico para cumplir los requerimientos del código, referente a la accesibilidad. El hecho era que, en el baño de mujeres/minusválidos, el círculo de libre acceso desde la puerta era de 1,14 metros, casi asimilable al 1,20 m que pedían normativas anteriores (Figura 5), pero lateralmente si que se conseguía

el metro y medio preceptivo. También era evidente que había una red sanitaria existente del propio edificio, donde se conectaba el inodoro. Dicha red sanitaria formaba un pequeño escalón de 7 cm, justo donde se ubicaba el inodoro, la cual cosa impedía tener un espacio libre sin obstáculos. (Figura 6)



Figura 5: Estado real de los servicios.

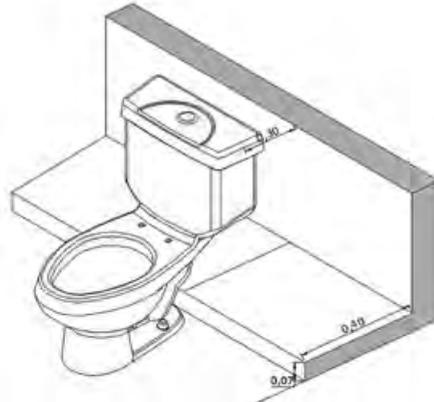


Figura 6: Inodoro y escalón del colector.

La contestación de los servicios técnicos municipales fue meridiana: hay que cumplir estrictamente el CTE. En tema de accesibilidad, el código prescribe un círculo, libre de obstáculos, de 1,50 metros directamente desde la puerta de entrada. De nada sirvieron nuestros argumentos en cuanto a que, de forma diagonal, se llegaba a las medidas requeridas (ver figura 5). Nos pedían un círculo libre de 1,50 metros frontal, no en diagonal, cuando cualquier silla de ruedas entraba y maniobraba directamente.

Viendo los requerimientos del ayuntamiento, y previa búsqueda de soluciones alternativas a la realización de obras importantes, se propuso un nuevo inodoro de sistema colgado, que tenía unas medidas reducidas, de tal forma que se aumentaba el radio de accesibilidad. (Figura 7 y 8)

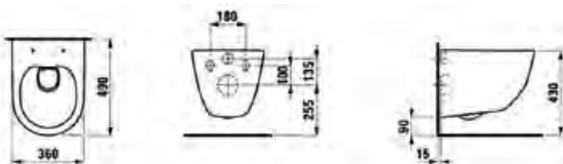


Figura 7: Detalles de inodoro colgado.



Figura 8: Cambio de inodoro.

La respuesta técnica del ayuntamiento nos dejó sin argumentos: Si bien aceptaban a priori nuestra solución, finalmente la rechazaban porque nos informaban que, el DB SUA, en su apartado de accesibilidad, determinaba que se debía conseguir un espacio de transferencia lateral de anchura  $\geq 80$  cm y  $\geq 75$  cm de fondo hasta el borde frontal del inodoro. Y que, en uso público, el espacio de transferencia debía ser ambos lados. Además, la altura del asiento debía ser 45 – 50 cm, con lo cual nos limitaban mucho el modelo de inodoro. Muy pocos cumplen una altura de asiento de 45 cm como mínimo.

Parecía una carrera de obstáculos, a cada propuesta un requerimiento nuevo. Finalmente no tuvimos más remedio que proponer un cambio de lugar del inodoro, buscando uno que cumpliera las estrictas condiciones de altura y fondo, y presentar dicha propuesta (Figura 9). Cabe señalar que en el mercado, hasta la fecha, solo encontramos un modelo que cumpliera dichas condiciones. (Figura 10)



Figura 9: Propuesta final.

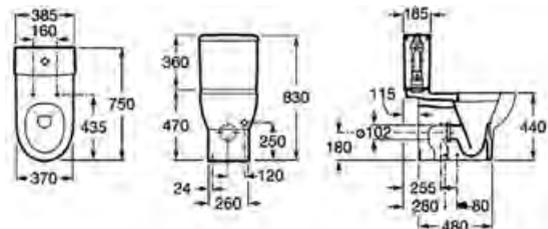


Figura 10: Inodoro con medidas aceptables.

Finalmente, gracias a estos últimos cambios, nos llegó la licencia municipal de obras menores, con la cual se podía legalizar el local para la actividad prevista. Nos quedó claro, en este caso, que los nuevos criterios del CTE, en cuanto a las limitaciones en edificios existentes, fueron como papel mojado para los técnicos municipales.

### 2.3 Redistribución interior en un edificio de más de 100 años

El encargo de redistribuir totalmente un segundo piso, en un pequeño edificio del casco antiguo, nos llegó en 2017, y vistas algunas experiencias anteriores, en este caso se programaron algunas visitas con los técnicos municipales para consensuar el contenido del proyecto (Figura 11).

Se redactó un primer proyecto de derribo de tabiques y repicado de las paredes para tener claro la superficie útil real resultante. Una vez limpiadas las paredes y los techos, mediante chorro de arena, quedaba evidente que debíamos reforzar la estructura de vigas del piso superior porque eran de madera, y con el tiempo habían flechado de forma excesiva, aunque la mayoría estaban en muy buen estado.

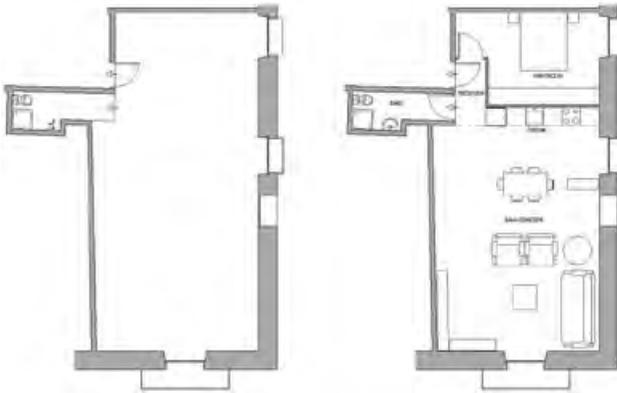


Figura 11: Planta neta y propuesta de distribución.

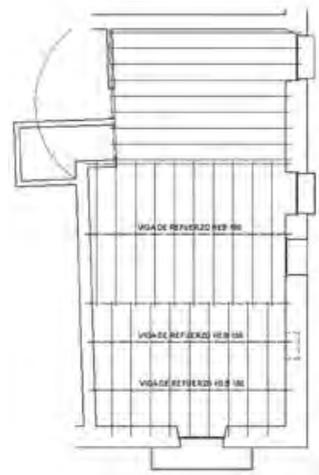


Figura 12: Planta de refuerzos.

La luz libre entre paredes de 5,50 metros y una altura de 4,30 metros nos permitía plantear un refuerzo con perfiles laminados del tipo IPN 200 ó HEB 180, de forma que se reducía la carga de las vigas de madera a la mitad, para asegurar su estabilidad y evitar el aumento de flecha. (Figura 12)

Planteada dicha solución al ayuntamiento nos requirió la justificación de cargas real de las vigas y que sistema se utilizaría para protegerlas frente al fuego. En cuanto a la protección frente al fuego la solución prevista en el proyecto era evidente, un falso techo ignífugo que nos diera la resistencia y reacción al fuego necesarias.

En cuanto a la justificación de cargas, pudimos aplicar la *Norma Reglamentaria de la Edificación, Acciones en la Edificación en Obras de Reforma (NRE-AEOR-93)* [6], que la Generalitat de Catalunya aprobó el 18 de enero de 1994, y que aún continua vigente. Dicha norma nos da datos de pesos, y la comprobación cargas, de los diferentes tipos de forjados antiguos que podemos encontrar en edificios viejos. (Figura 13)

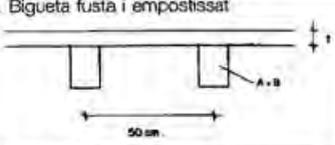
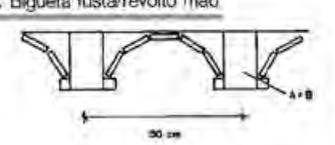
Forjats	Dimensions		Pes (kg/m <sup>2</sup> )
1. Bigueta fusta i empostissat 	t	AxB (cm)	
	2,5 cm.	16x10	45
	3,0 cm.	20x12	65
	3,5 cm.	24x14	75
2. Bigueta fusta/revoltó maó 	1 capa rajola ceràmica	AxB (cm)	
		16x10	135
		20x12	150
		24x14	160
	2 capes rajola ceràmica	AxB (cm)	
	16x10	150	
	20x12	165	
	24x14	175	

Figura 13: NRE-AEOR-93 - Peso propio de forjados sin capa de compresión

Aplicando dicha norma, para nuestro tipo de forjado, pudimos ajustar el estado de cargas, cumpliendo con los preceptos del CTE, y así realizar el refuerzo de forma más ajustada. (Figuras 14 y 15)



Figura 14: Refuerzo de la parte posterior.



Figura 15: Vista general del refuerzo.

Como vemos, en este caso, actuar conjuntamente con los técnicos municipales nos facilitó las tareas de ajustar el proyecto al CTE, y también nos permitió aplicar una norma más específica en cuanto a las acciones de forjados, ya en desuso, que siguen estando presentes en muchas reformas de edificios con una vida útil de más de 50 años. Entendemos que el código técnico, mucho más encarado a obra nueva, no es muy flexible al respecto.

## CONCLUSIONES

La modificación de los primeros artículos del CTE en junio de 2013 iba encaminada a solucionar limitaciones evidentes, de su aplicación, en obras de rehabilitación o de reforma. Creemos que una visión muy estricta del código no facilita la actividad rehabilitadora que nuestro parque edificatorio necesita, y esta visión, normalmente, la aplican técnicos municipales de “*nueva hornada*” que adolecen de la flexibilidad necesaria que a veces se requiere. Puede que sea falta de experiencia, falta de seguridad o, simplemente, miedo a la responsabilidad.

En todo caso, la comunicación presenta dos casos en los que, a pesar de emitirse un certificado asumiendo la responsabilidad de aplicar prestaciones más ajustadas, los servicios técnicos municipales no lo aceptaron, aunque no se incumplía la norma y las soluciones adoptadas eran perfectamente viables. Hubo que buscar formas alternativas. El tercer caso nos revela que, en este tipo de reformas, la política a seguir es la de realizar consultas periódicas con dichos técnicos, y así justar el proyecto a sus demandas.

Entendemos que la modificación del código en 2013 ha sido muy positiva, pero creemos que en próximas modificaciones se debería ajustar más su redactado para facilitar la rehabilitación y conservación de edificios, de tal manera que el derribo de sistemas constructivos antiguos, casi patrimoniales, sean conservados aunque la edificación sea sencilla.

### 3. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS (Y CITAS EN EL TEXTO)

- [1] Casanovas i Boixereu, Xavier (1997). *Ponencia sobre rehabilitación*. En Contart 97, I Convención Técnica i Tecnológica. Arquitectura Técnica: Técnica para la Arquitectura (pp 877-898). Málaga. Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Málaga.
- [2] Etxebizitzako Behatokia, Observatorio Vasco de la Vivienda. (2010). *Políticas de Rehabilitación y Regeneración Urbana en Europa. Informe ejecutivo*. Azterlan, Plangintza eta Aurrekontuen Zerbitzuaower, Servicio de Estudios, Planificación y Presupuestos. Donostia. San Sebastian.
- [3] La edificación en Catalunya 2016. Col·legi d'Arquitectes de Catalunya. Accedido el 8 de enero, 2018, desde <https://www.arquitectes.cat/es/edificacion-catalunya-2016>.
- [4] *Decret 67/2015, de 5 de maig, per al foment del deure de conservació, manteniment i rehabilitació dels edificis d'habitatges, mitjançant les inspeccions tècniques i el llibre de l'edifici*. (Decreto 67/2015, de 5 de mayo, para el fomento del deber de conservación, mantenimiento y rehabilitación de los edificios de viviendas, mediante las inspecciones técnica y el libro del edificio) (2015) - Generalitat de Catalunya. Departament de territori i sostenibilitat. Barcelona.
- [5] CTE Parte I (junio 2013) – Ministerio de Fomento. *Código Técnico de la Edificación. Parte I. Versión con modificaciones señaladas*. Madrid.
- [6] NRE-AEOR-93 (1994) – Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya. Generalitat de Catalunya. Departament de Política Territorial i Obres Públiques. Direcció General d'Arquitectura i Habitatge. *Norma reglamentària d'edificació sobre accions en l'edificació en les obres de rehabilitació estructural dels sostres d'edificis d'habitatges NRE-AEOR-93*. Barcelona.

**IEE DESFAVORABLE: ADECUACIÓN EFECTIVA ÓPTIMA PARA CADA EDIFICIO. IMPORTANCIA Y HERRAMIENTA PARA EL CRITERIO TÉCNICO DE PRESCRIPCIÓN**

ARIAS ARRANZ, DAVID

*Colegio de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Madrid, Madrid, España*

*E-mail: darias@aparejadoresmadrid.es*

**PALABRAS CLAVE:** ajuste, comparativa, normativa, análisis, razonable.

**RESUMEN**

El objetivo general del presente trabajo es un estudio comparativo de la distinta normativa que regula la aplicación de criterios accesibles, puntos en común y diferencias, estudiando las distintas opciones de prescripción para cada edificio. Este estudio se ha pormenorizado y ejemplificado con la comparativa de la normativa estatal, CTE DB SUA, respecto a la autonómica de Madrid, Ley 8/1993 y Decreto 13/2007, de la que se puede observar los aspectos en que se difiere, se completan y poder así comprobar estos puntos en el resto de normativas autonómicas.

Para la aplicación real de accesibilidad es necesario realizar las obras de acondicionamiento pertinentes, que según cada municipio, deben contar con un procedimiento u otro en el momento de la tramitación de la licencia.

En el municipio de Madrid se aplica la Instrucción 1/2017, que establece los criterios a aplicar a la hora de exigir los ajustes razonables en los edificios existentes. Siguiendo el criterio de esta instrucción a partir del 4 de diciembre de 2017, resultará de aplicación de manera íntegra la normativa en materia de accesibilidad a todas las solicitudes de licencias, declaraciones responsables y comunicaciones previas, en edificios existentes sin excepción, es decir, con independencia de que se trate de actuaciones comprendidas dentro del nivel de

intervención del artículo 2 del Código Técnico de la Edificación.

Otro aspecto a tener en cuenta es la reciente sentencia del tribunal superior de justicia sobre el alcance del Informe de Evaluación de Edificios, IEE, una de las herramientas para el control de la implantación de los ajustes razonables, y que según la misma deja en manos de cada comunidad autónoma la decisión sobre este aspecto. En el caso de Madrid se asume la legislación estatal por lo que no afecta la sentencia en el sentido que el legislador autonómico ha decidido seguir las pautas estatales.

Por tanto, para la implantación de los ajustes razonables se ha de tener en cuenta:

- Aspectos técnicos: CTE DB SUA, DA SUA/2 Adecuación efectiva de las condiciones de accesibilidad en edificios existentes (versión 26 diciembre 2017) y normativa autonómica
- Aspectos urbanísticos: licencia de obra, posible instrucción municipal.
- Herramienta: IEE, comprobación de lo determinado autonómicamente.

Estas instrucciones describen los requisitos para el formato de las comunicaciones que serán enviadas al Congreso CONTART 2018 “LA CONVENCIÓN DE LA EDIFICACIÓN”. Contiene información de formatos, tamaños y tipos de letra, estructuración de las diferentes secciones de la comunicación, forma de presentación de tablas, figuras y referencias bibliográficas. El resumen no puede ocupar más de esta primera página, sin superar las 300 palabras, no debe contener acrónimos, referencias, ecuaciones, figuras o tablas. En el resumen se sintetizan las conclusiones de la comunicación, así como los métodos utilizados y no se debe considerar parte de la introducción de la comunicación. **Este modelo de comunicación ha sido escrito usando el tamaño de papel, márgenes, tipo y tamaño de letra obligatorios, por lo cual se aconseja escribir la comunicación sobre él.**

El encabezado RESUMEN debe escribirse usando el tipo de letra 11 pt Times New Roman en negrita y mayúsculas. Deje un renglón vacío (de 11 pt) entre el encabezado y el texto. Escriba el resumen usando el tipo de letra de 11 puntos. Deje un renglón vacío (de 11 pt) entre el RESUMEN y la INTRODUCCIÓN.

## 1. INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se estudia mediante una tabla comparativa y gráficos de exigencia las distintas opciones, para que el técnico pueda rescribir la mejor medida.

Uno de los principales objetivos de este trabajo es el cumplimiento del IEE en su aspecto de accesibilidad, dado que es la herramienta normativa fundamental de obligado cumplimiento para edificios existentes.

Es por ello que el objetivo esencial es la elaboración de un Cuaderno Técnico de Accesibilidad, dentro de la serie en la que trabaja el Colegio de Madrid desde hace años abarcando todos los temas de actualidad y necesidad en el sector de la Edificación.

Por tanto, este trabajo responde al origen y planteamiento del Cuaderno Técnico referido, cuyo objetivo es resolver este importante aspecto esencial que debe cumplir nuestro parque edificado y sobre el que el arquitecto técnico juega un papel fundamental.

La actual sentencia del tribunal superior, y las instrucciones que ciertos municipios han tomado a la hora de determinar criterios para la implantación de los ajustes, hace esencial que el técnico sepa concentrar, interpretar y buscar la mejor solución para cada edificio, y

precisamente esto es el objetivo del cuaderno técnico y del presente artículo que es el inicio del mismo y se presenta al colectivo profesional por el gran alcance que supone.

## **2. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA**

### **2.1 Normativa base de aplicación**

A la hora de implantación de ajustes razonables es necesario atender a la normativa técnica de aplicación:

#### **Código Técnico de Edificación**

Principal normativa estatal de aplicación, que no se queda en la aplicación de la sección 9 del Documento básico de seguridad de utilización y accesibilidad, DB SUA, sino que requiere comprobar aspectos de otras secciones de este documentos, así como indicaciones desarrolladas en el Documento básico de Seguridad en caso de incendio (DB SI).

Para garantizar que no olvidamos ningún aspecto regulado por el CTE, el ministerio elaboró un interesante y muy útil documento de apoyo con criterios de flexibilidad para la adecuación efectiva de los edificios y establecimientos existentes a las condiciones básicas de accesibilidad y no discriminación de las personas con discapacidad, el DA DB SUA / 2.

A modo resumen, no se debe olvidar revisar los aspectos desarrollados en las siguientes secciones del DB SUA:

- Sección 1, SUA 1 Seguridad frente al riesgo de caídas.
- Sección 3, SUA 2 Seguridad frente al riesgo de impacto o de atropamiento.
- Sección 3, SUA 3 Seguridad frente al riesgo de aprisionamiento.
- Sección 4, SUA 4 Seguridad frente al riesgo causado por iluminación inadecuada.
- Sección 7, SUA 7 Seguridad frente al riesgo causado por vehículos en movimiento.
- Sección 9, SUA 9 Accesibilidad.

En cuanto al DB SI:

- Sección 3, SI 3 Evacuación de ocupantes.
- Sección 4, SI 4 Instalaciones de protección contra incendios.

#### **Normativa Autonómica**

Cada comunidad autónoma dispone fundamentalmente de al menos dos herramientas normativas técnicas.

Por un lado una Ley general que regula la accesibilidad y supresión de barreras arquitectónicas de un modo general, y ya de un modo detallado suelen contar un decreto que desarrolla pormenorizadamente los aspectos técnicos accesibles a modo de Reglamento Técnico de desarrollo.

Las fechas de desarrollo de estas normativas varían enormemente en cada comunidad autónoma y con respecto la regulación estatal, y es aquí donde aparece el primer problema de criterios. No tanto por solape de aspectos regulados, sino por aparición de contenidos inexistentes a modo estatal, pero si autonómico.

Analizamos en nuestro caso el particular de la Comunidad de Madrid, que sirve de

ejemplo y guión para poder analizar esos mismos aspectos en cada una de las comunidades autónomas.

Por tanto, para nuestro análisis se estudia:

- Ley 8/93 de 22 de junio, de la Presidencia de la Comunidad, de promoción de la accesibilidad y supresión de barreras arquitectónicas
- Decreto 138/98 de 23 de julio, de la Consejería de la Presidencia, por el que se modifican determinadas especificaciones técnicas de la Ley 8/93 de 22 de junio, de promoción de la accesibilidad y supresión de barreras arquitectónicas
- Decreto 13/2007, de 15 de marzo, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento Técnico de Desarrollo en materia de Promoción de la Accesibilidad y Supresión de Barreras Arquitectónicas.

La Comunidad de Madrid dispone de unas fichas de comprobación de accesibilidad para distintos espacios, a saber, locales, espacios urbanos, aseos, aparcamientos, etc

### **Ámbito municipal**

Como se ha indicado inicialmente, y dado que para poder realizar las obras necesarias para la implantación de los ajustes razonables es necesario solicitar licencia, algunos municipios han desarrollado criterios de interpretación y aplicación de las medidas de ajuste.

En el caso concreto del ámbito territorial de Madrid, el ayuntamiento ha desarrollado la Instrucción 1/2017 relativa a los criterios a adoptar en relación con la aplicación del Documento Básico DB-SUA “Seguridad de Utilización y Accesibilidad” del Código Técnico de la Edificación en materia de accesibilidad.

Esta instrucción según establece la Disposición adicional tercera “Exigibilidad de las condiciones básicas de accesibilidad y no discriminación”, del Real Decreto Legislativo 1/2013, de 29 de noviembre, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley General de derechos de las personas con discapacidad y de su inclusión social, el plazo máximo de exigibilidad de las condiciones básicas de accesibilidad y no discriminación para el acceso y utilización de los espacios públicos y edificaciones existentes el 4 de diciembre de 2010, que sean susceptibles de ajustes razonables, será el 4 de diciembre de 2017.

Esta previsión implica que a partir del 4 de diciembre de 2017, resultará de aplicación de manera íntegra la normativa en materia de accesibilidad, tanto estatal como autonómica, a todas las solicitudes de licencias, declaraciones responsables y comunicaciones previas, en edificios existentes sin excepción, es decir, con independencia de que se trate de actuaciones comprendidas dentro del nivel de intervención del artículo 2 del Código Técnico de la Edificación o de los supuestos de cambio de uso conforme al mismo, con la modulación de la regla general indicada en el apartado anterior.

## **2.2 Herramienta**

El Informe de Evaluación de Edificios es la herramienta que nos aporta la legislación estatal actual para el análisis de las condiciones de accesibilidad en el edificio, indicando si dicho edificio satisface completamente o no las condiciones básicas de accesibilidad.

Para ello, tendrá que cumplimentar los siguientes apartados:

- Condiciones funcionales.
- Elementos accesibles.
- Información y señalización.
- Valoración final.
- Ajustes razonables.

Las características de los tres primeros apartados, permiten la cumplimentación de datos de manera dinámica: el apartado de Accesibilidad es un formulario en el que el usuario irá indicando mediante un “sí” o un “no” la respuesta a preguntas concretas que se formulan.

De esta forma, en función de la información aportada, se solicitará la cumplimentación de datos adicionales o no.

Las condiciones a verificar en los tres primeros apartados (condiciones funcionales, elementos accesibles, información y señalización), podrán ser consultadas en la normativa de aplicación vigente, principalmente del CTE DB SUA - 9, pero también el resto de capítulos del DB SUA y los referidos

A evacuación del Seguridad frente a incendios DB SI.

Muy en cuenta se debe tener la última sentencia del tribunal superior de justicia, que deja a cada comunidad autónoma a regular este aspecto, que como se ha comentado en el caso de Madrid se sigue manteniendo la vigencia de

### 2.3 Ejemplo para baño accesible

Se pone como ejemplo el análisis de un baño accesible aplicando ambas normativas. Estatal y autonómica.

En lo referente a las características reglamentarias de los baños accesibles, dentro de nuestro ámbito autonómico, debemos dar cumplimiento tanto al Reglamento de accesibilidad de la Comunidad de Madrid como al Documento Básico de Seguridad de Utilización y Accesibilidad del Código Técnico de la Edificación.

En el citado documento CTE DB-SUA y más específicamente en el SUA 9, referente a la accesibilidad, se definen las exigencias mínimas de un “aseo accesible”, en el “Anejo A Terminología”, de la siguiente manera:

*“En referencia al recinto y sus dimensiones. El aseo accesible debe estar comunicado con un “itinerario accesible” (definido en el Anejo A), debe tener un espacio de giro de diámetro de 1,50 m libre de obstáculos, las puertas serán abatibles hacia el exterior o correderas (que cumplan con las condiciones del “itinerario accesible”) y se dispondrán de barras de apoyo, mecanismos y accesorios diferenciados cromáticamente del entorno. Puertas de itinerario accesible: con anchura libre de paso mínima de 0,80 m; mecanismos de apertura y cierre situados a una altura entre 0,80-1,20 m, de funcionamiento a presión o palanca y maniobrables con una sola mano; a ambas caras de las puertas existe un espacio horizontal libre del barrido de las hojas de diámetro 1,20m; distancia desde el mecanismo de apertura hasta el encuentro en rincón  $\geq 0,30$  m”.*

El equipamiento de aseos accesibles con elementos accesibles cumple las siguientes condiciones:

- En lo referente a los aparatos sanitarios, el lavabo debe tener un “espacio libre inferior mínimo de 70 (altura) x 50 (profundidad) cm. Sin pedestal”. Y el inodoro, “espacio de transferencia lateral de anchura  $\geq 80$  cm y  $\geq 75$  cm de fondo hasta el borde frontal del inodoro. En uso público, espacio de transferencia a ambos lados” y altura del asiento entre 45 – 50 cm.
- Las barras de apoyo deben ser “fáciles de asir, sección circular de diámetro 30-40 mm. Separadas del paramento 45-55 mm”, se sitúa a una altura entre 70-75 cm, longitud  $\geq 70$  cm y abatibles las del lado de transferencia. En inodoros, una barra horizontal a cada lado, con una separación de 65-70 cm entre sí.
- Los mecanismos y accesorios, como los mecanismos de descarga, son “a presión o palanca, con pulsadores de gran superficie”. La grifería “dotada de un sistema de detección de presencia o manual de tipo monomando con palanca alargada de tipo gerontológico. Alcance horizontal desde asiento  $\leq 60$  cm”. El espejo con “altura del borde inferior del espejo  $\leq 0,90$  m, o es orientable hasta al menos  $10^\circ$  sobre la vertical”. La altura de uso de mecanismos y accesorios es entre 0,70-1,20 m.

A la vez, en el ámbito de la Comunidad Madrid, se debe cumplir tanto la normativa estatal, detallada anteriormente, como la normativa autonómica, es decir, el Decreto 13/2007, de 15 de marzo, de obligado cumplimiento desde el 25 de junio de 2007, que desarrolla la Ley 8/1993, de 22 de junio, de Promoción de la Accesibilidad y Supresión de Barreras Arquitectónicas.

En el artículo 12, del citado Decreto 13/2007, establece que “Un baño o aseo se considera adaptado cuando reúne las condiciones establecidas en la Norma 6.”

Dentro de la norma 6, se establecen los siguientes requisitos:

Con respecto al recinto y sus dimensiones. En el apartado 3, se establece que las dimensiones mínimas serán de tal manera que “permitan inscribir dos cilindros concéntricos superpuestos libres de obstáculos: El inferior desde el suelo hasta una altura de 30 cm, con un diámetro de 150 cm, y el superior hasta una altura de 210 cm medidos desde el suelo y un diámetro de 130 cm”, garantizando a los usuarios una rotación de  $360^\circ$  y el acceso a los elementos adaptados.

Las puertas y huecos de paso, tal y como se especifica en el apartado 2, permitirán un ancho libre de 80 cm, su altura mínima 210 cm y con alto contraste de color en relación con el de las áreas adyacentes. De igual manera, las manillas o tiradores se diferenciarán cromáticamente con respecto a la propia puerta. Serán batientes o plegables hacia fuera o correderas, apartado 10.

El equipamiento de aseos accesibles con elementos accesibles cumple las siguientes condiciones:

- Con respecto a los aparatos sanitarios, los lavabos, apartado 11, tendrán una altura mínima su parte inferior de 70 cm y un fondo mínimo de 25 cm y su parte superior comprendida entre 80-85 cm, desde el suelo. Los inodoros, “contará con un inodoro en el que la altura del asiento esté comprendida entre 45 y 50 cm medidos desde el suelo” dispondrá de espacio libre a ambos lados de 80 cm de ancho y barras de apoyo laterales y abatibles y las horizontales posteriores no forzarán las posición del usuario, en ambos casos altura entre 70-75 cm desde el suelo (apartado 10).
- Mecanismos y accesorios. Apartado 10, “dispondrá de mecanismos de descarga cuya

acción será táctil, de presión o palanca. Apartado 11, “los mecanismos de accionamiento de la grifería serán de palanca, táctiles o de detección de presencia”. En los espejos, la parte inferior, quedará a una altura máxima de 90 cm. Los mecanismos y accesorios se situarán a una altura de entre 70-120 cm, desde el suelo.

Otras especificaciones de la Norma 6, a las que no hace referencia el CTE DB-SUA 9, son:

- El suelo deberá ser antideslizante tanto en seco como en mojado, las paredes no deberán producir reflejos que generen deslumbramientos y en ningún caso tendrán resaltes o rehundidos.
- El área de paramento adyacente a los apartados sanitarios y accesorios se diferenciará de estos mediante alto contraste de color.
- La iluminación no podrá ser mediante mecanismos de control temporizados.
- Los accesorios colocados en voladizo que sobresalgan más de 10 cm deberán situarse de manera que no produzcan riesgos de impactos.
- El aseo poseerá un sistema de llamada de auxilio desde el interior, instalado de manera que pueda ser utilizado por todos los usuarios con facilidad.
- Sus puertas dispondrán de unos mecanismos que permitan la apertura desde el exterior en caso de emergencia.

Aspectos diferenciados y más restrictivos según cada norma:	
CTE DB SUA 9	DECRETO 13/2007
<p>- El aseo accesible debe estar comunicado con itinerario accesible.</p> <p>- Dimensiones del aseo, ya que debe tener un espacio de giro de diámetro de 1,50 m libre de obstáculos, a cualquier altura.</p> <p>- Las puertas del itinerario accesible son más restrictivas y detalladas que los condicionantes de la Norma 6, a excepción de la altura mínima de 210 cm y con alto contraste de color con las áreas adyacentes, que sólo se especifica en dicha norma.</p> <p>- Las condiciones del lavabo que hacen referencia al espacio inferior mínimo, más concretamente la profundidad mínima de 50 cm (sin pedestal).</p> <p>- Barras de apoyo, todas sus indicaciones, ya que el decreto no especifica estas características.</p> <p>- Mecanismos y accesorios con pulsadores de gran superficie.</p> <p>- La grifería, en la referente a la de tipo monomando con palanca alargada y alcance horizontal desde asiento <math>\leq 60</math> cm.</p>	<p>- Lavabo, la altura de su parte superior debe estar comprendida entre 80-85 cm.</p> <p>- Inodoro, en lo referente al espacio lateral a ambos lados.</p> <p>- Espejos, la parte inferior, quedará a una altura máxima de 90 cm, de manera obligatoria en el ámbito autonómico, ya que en el CTE sería opcional si es orientable hasta al menos 10° sobre la vertical.</p> <p>- El resto de condiciones que no se detallan en el código técnico, como son, el suelo antideslizante, paredes que no generen deslumbramientos y sin resaltes o rehundidos, accesorios en voladizo situados para que no generen impactos, un sistema de llamada de auxilio desde su interior y un mecanismo de apertura desde el exterior en caso de emergencia.</p>
El resto de especificaciones son comunes para ambas normativas.	

### 3. CONCLUSIONES

Queda constancia en el presente trabajo del amplio camino que aún queda por recorrer para conseguir el mayor y mejor grado de adaptación de nuestros edificios, además de la amplia normativa que lejos de clarificar un criterio homogéneo, hace que los técnicos, y muy particularmente el arquitecto técnico, tengan una gran responsabilidad en conseguir entorno más justos, porque debemos recordar que la accesibilidad y la igualdad de oportunidades para el uso de nuestros edificios es simplemente justo, necesario, y por fin obligatorio, aunque parezca esto último una obviedad por tantos años olvidada.

Es por ello que los técnicos se deben especializar, y para ello no debemos olvidar la normativa que nos ayuda a conseguir, junto con nuestro mejor criterio y el de las administraciones, un entorno más amable con la sociedad, porque no debemos olvidar que los ajustes razonables lo son para todos.

Como conclusión, un buen orden para realizar este apasionante trabajo sería precisamente empezar por el ámbito territorial o administrativo menor para ir avanzando hacia el de mayor rango.

- Análisis del criterio municipal, si lo hubiera, de la interpretación de las medidas a adoptar. Este aspecto es tremendamente trascendental dado que es el ayuntamiento el que concederá la licencia de obra necesaria para implantar los ajustes.
- Medidas establecidas en el ámbito autonómico, sobretudo si efectivamente cuenta con algo distinto al criterio del IEE estatal, dada la última sentencia del Tribunal superior citada.

Es fundamental conocer como ha regulado la comunidad autónoma donde se encuentra el edificio objeto de los ajustes, la manera, modo y método para evaluar los mismos.

- Comparación, ampliación y aplicación de las medidas estatales que bien están recogidas en el documento de apoyo con criterios de flexibilidad para la adecuación efectiva de los edificios y establecimientos existentes a las condiciones básicas de accesibilidad y no discriminación de las personas con discapacidad, el DA DB SUA / 2, en el decreto autonómico de accesibilidad y en el criterio que la comunidad haya establecido para la aplicación del IEE en su apartado de accesibilidad.

La conclusión fundamental de este artículo es precisamente la necesidad de una herramienta que ayude al técnico para prescribir de la mejor manera posible, y del modo más eficiente y funcional para la sociedad, las medidas a tomar para obtener la tan justa accesibilidad universal y la implantación de las más eficaces medidas de mejora y adecuación efectiva de nuestros edificios, el cuaderno técnico de accesibilidad.

### 4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] RDL 7/2015 Real Decreto Legislativo 7/2015, de 30 de octubre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Suelo y Rehabilitación Urbana DB SUA Documento Básico SUA. Seguridad de utilización y accesibilidad DB SI Documento Básico SI. Seguridad en caso de incendio.
- [2] Ley 13/1982, de 7 de abril, de Integración Social de los Minusválidos (LISMI). Gobierno de España, 1982.

- [3] Ley 51/2003, de 2 de diciembre, de Igualdad de Oportunidades, no Discriminación y Accesibilidad Universal de las Personas con Discapacidad (LIONDAU). Gobierno de España, 2003.
- [4] Ley 8/93 de 22 de junio, de la Presidencia de la Comunidad, de promoción de la accesibilidad y supresión de barreras arquitectónicas.
- [5] Decreto 138/98 de 23 de julio, de la Consejería de la Presidencia, por el que se modifican determinadas especificaciones técnicas de la Ley 8/93 de 22 de junio, de promoción de la accesibilidad y supresión de barreras arquitectónicas.
- [6] Decreto 13/2007, de 15 de marzo, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento Técnico de Desarrollo en materia de Promoción de la Accesibilidad y Supresión de Barreras Arquitectónicas.
- [7] Real Decreto 505/2007, de 20 de abril, por el que se aprueban las condiciones básicas de accesibilidad y no discriminación de las personas con discapacidad para el acceso y la utilización de los espacios públicos urbanizados y edificaciones.
- [8] Código Técnico de la Edificación, aprobado según REAL DECRETO 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. Ministerio de VIVIENDA, 2006.
- [9] Real Decreto Legislativo 7/2015, de 30 de octubre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Suelo y Rehabilitación Urbana.
- [10] Instrucción 4/2011 de la Coordinadora General de Urbanismo relativa a los criterios a adoptar en relación con la aplicación del Documento Básico DB-SUA “Seguridad de utilización y accesibilidad” de Código Técnico de la Edificación.
- [11] Sentencia tribunal supremo sobre competencia estatales en el contenido del IEE.

DISCAPNET

[www.discapnet.es](http://www.discapnet.es)

Fundación ONCE, para la Cooperación e Inclusión Social de Personas con Discapacidad.

[www.fundaciononce.es](http://www.fundaciononce.es)

Observatorio Estatal de la Discapacidad.

[www.observatoriodeladiscapacidad.es](http://www.observatoriodeladiscapacidad.es)

## ¿CÓMO HACER SABER A UN USUARIO CUÁN ACCESIBLE ES UN EDIFICIO?

GONZÁLEZ LÓPEZ, PABLO JOSÉ

*Arquitecto Técnico, España*

*E-mail: pablogonzalez5@live.com*

**PALABRAS CLAVE:** Accesibilidad, calificación, edificio, ventajas, progreso.

### RESUMEN

Existe actualmente en España un marco normativo encargado de regular la accesibilidad universal de todas las personas para el acceso y utilización de espacios públicos y edificaciones. Desde la década de los años 80 ésta ha ido evolucionando, buscando que entorno urbano y accesibilidad fuesen siempre de la mano. Gracias a dicha normativa de obligado cumplimiento, el sector de la edificación unido a las nuevas tecnologías se esforzó en crear espacios que fuesen igualitarios para todo tipo de personas. No obstante, aun contando con el marco normativo vigente, sigue llevándose a cabo la realización de nuevas obras que no son accesibles para todos, ya sea por la baja especialización de los profesionales en el ámbito de la accesibilidad o quizás porque la normativa no sea lo suficientemente estricta para garantizar la no discriminación de todas las personas con discapacidad. La idea es generar que la accesibilidad sea un potente músculo que actúe como impulsor de venta en el sector de la construcción. Todo entorno edificatorio está pensado para el uso y disfrute de la población. Cuantas menos barreras arquitectónicas existan en dicho entorno, más confortable será para todo tipo de personas, lo que atraerá a más público.

¿Cómo hacer saber a una persona cuán accesible es un edificio? Mediante una escala de calificación. Una serie graduada de números y letras que van desde el diseño más accesible posible, hasta el más inaccesible, incluyendo en el escalón medio de la tabla aquellos parámetros que son de obligado cumplimiento, y por debajo aquellos entornos que incumplen

algún punto de la normativa. Mediante una simple letra, cualquier persona sería capaz de identificar si el entorno en el que va a interactuar o el edificio al que va a acceder es accesible o no, y cuanto de accesible es.

## 1. INTRODUCCIÓN

Según el Instituto Nacional de Estadística, el número total de personas con discapacidad en España asciende a 3.847.900, traducido a porcentaje, un 8,5% del total de la población española. Como cita el propio organismo en un estudio realizado en el año 2008: *“En uno de cada cinco hogares vive al menos una persona con discapacidad. En un total de 3,3 millones de hogares españoles reside al menos una persona que afirma tener una discapacidad, lo que supone el 20% de los hogares españoles”* [1].

La discapacidad que más afecta a la población española es la movilidad reducida, tanto en hombres como en mujeres. Más de la mitad de personas con discapacidad presenta limitaciones en sus actividades diarias debido a problemas relacionados con la movilidad. Dentro de este grupo de discapacidades, la dificultad en el desplazamiento fuera del hogar afecta a dos de cada tres personas con problemas de movilidad.

Las barreras arquitectónicas presentes en el entorno en el que desarrollamos nuestras actividades diarias, no afectan únicamente a personas que presentan algún tipo de discapacidad. Existen otros dos grandes conjuntos de población que se ven perjudicados por esta problemática:

- Personas de avanzada edad (65 años o más): representan el 10,9% de la población en España.
- Personas que presentan circunstancias transitorias por las cuales se dificulta la realización de diversas actividades: personas con discapacidad transitoria física (1,3% de la población), mujeres embarazadas (0,5% de la población), personas que transportan bultos pesados, carritos de bebés, etc. (17,7% de la población).

La previsión futura estimada a corto plazo es la de un incremento en el número de personas que padecen algún tipo de discapacidad, secundado a su vez por un aumento significativo de la proporción de la población mayor de 65 años, un colectivo que se vería claramente beneficiado de las mejoras relacionadas con la accesibilidad.

Haciendo balance de los datos recogidos anteriormente, se puede deducir claramente que las barreras arquitectónicas son un impedimento para un gran porcentaje de la población. Todos debemos concienciarnos de la esencial importancia de la accesibilidad en nuestro día a día, no solo relacionar este término a las personas con discapacidad, sino a un gran colectivo de personas que no padecen discapacidad alguna. Cuando los entornos son accesibles, son más humanos, fáciles de usar y participativos. La accesibilidad es un bien de primera necesidad de todos los ciudadanos.

## **2. DESARROLLO**

### **2.1 Entorno urbano actual**

A lo largo de los últimos 30 años se han desarrollado numerosas leyes, decretos y planes legislativos enfocados en garantizar que las personas con discapacidad tuviesen una mejor inclusión social, intentar implementar la accesibilidad para todos y a su vez proyectar y ensalzar el diseño universal de productos, bienes y servicios, todo ello focalizado con más empeño en la última década.

Aun contando con un amplio abanico normativo de carácter obligatorio, tanto a nivel nacional como autonómico, en España se continúan realizando obras de nueva construcción que incumplen alguno de los puntos detallados en la normativa. Paralelamente, cabe señalar que las obras realizadas con fecha anterior a la normativa vigente, deberían adecuarse a los términos de accesibilidad ya que para dichas obras también existe un marco reglamentario de obligado cumplimiento.

En términos globales, siuviésemos que valorar el nivel de accesibilidad en los entornos urbanos y en el sector de la edificación, se debería catalogar con una puntuación por debajo del suficiente en la mayoría de los casos, atendiendo a puntos como pueden ser la anchura de las aceras, tipología de los pavimentos, rampas, escaleras, bordillos, desniveles, ascensores accesibles, servicios higiénicos, etc.

### **2.2 Accesibilidad como impulsor de evolución**

En el mundo actual en el que nos encontramos, se continúa errando a la hora de asociar al concepto “accesibilidad” un sin fin de términos negativos. La accesibilidad es vista como un problema a la hora de llevar a cabo su implantación, una dificultad en la fase de diseño de proyecto, o un coste elevado a la hora de realizar reformas.

Resulta equívoco pensar que algo que puede beneficiar directamente a todo tipo de personas puede ser visto como un problema para un determinado sector de la población. La accesibilidad debe transformarse en un requisito indispensable en el día a día de cualquier persona, una herramienta que, muchas veces, sin ser percibida pueda actuar como elemento de ayuda. Todos debemos pensar que su existencia facilita la vida de una parte de la población, y a su vez incrementa la autonomía personal y las capacidades de participación de mucha otra parte de la misma.

En el sector de la edificación, la accesibilidad no está vista como una herramienta de fuerte potencial, sino como un mero trámite que se debe cumplir a causa de la existencia de una normativa de obligado cumplimiento. Sin embargo, la accesibilidad es en sí misma una fuente de atracción, debido a que todas las personas buscan que el entorno en el que conviven sea lo más práctico posible. Espacios amplios de circulación, ausencia de largos tramos de escaleras, utilización de ascensores, etc. La ciudadanía no necesita de lecciones de concienciación, sino de ejemplos claros y palpables de lo que significa la accesibilidad universal. Es decir, entornos urbanos y edificaciones donde todas las personas interactúen de forma igualitaria.

### 2.3 Objetivo

Derivado de la necesidad de garantizar el derecho a la igualdad de condiciones de toda persona afectada por una discapacidad con respecto al resto de ciudadanos, y en este caso en concreto atendiendo especialmente a las personas con movilidad reducida, surge la idea de implantar un nuevo método de ayuda que logre potenciar la promoción de la autonomía personal y la mejora de la interacción entre persona y entorno urbano y edificatorio.

Como se ha comentado anteriormente, el nivel de accesibilidad asociado al sector de la edificación es actualmente bajo. Por este motivo, y ante la relativa lentitud a la hora de llevar a cabo una gran reestructuración que adecúe estos entornos a un nivel más alto, eliminando o reduciendo lo máximo posible las barreras arquitectónicas, deriva la necesidad de que las personas con movilidad reducida convivan lo mejor posible dentro de este entorno.

Ante esta situación de interacción o relación casi obligatoria entre persona con discapacidad y entorno inaccesible, surge una problemática que necesita de una solución. La persona afectada por una discapacidad se encuentra con un muro a través del cual no puede ver, y ante el que solo puede luchar de dos formas, intentando escalarlo por su propia cuenta o reduciendo al mínimo su autonomía personal echando mano de una tercera persona. No obstante, derivado de este inconveniente nace una solución. Si existiese un lenguaje interpretativo, por medio de un código visual, colocado a conciencia para esa persona, donde se reflejase el nivel de accesibilidad existente en ese entorno con el que va a interactuar, el alegórico muro dejaría de ser un impedimento y la persona sería capaz de conocer de primera mano si está preparada para desarrollar sus diversas actividades en dicho entorno, o por el contrario se encuentra con barreras arquitectónicas que dificultan su actividad.

### 2.4 Estructura de la idea

Concepto general de la idea: herramienta de información.

Ámbito en el que se implementa: edificación y urbanismo.

Destinatario: personas que padezcan algún tipo de discapacidad.

Beneficiarios:

- directos: personas con discapacidad.
- indirectos: totalidad de la población.

Instrumentos de apoyo para su desarrollo: normativa (nacional, comunitaria), normas técnicas, guías.

Finalidad: indicar a las personas con discapacidad el nivel de accesibilidad de un lugar o espacio.

Aspiración: implantación de la herramienta en todo el conjunto edificatorio y mejora de la accesibilidad.

### 2.5 Exposición con ejemplo práctico

Localización hipotética: calle peatonal en el centro de una ciudad urbana.

Emplazamiento: local público de uso comercial reformado en el año 2009.

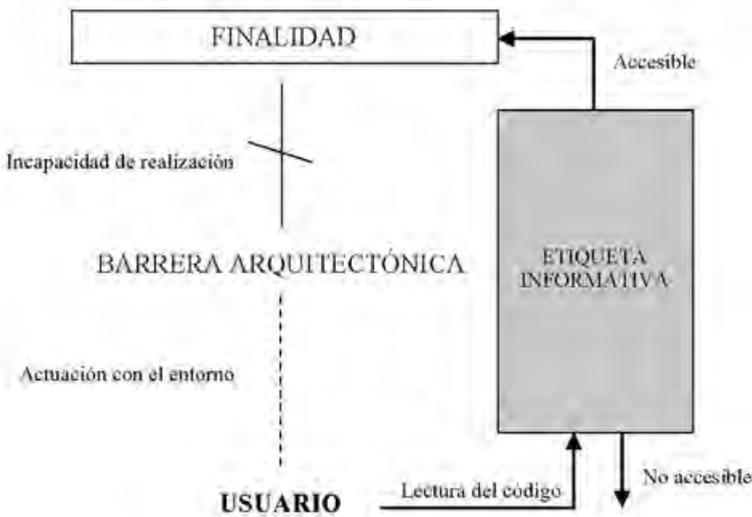
Cliente: persona con movilidad reducida usuaria de silla de ruedas.

Identificación de puntos inaccesibles: lavabo con pedestal en el aseo para uso público; mostrador en zona de atención de altura 1,35m; pasillo con estrechamiento puntual de 0,70m.

En el caso práctico expuesto anteriormente, nos encontramos la siguiente situación. La persona afectada por una discapacidad accede sin ningún impedimento al local comercial, ya que no existen barreras arquitectónicas a la entrada del mismo. No obstante, una vez dentro se encuentra con diversos inconvenientes a la hora de realizar la actividad a la que se disponía.

Las consecuencias de no señalar de antemano las barreras arquitectónicas provocan en la persona con discapacidad una falsa expectativa de máxima autonomía personal, ya que dicha persona se dispone a realizar la actividad de una forma normal cuando realmente el entorno no se lo permite. Derivan de esta circunstancia sentimientos de frustración, incomodidad, inseguridad, imposibilidad de realización, etc. Toda esta situación no llegaría a producirse si la persona con discapacidad tuviese suficiente información antes de comenzar a interactuar con el medio.

**2.6 Esquema identificativo de la herramienta a implementar (etiqueta)**



**2.7 Desglose en grupos edificatorios**

Se establece como referencia principal el marco normativo sobre accesibilidad recogido en el Código Técnico de la Edificación, en particular en el Documento Básico de Seguridad de Utilización y Accesibilidad, y en el Documento de Apoyo DB-SUA / 2.

El Código Técnico de la Edificación (CTE) enuncia una serie de criterios de obligado cumplimiento a nivel estatal. A su vez existen diversas Leyes, Decretos y Órdenes de rango autonómico en los que se desarrollan parámetros relacionados también con la accesibilidad. No obstante, dichas normas no son referenciadas a la hora de establecer los niveles de accesibilidad de la escala de calificación, ya que esto significaría agrupar todo el marco

normativo de las distintas comunidades autónomas en un único reglamento. Por lo tanto, se utilizará únicamente la normativa recogida en el CTE como punto de partida para este prototipo inicial.

Dentro del conjunto edificatorio, se deben diferenciar tres grandes grupos para así poder lograr una calificación más detallada del nivel de accesibilidad de cada establecimiento:

- GRUPO 1. Edificios de uso administrativo (centros de administración pública, bancos, oficinas, etc.).
- GRUPO 2. Edificios de uso comercial (establecimientos comerciales, tiendas de ropa, etc.).
- GRUPO 3. Establecimientos de uso hostelero (bares, cafeterías, restaurantes, discotecas, etc.).

Una vez establecida esta primera clasificación y asociándole a ella las normas sobre accesibilidad recogidas en el CTE, se despliegan una serie de puntos a tener en cuenta en cada uno de los tres grupos.

GRUPO 1: Acceso – Comunicación horizontal – Zona de atención – Aseos – Ascensores – Rampas – Plazas reservadas – Mobiliario.

GRUPO 2: Acceso – Comunicación horizontal – Zona de atención – Aseos – Ascensores – Rampas – Plazas reservadas – Mobiliario – Probadores.

GRUPO 3: Acceso – Comunicación horizontal – Zona de atención – Aseos – Ascensores – Rampas – Plazas reservadas – Mobiliario.

Cada uno de los puntos enumerados anteriormente se encuentran enunciados en el CTE DB SUA. Por lo que todos ellos deben guardar una serie de requisitos para cumplir con la normativa.

## 2.8 Escala de calificación

Identificados los puntos clave en los cuales se enfoca toda la evaluación del nivel de accesibilidad del edificio o entorno, se procede a elaborar una escala catalogada en cuatro categorías. A su vez, dentro de cada categoría se disponen de forma piramidal distintos grados.

Categoría a.

- Grado 1.
- Grado 2.

Categoría b.

- Grado 1.
- Grado 2.

Categoría c.

- Grado 1.
- Grado 2.
- Grado 3.

Categoría d.

- Grado 1.
- Grado 2.
- Grado 3.

Esta clasificación de categorías y grados escala desde el diseño más accesible (categoría a, grado 1), hasta el inaccesible (categoría d, grado 3), incluyendo en un escalón medio de la tabla aquellos parámetros que son de obligado cumplimiento, y por encima nuevos desarrollos que no se encuentran incluidos en el CTE y que mejorarían significativamente el nivel de accesibilidad del edificio. Cada grado de la escala incluirá los puntos de accesibilidad que contiene el grado anterior y a su vez añadirá alguna mejora en más puntos.

## 2.9 Puntos orientativos de cada grado

A la hora de llevar a cabo la evaluación del edificio o establecimiento, no se puede estudiar de igual manera una cafetería que un centro de la administración pública, debido a que cada uno de ellos tiene su tipología propia de mobiliario, diversidad en sus estancias, etc. Por ello, a modo de ejemplo, se describe la escala de calificación perteneciente al Grupo 2 (edificios de uso comercial).

### CATEGORÍA a.

- Grado 1: Accesorios y elementos específicos para personas de movilidad reducida.
- Grado 2: Mobiliario situado a alturas de fácil alcance para personas de movilidad reducida. Totalidad del espacio ausente de rampas.

### CATEGORÍA b.

- Grado 1: Incremento de radios de giro, zonas de tránsito más amplias y diáfanas. Probadores de dimensiones más amplias y con disposición de elementos de apoyo.
- Grado 2: Cumplimiento de nueve puntos (Acceso – Comunicación horizontal – Zona de atención – Aseos – Ascensores – Rampas – Plazas reservadas – Mobiliario – Probadores) según el CTE DB SUA.

### CATEGORÍA c.

- Grado 1: Cumplimiento de nueve puntos (Acceso – Comunicación horizontal – Zona de atención – Aseos – Ascensores – Rampas – Plazas reservadas – Mobiliario – Probadores) según el CTE DA DB SUA / 2, en el cual se establecen una serie de tolerancias admisibles.
- Grado 2: Cumplimiento de cinco puntos (Acceso – Comunicación horizontal – Zona de atención – Aseos – Probadores).
- Grado 3: Cumplimiento de tres puntos (Acceso – Comunicación horizontal – Zona de atención).

### CATEGORÍA d.

- Grado 1: Cumplimiento de dos puntos (Acceso – Comunicación horizontal).
- Grado 2: Cumplimiento de un punto (Acceso).
- Grado 3: Incumplimiento de todos los puntos.

## 2.10 Ejemplo identificativo a modo de práctica

- Edificio a estudiar: local destinado a la venta de ropa situado en bajo comercial.
- Identificación de puntos:

1. Acceso: puertas correderas automáticas con anchura libre 1,60 m. Suelo interior situado a la misma cota que acera exterior. No existen desniveles.
  2. Comunicación horizontal: no existen estrechamientos puntuales. Ancho libre de paso siempre superior a 1,20 m. Espacio para giro de diámetro mayor de 1,50 m en vestíbulo de entrada.
  3. Zona de atención: mostrador con altura 1,25 m. y sin espacio libre inferior. Espacio de giro frente a mostrador de diámetro mayor de 1,50 m.
  4. Servicios higiénicos: aseo adaptado a personas de movilidad reducida según CTE DB SUA.
  5. Ascensores: local de planta baja. Inexistencia de ascensor.
  6. Rampas: local a cota 0,00 m en toda su superficie.
  7. Plazas reservadas: no aplicable a este caso.
  8. Mobiliario: mayoría de estanterías situadas a altura inaccesible para personas usuarias de silla de ruedas.
  9. Probadores: existencia de un probador con espacio para giro de diámetro 1,50 m. Ausencia de barras para apoyo. No existe asiento.
- Evaluación: el local comercial cumple con los puntos 1, 2 y 4 según el CTE DB SUA. A su vez también cumple los puntos 5, 6 y 7 como consecuencia de su tipología arquitectónica. No obstante, incumple los puntos 3, 8 y 9. Con estas características obtendría la calificación de d1 (categoría d, grado 1). Cabe señalar que, en este caso, una simple modificación en uno de los puntos cambiaría significativamente el nivel del local en la escala. Rebajando el mostrador a una altura de 0,85 m y dotándolo de espacio libre inferior, cumpliría las características necesarias para obtener la calificación de b2 (categoría b, grado 2).

### 3. RESULTADOS

La implantación de esta herramienta en todo el marco edificatorio, tanto en el sector público como en el privado, debe hacerse progresivamente. El plan de desarrollo de la herramienta es un camino complejo que requiere de la concienciación de todos los organismos públicos estatales y autonómicos, y a su vez precisa que tanto grandes como pequeñas empresas vean en la accesibilidad un campo de atracción de nuevos clientes a sus establecimientos.

A partir de su implementación en los diversos sectores, edificaciones y locales comerciales, se obtendrán resultados inmediatos satisfactorios para toda la población. Por un lado, están las personas que lideran la cima de la pirámide, que son las personas con discapacidad. Gracias a esta herramienta verán incrementada su autonomía personal de una manera exponencial. Por otro lado, se encuentran la administración pública, la cual podrá dotar de un mejor servicio a todos los usuarios de sus instalaciones. Y por último el empresario, el cual entrará en una búsqueda continua de mejora del nivel de accesibilidad, ya que deberá competir por obtener el rango máximo en el grado de accesibilidad para así poder atraer más beneficios en forma de clientes a sus negocios.

#### 4. CONCLUSIONES

En la sociedad actual se han ido dando pasos agigantados hacia un mundo modernista gracias a la aparición de nuevas tecnologías que han posibilitado la incorporación de grandes mejoras a nuestra vida cotidiana. En el ámbito de la accesibilidad se han logrado implantar nuevos mecanismos que mejoran la autonomía de personas con discapacidad, y otras muchas herramientas de eliminación de barreras arquitectónicas presentes en todos los sectores. El marco normativo relativo a la accesibilidad es cada vez más detallado y la concienciación de todas las personas hacia un mundo igualitario es cada vez mayor.

No obstante, no podemos evadirnos de la realidad existente a pie de calle. Las múltiples barreras arquitectónicas siguen conviviendo con nosotros día a día, y las mejoras en accesibilidad, aunque percibibles, avanzan a un ritmo muy lento. De acuerdo con un estudio recogido en el Plan Nacional de Accesibilidad, *“el estado de la edificación, tanto en viviendas como en edificios de uso público, muestra alguna barrera en el 100% de los edificios estudiados”* [2]. Por ello debemos seguir aunando fuerzas sin descanso para conseguir erradicar dichas barreras de nuestra sociedad por completo.

Como instrumento de mejora y de ayuda a personas con discapacidad, nace la idea de implantación de esta herramienta reguladora de los niveles de accesibilidad de todo entorno urbano o edificación. Con ello se busca lograr la consecución de dos grandes cometidos. Su cometido inicial, la aportación de nuevos datos de necesario conocimiento para el desarrollo de actividades diarias de estas personas. Su cometido final, poder alcanzar la plena definición del término accesibilidad universal.

Entorno/local/edificio - Barreras arquitectónicas - Herramienta calificativa de nivel de accesibilidad - Personas con discapacidad - Identificación de problemas futuros - **Plenitud de autonomía personal.**

#### 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] MINISTERIO DE SANIDAD, SERVICIOS SOCIALES E IGUALDAD, << 2006-2016: 10 años de la Convención Internacional sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad – Balance de su aplicación en España >>, Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad.
- [2] MINISTERIO DE TRABAJO Y ASUNTOS SOCIALES, << I Plan Nacional de Accesibilidad 2004 – 2012 >>, Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, Secretaría de Estado de Servicios Sociales, Familia y Discapacidad, Instituto de Migraciones y Servicios Sociales, 2004.

## FILOSOFÍA Y PATOLOGÍA: BASE TEÓRICA DE LA PATOLOGÍA DE LA EDIFICACIÓN

GINER JUAN, FRANCISCO JAVIER

*C&F, Ingeniería de la Edificación y Patología, S.L., Málaga, España*

*E-mail: giju1462@coaat.es, Web: www.ceyefe.com*

**PALABRAS CLAVE:** Proceso patológico; observación; razonamiento; método.

### RESUMEN

El establecimiento de un modelo teórico sobre la patología de la edificación, es una cuestión sobre la cual se ha escrito poco, al contrario de lo que sucede con los modelos prácticos.

El planteamiento teórico de una metodología para el conocimiento práctico, facilitará el estudio del proceso patológico y la consecución de un diagnóstico acertado.

La base teórica de la metodología que se propone para el estudio de la patología de la edificación, se extrae de conceptos que se pierden en la noche de los tiempos y son recogidos a lo largo de la historia.

El propio concepto de patología de la edificación se relaciona con la pérdida los “requisitos básicos” que ya se buscaba conseguir en los edificios en base a la tríada vitruviana, propuesta hace más de dos mil años.

Principios básicos aplicados a la metodología científica actual, como la observación y el razonamiento, llegan hasta los procedimientos actuales desde Aristóteles y resultan esenciales para el estudio del proceso patológico.

Se establece un modelo teórico basado en la filosofía. Lejos del anacronismo, son conceptos plenamente válidos para la investigación patológica que sostienen un modelo teórico basado en tres principios fundamentales: la observación, el análisis y la síntesis.

## 1. INTRODUCCIÓN

Normas. Homologación. Control. Calidad. Directivas CEE. I+D+I. DITE. ITE. IEE. OCT. OCA. ECC. CTE. DDBB..., palabras y siglas que utilizamos con frecuencia, que se imponen en nuestro quehacer cotidiano y que a su vez proceden y evolucionan, cambian, serán sustituidas o simplemente suprimidas con el paso del tiempo y el cambio de las exigencias políticas, económicas, sociales y tecnológicas... Edificación 4.0. Big Data. Metodología LEAN. BIM. IoT,...

Diríase que del “siglo de las siglas” damasoniano pasamos a la modernidad líquida de Bauman: la posmodernidad.

Con todo ello, lo que realmente subyace y da sentido al proceso constructivo es el conocimiento de aquellos materiales y sistemas que, en definitiva, constituyen el objeto final de nuestra profesión, de nuestro trabajo: el edificio. El edificio habitable, el edificio seguro, el edificio funcional: el edificio del siglo XXI, el edificio LOE.

Cuando el objeto final de nuestro trabajo, el edificio, no se consigue de forma satisfactoria, hablamos de patología.

Qué duda cabe que el conocimiento teórico favorece y permite la evolución del conocimiento práctico, pero en el campo de la patología de la edificación resulta más frecuente encontrar referencias a modelos prácticos (que prácticamente se remiten al procedimiento de recogida de datos, al establecimiento de ejemplos comparativos y a la clasificación de posibles causas) que a modelos que permitan comprender la esencia de un estudio patológico: “Difícilmente podemos hacer un diagnóstico sin entender el sentido de lo que estamos haciendo” [1].

Planteándonos un simple (e imprescindible) “¿por qué?”, abordamos la apasionante labor de desentrañar la causa, y no cabe más que utilizar una técnica metódica, científica, sobre la cual en contadísimas ocasiones se les habla/enseña a los “ingenieros de edificación”, aunque sus conceptos se pierdan en la noche de los tiempos.

Las normalizadas y exigentes expectativas de calidad del siglo XXI, no son más que la adaptación lógica de conceptos antiquísimos no por ello hoy obsoletos. Todo lo contrario. Los requisitos básicos exigibles a toda edificación LOE del siglo XXI, no son tan dispares a los propuestos hace dos mil años en la tríada vitruviana.

La metodología a seguir durante un estudio patológico no difiere de la metodología científica basada actualmente en principios básicos como la observación y el razonamiento, hoy abrumados por las exigencias del proceso constructivo pero indiscutiblemente esenciales y que llegan hasta los procedimientos actuales desde Aristóteles, pasando por la filosofía cartesiana, la investigación empirista o la imparcialidad en el diagnóstico positivista.

El estudio del proceso patológico requiere de un método científico basado en la observación, la investigación y el conocimiento, acorde a las exigencias del siglo XXI.

Procede de la noche de los tiempos, desde que el hombre se detuvo...a pensar.

## 2. COMUNICACIÓN

### 2.1 Hacia un concepto de la patología de la edificación.

La patología de la edificación es la ciencia que estudia las alteraciones o anomalías dañosas, más o menos graves, que se manifiestan en los elementos constructivos del edificio

después de su ejecución mediante un conjunto de síntomas característicos que afectan a su durabilidad y que ponen de manifiesto la existencia de un fenómeno natural que se desarrolla en fases sucesivas (proceso patológico).

El edificio terminado, habitable, seguro y funcional es el objeto de la edificación del siglo XXI. La LOE con la inclusión de los requisitos básicos que le son exigibles a todo edificio (habitabilidad, seguridad, funcionalidad) nos lo recuerda, requisitos que aun siendo actuales, no son novedosos.

Podría decirse que cuando un edificio manifiesta algún síntoma o lesión estamos ante un edificio que no satisface los requisitos básicos exigidos en la LOE si bien, debe diferenciarse entre patología y un mero incumplimiento normativo, resultando que el no cumplimiento de las exigencias básicas recogidas en los DDBB del CTE no supone, necesariamente, la presencia de un daño en el edificio.

De lo anterior se desprende que cabe distinguir entre un concepto “prestacional” de la patología en cuanto supone la pérdida de prestaciones que le son exigidas al edificio en base al cumplimiento normativo de sus requisitos y exigencias básicas y un concepto “fenomenológico” de la patología basada en el estudio de los síntomas y lesiones que se manifiestan en el edificio y que ponen de manifiesto la existencia de un proceso patológico.

Así, por ejemplo, un edificio que no cumpla con las condiciones de accesibilidad en base a los requisitos de funcionalidad exigibles<sup>1</sup>, realmente no será “funcional” y no ofrecerá las debidas prestaciones (concepto “prestacional” de la patología bajo el cual, ciertamente, se recogen numerosas reclamaciones), pero este problema no encajaría dentro del concepto “fenomenológico” de la patología al no existir un proceso patológico.

Por ello, desde el punto de vista fenomenológico de la patología, en lugar de la tríada de requisitos básicos definidas en la LOE como aspectos inequívocamente indicativos de la salud de un edificio cabe considerar como más ilustrativa, o interesada si así se prefiere, la clásica tríada vitruviana [2] buscada en todos los edificios: “firmitas”, “utilitas”, “venustas” (firmeza, utilidad, belleza); tríada que se refiere al conjunto de misiones constructivas o “requisitos básicos” que ya se postulaba conseguir en los edificios desde hace más de dos mil años y que realmente engloban, conceptualmente, a los requisitos actuales.

De hecho puede establecerse un claro paralelismo entre los requisitos básicos exigibles actualmente y los buscados en la clásica tríada vitruviana [3].

Así, la “firmitas” se refiere a los aspectos resistentes y de estabilidad que todo elemento constructivo requiere para ejercer su función, ya se trate de elementos estructurales que transmiten cargas o que las soportan o ya se trate de elementos de cerramiento o de revestimiento, que necesitan de su propia estabilidad para evitar posibles deformaciones o desprendimientos que les impida cumplir su misión; aspectos prácticamente comparables a los requisitos de seguridad LOE y a la exigencia básica de seguridad estructural del vigente Código Técnico y bajo cuya insuficiencia se podrían incluir las anomalías causadas por deformaciones de suelos, cimentaciones, estructuras, desprendimientos de elementos de fachada...

La “utilitas” se refiere a aquellos elementos constructivos que garantizan la habitabilidad del edificio, como el aislamiento contra las inclemencias del tiempo, el aislamiento térmico y acústico, ventilación, iluminación,..., aspectos igualmente comparables a los

---

<sup>1</sup> Los requisitos básicos relativos a la funcionalidad y los aspectos funcionales de los elementos constructivos se rigen por su normativa específica, salvo los vinculados a la accesibilidad de personas con movilidad o comunicación reducidas, que se desarrollan en el CTE.

actuales requisitos LOE y a las exigencias de salubridad, bajo cuyo incumplimiento podrían incluirse las anomalías causadas por defectos de aislamiento, de impermeabilización, de estanqueidad, humedades,...

Finalmente la “venustas” considera todos aquellos aspectos relacionados con la estética del edificio y de cada uno de sus elementos componentes, los colores, formas y texturas de sus materiales de acabado tanto exteriores como interiores (donde podrían incluirse las anomalías o defectos de acabado o terminación).

Incluso conceptos relativamente novedosos como la durabilidad, tienen cabida en la interrelación lógica de los aspectos contemplados en la triada vitruviana, tanto en cuanto la pérdida de uno de ellos conlleva, como consecuencia, un determinado grado de vulnerabilidad del edificio con la consiguiente manifestación de procesos patológicos.

Así puede definirse la durabilidad [4] de un elemento constructivo como la capacidad de éste para mantener sin alteraciones, a lo largo de la vida útil del edificio, sus características físicas, químicas y mecánicas, de forma que asegure la correcta funcionalidad constructiva para la que fue construido (función estructural, de cerramiento, de cubierta, de separación, de aislamiento, de acabado, etc.).

El concepto de durabilidad engloba, en general, los ya referidos de firmeza, utilidad y belleza e igualmente, todos aquellos requisitos básicos exigidos en la LOE de carácter eminentemente constructivo (no normativo).

En definitiva, los requisitos básicos que hoy se convierten en exigencias básicas para los edificios, proceden de la evolución, lógica, de los propuestos hace dos mil años en la triada vitruviana, los cuales, conceptualmente, continúan de actualidad.

La alteración de tales requisitos (firmitas, utilitas, venustas), dentro del ámbito constructivo, define y nos introduce, en el campo de la patología de la edificación, en el estudio del proceso patológico.

## 2.2 Principios teóricos de la patología: la filosofía

La patología constituye un punto de inflexión, un paréntesis que necesariamente ha de constituir una reflexión que nos hace reconsiderar, de forma retrospectiva, el proceso constructivo seguido en la edificación afectada hasta descubrir la causa y poder emitir, finalmente, un diagnóstico acertado. En definitiva, se trata de conocer el proceso patológico y su etiología<sup>2</sup> (sus causas).

El inicio del estudio del proceso patológico parte de una sencilla pero imprescindible pregunta: “¿Qué pasa aquí?” [5]. Y termina con el diagnóstico. Entre uno y otro concepto se desarrolla el proceso de investigación y de entendimiento de lo ocurrido. La no comprensión de este proceso, traerá consigo la emisión de erróneos diagnósticos y consecuentemente, propuestas de actuación desacertadas.

A partir de la pregunta planteada, nos disponemos a realizar un estudio patológico: un trabajo en el cual, su autor, estudia y explica lo acontecido, para lo cual es necesario investigar (realizar actividades intelectuales y experimentales de modo sistemático con el propósito de aumentar los conocimientos sobre una determinada materia), sumiéndose en la labor de desentrañar un por qué, una causa, en la que no cabe otra cosa que, aunque sea de forma intuitiva, utilizar esa ciencia que es la patología de la edificación.

Es ciencia porque ésta es el conjunto de conocimientos obtenidos mediante la observa-

<sup>2</sup> Etiología: estudio sobre las causas de las cosas. Estudio de las causas del mal que aqueja al edificio.

ción y el razonamiento, sistemáticamente estructurados y de los que se deducen principios y causas. Un estudio patológico ha de realizarse igualmente a partir de la observación y el razonamiento, de forma tal que se obtenga un conjunto de conocimientos, los cuales, sistemáticamente estructurados, permitan determinar la causa del mal que aqueja al edificio y emitir un diagnóstico correcto.

Nótese que dos principios forman parte fundamental y son la base de un estudio patológico: la observación y el razonamiento (sin normas, sin acrónimos,...).

Efectivamente, el primer estadio del conocimiento que se adquiere sobre la existencia de un daño en un edificio, lo adquirimos mediante la observación de los síntomas y lesiones<sup>3</sup>, aspecto fundamental en la inspección del edificio dañado y a partir del cual se podrá plantear una hipótesis a comprobar (o primer principio causal o etiológico) y se encaminará el proceso de investigación acerca del proceso patológico ocurrido. Si la observación no es lo suficientemente precisa, o acertada en su enfoque, el proceso de investigación se iniciará desde un punto de partida (una hipótesis) errónea.

Partimos por lo tanto de la observación como primera fuente de información o punto de partida de la investigación patológica, del entendimiento del proceso patológico. Y esto (lo que hoy podríamos entender como la “toma de datos”), no es nuevo.

Aristóteles ya en el siglo IV a. C. proclamaba que no hay nada en nuestra mente que no haya estado antes en nuestra percepción; siendo la vista el principal sentido mediante el cual diferenciamos las cosas.

El conocimiento parte de la observación, siendo el último estadio del conocimiento la explicación de las causas de lo que observamos, premisa plenamente acorde con el razonamiento deductivo (de lo general a lo particular).

La influencia de Aristóteles en la ciencia moderna se puede apreciar en el primer paso o estadio del método científico que racionalistas y empiristas adoptarían en siglos venideros: la observación.

Así, las corrientes filosóficas predominantes en los siglos XVII y XVIII, tendentes al establecimiento de una metodología científica que nos permita entender y comprender la realidad de los fenómenos que observamos, parten de ese primer principio aristotélico del estudio de las cosas basado en la observación.

Si bien la corriente racionalista (Descartes, Spinoza, Leibniz,...) parte de la observación sensible para alcanzar el conocimiento de las causas, el primer dogma que postula es la desconfianza que, de partida, hay que establecer sobre aquello que observamos, sobre lo que se muestra ante nuestros ojos. Nunca mejor aplicado el célebre aforismo epistemológico (sobre el conocimiento) aristotélico según el cual la mente humana nace “tamquam tabula rasa in qua nihil est scriptum”.

Según Descartes, dudar sobre lo que vemos es el principio de la investigación, si bien se trata de una duda metódica que no escéptica: “No es que con esto imitara a los escépticos, que dudan por sólo dudar y fingen ser siempre irresolutos; porque, al contrario, todo mi propósito no tendía a más que a afianzarme y a rechazar la tierra movediza y la arena para encontrar la roca o la arcilla” [6, p.45], pues antes de aceptar lo que vemos habremos de someterlo al juicio del razonamiento, el buen sentido, la razón, cualidad innata y naturalmente igual en todos los hombres.

<sup>3</sup> Cabe diferenciar entre síntoma y lesión. El síntoma es una señal, un indicio, que no implica la existencia de una destrucción física, observable y medible, pero permite conocer la existencia de algo no percibido. La lesión es indicativa de la existencia de un daño, destrucción o deterioro físico, observable y medible. Una lesión puede ser un síntoma pero un síntoma no es una lesión.

Dudar de todo (de forma radical, si bien provisional, ya que éste es el punto de partida del método cartesiano), sin dar por hecho o por sabido lo que pueda deducirse de lo que observamos, al objeto de evitar errores de inicio y aceptar por principio otros argumentos de autoridad ya preestablecidos.

Lo único que se debe tener claro es que estamos en el edificio para hacer nuestro trabajo “cogito ergo sum”. Observar y realizar una buena toma de datos, sin emitir o aceptar juicios precipitados, recogiendo la información de lo que percibimos (síntomas y lesiones), priorizándola o postergándola, y siendo conscientes de que no todos los daños pueden tener relación entre sí, o que unos pueden ser derivados de otros que tuvieron una causa primaria, e incluso observando la ausencia de síntomas y daños en determinadas zonas del edificio “que no siempre aparecen con evidencia” [7] y hasta siendo conscientes de “lo que no vemos”, haciendo bueno el aforismo del médico y biólogo francés Claude Bernard (s. XIX), “Quien no sabe lo que busca no reconoce lo que encuentra”, o el principio de Leonardo de “saper vedere” (saber ver).

Según Descartes, la disparidad de criterios y opiniones (propia y frecuente en los informes de patología y sobre todo, en el ámbito forense), no proviene de que unos sean más razonables que otros, sino de la consideración de cosas distintas a la hora de emitir su juicio o no aplicar bien el buen sentido, el sentido común: “El buen sentido es la cosa mejor repartida del mundo, pues todos piensan hallarse tan bien provistos de él que aún los más difíciles de contentar en cualquier cosa, no suelen desear más del que tienen” [6, p.17].

Por ello, Descartes, propone un método, sobre el cual se contentaba: “Pero lo que más me satisfacía de este método, era que, con él, estaba seguro de utilizar mi razón en todo, ya que no perfectamente, al menos lo mejor que yo podía; además de que practicándolo sentía que paulatinamente mi espíritu se acostumbraba a concebir más nítida y distintamente sus objetos,...” [6, pp. 36-37].

Las reglas de la metodología teórica a seguir que propone Descartes (en su Discurso del Método), siguen un modelo teórico de razonamiento deductivo-inductivo y son las siguientes:

1. Regla de la Evidencia: evitar la precipitación al extraer conclusiones de los fenómenos que observamos, dudar de todo de forma que sólo se acepte como evidente aquello que resulte perfectamente claro, aquello de lo que no se pueda dudar. El resto será objeto de comprobaciones o pruebas (mediciones, toma de muestras, catas, ensayos,...).

Descartes expone en su método razones extrínsecas para proponer la duda (otras opiniones, aspectos temporales, diferencias sensibles en la naturaleza de los elementos afectados,...) o intrínsecas (no podemos apreciar bien el fenómeno manifestado desde nuestra ubicación o desconocemos la naturaleza o sistema compositivo del elemento afectado, por ejemplo).

2. Regla del Análisis: De lo general a lo particular (razonamiento deductivo). Dividir o separar cada una de las manifestaciones observadas de forma tal que, de forma individual, aislada, podamos interpretar su manifestación (descomponer los tipos sintomáticos que se nos presentan).

3. Regla de la Síntesis: De lo particular a lo general (razonamiento inductivo). Toda vez realizado el análisis agrupar las manifestaciones individuales de forma tal que gradualmente, lleguen a mostrarse como un conjunto coherente y consecuente, conociendo las posibles relaciones que pudieran existir entre ellas y que justifiquen razonadamente la realidad general observada.

4. Regla de las comprobaciones: realizar las comprobaciones que fueran necesarias para que todas y cada una de las manifestaciones que observamos no quede sin explicación, ni de forma individual ni en su conjunto.

La corriente empirista (Locke, Hume,...) retoma el punto de partida aristotélico de la teoría del conocimiento (la observación de la experiencia sensible) y el principio de “tabula rasa” y postula que la causa de un fenómeno no puede descubrirse más que mediante la experiencia, mediante la observación sensible y la experimentación.

Si bien aboga por la experimentación y demostración de lo que observamos, tampoco plantea como meta la obtención del conocimiento de la causa que lo motiva o el procedimiento a seguir, dejando un amplio margen al azar de lo que se pudiera demostrar y confiando todo el protagonismo a la investigación en sí misma. Su contribución al desarrollo del método científico es su legado a las corrientes positivistas del siglo XIX.

Herederos de los avances científicos y técnicos de la Revolución Industrial, los positivistas creían que la ciencia era la base de la prosperidad de la Humanidad [8].

Como método científico, el positivismo, heredero del empirismo, establece unas reglas básicas, (encaminadas principalmente a las ciencias experimentales) que atribuyen predominancia a la experimentación pura frente al racionalismo:

1. La observación es la base de todo conocimiento. Pero lo que puede conocerse no es la esencia de las cosas, sino las relaciones o conexiones entre los fenómenos observados. Esto lleva al estudio de los fenómenos, renunciando a descubrir su origen o destino último (renuncia etiológica y metafísica).

2. La neutralidad y la objetividad serán aspiraciones o pretensiones centrales del positivismo.

3. La inducción (el razonamiento inductivo) se establece como el método privilegiado por el positivismo: partir de la observación sistemática y reiterada, y a través de la comparación y clasificación, llegar a conclusiones generales que permitan establecer leyes (de lo particular a lo general). Esto implica, también, que la mera acumulación de datos no es suficiente, sino que se requiere que los mismos sean interpretados y relacionados entre sí.

El estudio de las causas de los fenómenos que nos rodean (etiología) se basa en la teoría del conocimiento científico de los mismos (epistemología).

La filosofía, a lo largo de la historia, se ha ocupado de establecer los conceptos que constituyen la base teórica del proceder científico. La observación, la experimentación, el estudio razonado y coherente, facilitarán el proceso de investigación y la obtención de un diagnóstico acertado.

La adopción de un método científico siempre será una herramienta útil, no sólo para realizar un estudio patológico, sino para ayudarnos en nuestra forma de pensar a la hora de acometerlo y sentir, al aplicarlo (como sentía Descartes), que poco a poco nuestro espíritu se acostumbra a concebir los objetivos con mayor claridad y distinción.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De todo lo anterior, puede extraerse un referente de modelo teórico de lo que debe ser el estudio del proceso patológico, basado en tres pilares fundamentales dirigidos por el razonamiento: la observación, el análisis y la síntesis.

Resulta fundamental entender que el proceso patológico, se desarrolla en fases sucesivas y, partiendo de una causa desencadenante, evoluciona hasta manifestarse en forma

dañosa sobre los elementos constructivos. El estudio de este proceso se ha de enfocar en sentido inverso, es decir, desde la observación hacia la causa.

La observación (nuestra toma de datos) de las lesiones y síntomas que se presenten en los elementos constructivos del edificio, adquiere por lo tanto una importancia decisiva, pues de ella se establecerá la hipótesis sobre la cual investigar.

Aplicando un razonamiento deductivo (de lo general a lo particular), la observación conlleva (bajo la premisa del “saber ver”), la localización de las manifestaciones dañosas, su grado y tipología, así como también la observación de aquellos otros elementos que no manifiestan daño alguno; admitir no solo las manifestaciones claras y evidentes, sino también aquellas otras que no lo resulten (bien por su localización, tipología, o incluso por la ausencia de manifestación) las cuales serán objeto de pruebas y comprobaciones.

La información obtenida, complementada con la información externa que pudiera obtenerse de otras fuentes acerca de la evolución temporal de los daños y de los sistemas constructivos afectados (anamnesis), permitirá obtener una visión conjunta de la problemática que aqueja al edificio y el establecimiento de una hipótesis de partida que habrá que comprobar y será objeto de nuestra investigación mediante el análisis y síntesis de la información obtenida.

El análisis individual de los datos y de la información obtenida, dirigido por la razón y el buen sentido, extraerá, en base a nuestros conocimientos, la información que todos y cada uno de los síntomas y lesiones pudieran contener en sí mismos, haciéndonos comprender el motivo o fenómeno que ocasiona tales manifestaciones. Nos ofrecerá premisas verdaderas que formarán parte de nuestro estudio o bien nos decidirá hacia la continuidad de la investigación en busca de más u otros datos que nos permitan establecer la certeza de lo analizado (ensayos de laboratorio, catas,...) de forma tal que cualquiera de las manifestaciones observadas no quede sin explicación.

En base a los resultados obtenidos del análisis realizado sobre cada uno de los datos por separado (síntomas y lesiones), se procederá a la síntesis o agrupación de los mismos, de forma tal que, si resultan coherentes entre sí y no se dan contradicciones entre las explicaciones que justifican cada una de las manifestaciones observadas por separado, podrá explicarse (ahora de lo particular a lo general) el proceso patológico ocurrido, lo que supone el conocimiento y el establecimiento de la causa del mal que aqueja al edificio en base al diagnóstico.

El diagnóstico así emitido se basa en una práctica metódica, en conocimientos técnicos y científicos y en la investigación realizada, resultando ser una opinión razonada, coherente, imparcial y objetiva que procede de la observación de los síntomas y lesiones que se manifiestan en el edificio, del análisis de los mismos y de la síntesis o composición de toda la información obtenida que justifica la comprensión de un todo coherente.

#### **4. CONCLUSIONES**

La base teórica de la metodología para el estudio de la patología de la edificación, procede de conceptos tan antiguos como el hombre y son recogidos a lo largo de la historia de la filosofía.

Aunque éstos no se enseñen o se ignoren y en buena medida se corra el riesgo de olvidarlos en la era digital que vivimos, plena de siglas, de altas exigencias normativas y de productividad en la que se proclama la edificación 4.0., ésta, la filosofía, constituye la base

teórica de la patología de la edificación.

Estableciendo una comparación interesada, el propio concepto de patología de la edificación puede definirse como la pérdida de las misiones constructivas o “requisitos básicos” que se buscaba conseguir en los edificios en base a la triada vitruviana propuesta hace más de dos mil años y que realmente engloban, conceptualmente, a los requisitos de la vigente LOE.

Conceptos aristotélicos como la observación y el razonamiento deductivo, aceptados y desarrollados por Leonardo con su “saper vedere” y por Descartes con su método y su teoría escéptica, así como las premisas empiristas y positivistas relativas a la experimentación, la investigación, el razonamiento inductivo y la objetividad, resultan plenamente válidas en la actualidad y sostienen un modelo teórico de la patología de la edificación que desarrolla un método técnico-científico a seguir durante el estudio del proceso patológico basado en principios tan elementales, pero tan esenciales, como la observación y el razonamiento.

Puede extraerse de la filosofía un referente de modelo teórico de lo que debe ser el estudio del proceso patológico (que sobre papel será nuestro informe), basado en tres pilares fundamentales: la observación, el análisis y la síntesis.

Dirigidos por el razonamiento y apoyados por la experimentación que pudiera despejar cualquier duda o incoherencia durante el proceso de investigación, conducirán la investigación del proceso patológico hasta el conocimiento de la causa y, en consecuencia, establecer como conclusión un diagnóstico acertado, muy lejos de un arbitrario y apresurado “leal saber y entender” y sin olvidar algo que cada vez, tal vez por supuesto, se echa de menos con frecuencia: el sentido común.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Lasheras, F. *Sobre el concepto de causa, en patología de la construcción*. En 4º Congreso de patología y rehabilitación de edificios. PATORREB 2012. PATOLOGÍA 4. Técnicas de diagnosis. Santiago de Compostela.
- [2] Vitruvio, Marco L. (s.f.). *Los diez libros de arquitectura*. (A. Blánquez). Barcelona: Iberia (2007).
- [3] Lasheras, F. ¿Dónde están los fallos de los edificios? Una lectura “interesada” del Código Técnico de la Edificación (CTE). En 4º Congreso de patología y rehabilitación de edificios. PATORREB 2012. PATOLOGÍA 4. Técnicas de diagnosis. Santiago de Compostela.
- [4] J. Monjo Carrió. *Durabilidad vs. Vulnerabilidad*. Informes de la Construcción Vol. 59, 507, 43-58, julio-septiembre 2007. ISSN: 0020-0883.
- [5] Bendala Álvarez, F (2012): ¿Qué pasa aquí? Manual práctico para la investigación y diagnóstico de las lesiones de la edificación. Madrid, España: LA LEY.
- [6] Descartes, R. (1637). *El discurso del método*. (F. Alonso). Madrid: Akal (2009).
- [7] *El proceso metodológico en el estudio de la patología de la construcción*. E. Herrera Cardenete et al. Universidad de Granada. (2016). ISSN 1012-1587.  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5891204>
- [8] Comte, A. (1830). *Curso de filosofía positiva (lecciones 1 y 2)*. *Discurso sobre el espíritu positivo*. (J. M. Revuelta, C. Berges). Barcelona: Orbis (1985).

**ESTUDIO TÉCNICO DE LAS RESTAURACIONES REALIZADAS POR EL  
ARQUITECTO MANUEL LORENTE JUNQUERA (1940 -1970). MATERIALES  
TÉCNICAS Y PATOLOGÍAS DERIVADAS**

RUIZ BAZÁN, IRENE

*Politecnico de Turín, Turín, Italia*

*E-mail: irene.ruizbazan@polito.it, Web: <http://www.dad.polito.it>*

**PALABRAS CLAVE:** RESTAURACIÓN MONUMENTAL, HISTORIA DE LA RESTAURACIÓN, MANUEL LORENTE JUNQUERA, TÉCNICAS CONSTRUCTIVAS.

**RESUMEN**

La historia reciente de las restauraciones realizadas en España es una asignatura pendiente que se está abordando desde diferentes perspectivas entre las que cabe destacar el actual Proyecto de Investigación del Plan Nacional de I+D+i titulados *Los Arquitectos Restauradores en la España del Franquismo. De la continuidad de la Ley de 1933 a la recepción de la teoría europea*, ref. HAR2015-68109-P, financiado por el Ministerio Economía y Competitividad y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) de la Comisión Europea, cuyo objetivo es la investigación de los procesos de restauración y reconstrucción desarrollados en España durante el franquismo y los dos proyectos de I+D+i precedentes: Restauración y reconstrucción monumental en España (1938-1958). Las Direcciones Generales de Bellas Artes y de Regiones Devastadas, ref. HUM2007-62699, y *Restauración monumental y desarrollismo en España 1959-1975*, ref. HAR2011-23918, financiados por el Fondo FEDER y los ministerios de Ciencia e Innovación, y de Economía y Competitividad respectivamente.

De una parte, para los análisis realizados en estos proyectos es crucial el estudio histórico de las decisiones de intervención que permiten establecer una adecuada crítica de

autenticidad de los monumentos en los que se intervino durante esta época (en muchas ocasiones totalmente transformados durante sus restauraciones). No menos importante para su futura conservación resulta la investigación de las técnicas constructivas empleadas en estas operaciones, los materiales utilizados, su situación actual y las posibles patologías derivadas. En esta comunicación se pretende presentar un panorama de las técnicas y materiales empleados por el arquitecto Manuel Lorente Junquera, arquitecto Jefe de la Tercera Zona (Aragón, País Vasco y la Rioja) durante su periodo de actividad como arquitecto restaurador, de 1940 a 1970, en el que intervino en más de 80 monumentos, recogiendo además el estado actual de estas intervenciones y su problemática derivada desde un punto de vista constructivo.

## 1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo se encuadra en los estudios y la metodología desarrollados a nivel nacional en los proyectos de I+D+i mencionados anteriormente [1]. Todos ellos, de proyección internacional ya que también participan universidades de Italia y Portugal, han sido dirigidos por la profesora María Pilar García Cuetos de la Universidad de Oviedo. La novedad de los mismos es la metodología de estudio abordada que ha permitido establecer una correcta valoración histórico artística de los monumentos analizados, así como conocer las técnicas y materiales empleados en los mismos configurando además una importantísima base de datos nacional elaborada por el equipo de investigación en la que podemos encontrar documentación relativa a las restauraciones realizadas durante el periodo, en concreto las fichas disponibles detallan información práctica (organismo encargado de las obras, arquitecto, figuras de protección si las hubiese, etc.) referida a cada proyecto de intervención. El análisis de estos proyectos nos permite conocer lo acontecido en este vasto periodo, contribuyendo a completar la historia de la restauración monumental en España. En este contexto centramos el estudio técnico de las principales decisiones tomadas por el arquitecto Manuel Lorente Junquera ya que además de transformar en muchas ocasiones significativamente la percepción artística que hoy tenemos de los monumentos en los que intervino, ciertas decisiones han llevado a la necesidad de restauraciones posteriores para dar una solución a las patologías causadas por las decisiones, a veces poco acertadas, de este arquitecto.

Para comprender la importancia de los arquitectos de Zona durante este periodo realizamos una breve introducción sobre la organización de la restauración monumental durante el franquismo, periodo en el trabajó este arquitecto. La tutela del patrimonio correspondería al Ministerio de Educación, que comprendería las competencias en materia de Bellas Artes, equiparándose esta denominación a la utilizada en otros países como Alemania, Italia, Portugal o Francia. La organización del ministerio se realizó como la del anterior Ministerio republicano de Instrucción Pública, si bien se separó de Bellas Artes lo concerniente a archivos y bibliotecas. Como en el anterior periodo, el territorio estaba dividido en siete zonas, al frente de cada una de ellas se nombró un Arquitecto Jefe de Zona así como diversos arquitectos ayudantes.



Figura 1. Primera división de Zonas. 1940.

Dadas las especiales relaciones del régimen con Navarra, debida a la deuda contraída durante la guerra por Franco con los carlistas y su peso en el panorama político español, como caso absolutamente excepcional, en 1940 se le reconocieron a Navarra la competencia en la conservación y restauración de monumentos históricos quedando excluida de la tutela de la Comisaría de la Zona Tercera.

En el caso concreto que nos ocupa desde 1940 hasta su jubilación 1970 Lorente Junquera fue Arquitecto Jefe de la Tercera Zona. Titulado en Madrid en 1925 accedió a este puesto por recomendación tras haber trabajado entre 1936 y 1939 para la republicana Oficina de Conservación y Protección de Monumentos de Madrid y haber servido a la Junta de Protección del Tesoro Artístico durante la Guerra Civil.

No contaba con alguna formación específica en el ámbito de la restauración monumental (hasta su nombramiento había realizado nuevos edificios para casas de alquiler en Madrid) ni tampoco consta que hubiese colaborado con ningún arquitecto restaurador antes de detentar este puesto. Como veremos, además de un notable desconocimiento de los modernos criterios de intervención europeos que se desarrollaron durante los años de su andadura profesional, también cometió notables errores técnicos, debidos de una parte a su falta de formación específica, y de otra, a las habituales prácticas constructivas de la época (recordemos que la carta de Atenas de 1931 recomendaba en su punto IV la realización de refuerzos estructurales con cemento armado) [2].

Resulta por lo tanto fundamental estudiar las restauraciones realizadas por el arquitecto para mejorar el conocimiento sobre estos monumentos y comprender de la mejor forma posible las vicisitudes por las que han pasado, para poder realizar un análisis lo más completo posible de su estado actual. Esta labor resulta por otra parte muy compleja debido a la escasa documentación conservada sobre sus obras y a la falta de detalle en sus proyectos de ejecución, conservados en el Archivo General de la Administración en Alcalá de Henares. Debemos señalar además la falta de dedicación exclusiva a esta actividad, que compatibilizó desde 1947 con su puesto de Conservador en el Museo del Prado junto a José María Muguruza. En muchos casos, nos debemos servir de fotografías de las obras para conocer algunas decisiones tomadas durante la ejecución, en este caso resulta fundamental

el archivo de la empresa constructora Tricás Comps que ejecutó gran parte de las obras de restauración monumental realizadas en esta época [3].

Durante sus años como Arquitecto Conservador de la Tercera Zona intervino en más de 80 edificios declarados como monumento (68 de ellos en Aragón), entre los que destacan las catedrales de Teruel, Barbastro, Zaragoza (La Seo) y Vitoria, los monasterios de Suso y Yuso, la Colegiata de Alquézar el conjunto monumental de Daroca, la iglesia de Santa María de Albarracín, el castillo de Muñatones en Musquiz y la colegiata de Santa María de Cenarruza en Vizcaya y los monasterios de Santa María de Cañas y Santa María la Real de Nájera en la Rioja. entre otros.

## 2. DESARROLLO

Gracias a las diferentes ayudas a la investigación concedidas por el Instituto de Estudios Turolenses y el Instituto de Estudios Altoaragoneses, además de las investigaciones conducidas para realizar la tesis doctoral Daroca, Historia, Arquitectura y Restauración. *La conservación del Patrimonio Monumental de 1939 a 2012* [4], podemos clasificar las intervenciones del arquitecto atendiendo a su naturaleza constructiva viendo como repitió una serie de técnicas de ejecución que hoy en día, en algunos casos, siguen causando problemas en los edificios. No pudiendo abarcar en esta comunicación todas las tipologías de soluciones adoptadas, nos centramos en algunas de las más significativas.

### 2.1. Ejecución de soleras de hormigón

En la arquitectura histórica, los solados de las iglesias, especialmente en aquellas de menor entidad constructiva, se realizaban normalmente directamente sobre el terreno existente, mediante losas de piedra de gran espesor que asentaban directamente sobre el terreno. Este sistema permitía que a través de las juntas del pavimento el terreno pudiese encontrar una vía de evacuación de la humedad del subsuelo. Sin embargo, fue una práctica habitual en las intervenciones del arquitecto, ejecutar una solera previa de hormigón, para después colocar una nueva pavimentación más funcional a las necesidades del culto.



Figuras 2 y 3: Estado actual de la parte baja exterior e interior de la iglesia de San Miguel en Daroca (Zaragoza).

La repercusión de la ejecución de estas soleras es patente en casos como el de la iglesia románica de San Miguel de Daroca (Zaragoza) realizada entre los años 1961 y 1968 [5]. Además de la realización de otras obras notables como la eliminación de todos los revocos barrocos interiores para dejar la piedra vista o la demolición de una cúpula barroca del crucero para construir en su lugar una bóveda de crucería con la intención recuperar su aspecto románico. En este caso debemos señalar que la colocación de un elemento con un bajo grado de transpirabilidad, como es una solera hormigón armado de  $200 \text{ kg/m}^3$  de  $15 \text{ cm}$ . de espesor, contribuyó notablemente a la posterior ascensión de la humedad por capilaridad a través de los muros de ladrillo, especialmente el de la cabecera poniendo en gran riesgo las pinturas murales allí conservadas. En las fotografías conservadas de antes de la intervención, podemos constatar que estas humedades no existían previamente. La situación de la iglesia con respecto a las pendientes de la calle favoreció esta situación, llegando a unos niveles inaceptables de humedad en el interior tanto por filtraciones en la cubierta como por ascensión capilar en los muros que fueron tratados en la reciente restauración en el año 2010 conducida por los arquitectos Sergio Sebastián Franco y José Miguel Rubio Peinado. En su proyecto de intervención [6], los arquitectos destacaban que la piedra de los muros estaba afectada por procesos corrosivos, que estaban derivando en la pérdida de sección y masa de los sillares, así como de las texturas y labrados que presentaban, habiendo aparecido además eflorescencias salinas en su parte superficial. Los arquitectos dispusieron de una zanja drenante exterior para intentar secar los muros y de un sistema de aireación de los mismos mediante higrconectores.

Idéntica situación nos encontramos en la restauración realizada en los años 1968 y 1969 en la ermita románica de San Miguel de Barluenga (Huesca). Esta pequeña construcción, cuyas pinturas murales son de gran importancia, carecía de pavimentación, de hecho, el arquitecto refiere en 1968 que “el estado de la construcción es deficientísimo en cuanto a la cubierta y el pavimento lo constituyen las tierras” [7] por lo tanto Lorente previó la ejecución de la pavimentación mediante la ejecución de una losa de hormigón de  $200 \text{ kg/m}^3$  de  $20 \text{ cm}$ . de espesor y su posterior enlosado de piedra de  $8 \text{ cm}$ . de espesor rejuntada con mortero de cemento.

Esta situación se ha visto además acentuada por la circunstancia de que además, con el posterior proyecto, de 1969, se realizó un nuevo zócalo de piedra rejuntado con mortero de cemento, mediante una partida presupuestaria de urgencia, lo que nos indica que previamente ya había humedades procedentes del subsuelo. La adición de la solera de hormigón y los rejuntados de mortero de cemento han llevado a una ascensión de la humedad por capilaridad en los muros hasta alcanzar la parte no restaurada, de la que en la actualidad se están descomponiendo tanto los morteros históricos como la piedra. Además, en el muro norte, en el que no se realizó sin embargo este nuevo zócalo, la humedad alcanza una cota superior  $1,30 \text{ m}$ . de altura.



Figuras 3 y 4: Estado actual de la ermita de San Miguel de Barluenga (Huesca) y de la iglesia de Santa María de Albarracín (Teruel).

La misma operación se realizó en la iglesia de Santa María de Albarracín (Teruel) en la que el arquitecto intervino con una importante restauración en estilo durante los años 1958 y 1964 después de la incoación del expediente para declarar la localidad Conjunto Histórico. Al igual que la ermita de San Miguel de Barluenga, Santa María antes de esta restauración carecía de pavimento como el propio arquitecto refería “(...) preparación del firme para el pavimento con solera de hormigón, ya que en la actualidad nada existe y se pisa sobre tierras” [8] y en el último proyecto de 1964 Lorente preveía la ejecución una solera de hormigón de  $200 \text{ kg/m}^3$ . de 20 cm. de espesor. La pavimentación sería completada en sucesivas intervenciones conducidas a finales de los años sesenta por el arquitecto Rafael Mérida Poch. En la intervención realizada entre los años 1999 y 2000 [9] por la Fundación Santa María de Albarracín, una de las labores que se debieron realizar fue la eliminación de humedades en los muros mediante una zanja. Al igual que ocurre en la iglesia de San Miguel de Daroca, en las fotografías del estado previo a las intervenciones de Manuel Lorente Junquera, la iglesia, que si bien presentaba un acusado estado de abandono, no presentaba humedades en sus muros.

Encontramos muchos más ejemplos de esta praxis, como en la reconstrucción del claustro de la Ex Colegiata de Mora de Rubielos (Teruel), que hoy en día presenta humedades en la parte baja de su zócalo, o en el Claustro de la Colegiata de Alquézar (Huesca), Santa María de Obarra (Huesca) o en la Hospedería de la ermita de Salas (Huesca). Hoy en día esta es una práctica absolutamente desaconsejada, puesto que la elevaa impermeabilidad del hormigón, consecuencia de las propiedades físicas del cemento con el que se realiza, obliga a la humedad del terreno a encontrar una vía de escape, que generalmente son los muros de fábrica de ladrillo o piedra, más transpirables. Por ello hoy en día se aconseja la utilización de hormigones de cal, o con aditivos que mejoren su impermeabilidad también en los rejuntados del propio pavimento.

## 2.2. Refuerzos estructurales

Sin lugar a dudas, uno de los casos más conocidos de la praxis de este arquitecto es la intervención realizada en la Catedral Vieja de Vitoria. Se trata de un proyecto realizado ya en su fase más madura (cuando el arquitecto acometió las obras contaba ya con 61 años de edad) motivado fuertemente por la decisión del entonces Obispo de Vitoria de recobrar la unidad espacial de la Catedral con motivo de la celebración del primer centenario de la creación de la Diócesis de Vitoria.

Si bien los proyectos iniciales se dedicaron a labores urgentes de reparación de la cubierta, de la que en esta ocasión no cambió su sistema estructural, (como era habitual en su praxis en la que generalmente sustituía las estructuras de madera por cerchas metálicas), visto que estas habían sido ya objeto de una intervención a principios de siglo, ya en la memoria del primero encontramos la siguiente afirmación que anticipaba la decisión que contribuiría, como bien se sabe, a la ruina de la catedral: “Debemos aclarar que los mencionados soarcos de refuerzo, tienen por objeto contrarrestar los empujes que las naves laterales producen hacia el interior de la nave central. Además de estos arcos codales, que son cuatro en la nave principal hay otros tres en cada brazo del crucero. El número total de los repetidos soarcos o arcos codales, que son verdaderos arbotantes interiores, es de diez, por consiguiente. Su construcción data probablemente del siglo XVI y nos recuerdan los que existen en algunas Catedrales de Inglaterra las de Wells y Salisbury. Pero en estas han sido colocados solamente en puntos críticos en tanto que en nuestra Catedral, por excesiva precaución, se prodigaron en exceso y el monumento quedó notablemente afeado. Con razón los vitorianos han llamado a estos arcos, “arcos del miedo”. La eliminación de los que más afean los efectos perspectivos del interior de la Catedral es punto esencial de nuestro programa de restauración, aunque por limitación presupuestaria y por necesidades impuestas por el Sr. Obispo, no se incluyen estos trabajos en el presente proyecto” [10]. En 1963 se eliminaban por tanto los cuatro arcos codales de la nave indicándose que “tendrá un efecto beneficioso, al quedar los pilares (que son atrevidamente esbeltos) descargados por lo menos en unas 12 toneladas” el arquitecto proseguía afirmando que: “el efecto de los arcos codales, se puede sustituir, con gran sencillez, disponiendo tensores metálicos en las naves laterales y no procediendo al derribo de los arcos, hasta después de estar bien tensados con dobles tuercas todas las barras metálicas, que serán de redondos de 20 mm. La operación del derribo de los arcos se realizará previo un apeo fuerte con piezas de madera de 20 x 20 cm., apeo que servirá de andamiaje para la operación y también para acodar los pilares de la nave, hasta que los tensores metálicos tengan efecto” [11]. El arquitecto llevó a cabo esta operación con la financiación de los proyectos de 1962 y 1963, en los que también se abordaba la reparación de las numerosas grietas existentes, sin manifestar el arquitecto ninguna inquietud por conocer su origen y por lo tanto, tratar de evitar sus causas. Dando cuenta de sus intervenciones, el arquitecto se pronunciaba de la siguiente forma en 1964 “en el crédito aprobado en 1963 se incluía como partida fundamental el derribo de los mencionados soarcos de refuerzo, verdaderos arbotantes interiores, correspondientes a la nave central. Estos arcos, vulgarmente llamados arcos codales, eran de un lamentable efecto parecido a bambalinas de teatro. La delicada operación de su derribo y la sustitución de su efecto mecánico por tensores metálicos dispuestos en las naves laterales, ha sido realizada sin el menor tropiezo. El aspecto de la nave central, limpia ya de tales arcos, que eran verdaderos obstáculos se puede observar en la fotografía (...) Los arcos codales suprimidos

han sido los cuatro de la nave central, pero subsisten todavía seis, tres en cada brazo del crucero. El derribo de estos arcos codales de la nave del crucero, lo juzgamos imposible dadas las condiciones constructivas de la Catedral. Por otra parte, puede observarse que no llegan a obstaculizar un fondo importante, como ocurría con los de la nave central al tapar el ábside” [12]. En 1964, el arquitecto abrió los vanos cerrados en la nave y añadió una nueva fila para mejorar la iluminación del templo. A estas actuaciones en la nave principal se sumó la eliminación del contrafuerte, mediante su corte en chaflán que ocultaba la portada de Santa Ana, para volver a sacarla a la luz. Este contrafuerte se había realizado en los años 1865-1870 por el arquitecto Martín Saracibar Lafuente, se había optado por sacrificar dos capillas (La de Santa Victoria y la de los Reyes) en aras de garantizar la estabilidad del templo que ya en aquel momento se encontraba muy comprometida. Esta intervención influyó muy negativamente en los problemas estructurales, ya que ocasionó que empezase de nuevo un ligero desplazamiento del edificio hacia el oeste. Ya en el proyecto redactado en 1966 el arquitecto debía comenzar a ocuparse de las fallas estructurales que se estaban manifestando, puesto que preveía “una prolongación de los tensores (...) para aumentar la seguridad, (...) osea, más claramente: en la nave baja de la Epístola los tensores no se prolongarán y quedarán como hasta ahora, anclados en el muro de la Catedral, pero en la nave baja del Evangelio, que en el curso de los siglos ha sufrido una deformación mucho mayor, los tensores se prolongarán hasta quedar anclados en el paramento exterior de los contrafuertes”[13]. Además, en 1967 debía ocuparse de los fallos producidos por la sustitución de las cubiertas, previendo unos recalces con fábrica de ladrillo debajo de los falsos tirantes de las armaduras de la cubierta de la nave principal indicando que “estas partidas se justifican por haber fallado uno de dichos falsos tirantes, presionando por el pendolón central. Los tabicones trasladarán y repartirán perfectamente las presiones, sobre los arcos fajones de la nave mayor, que son muy fuertes” [14], cambiando nuevamente el esquema de reparto de cargas de la catedral. Solución que también había realizado en la restauración de la cubierta del Santuario de Loreto (Huesca) [15]. Manuel Lorente no seguiría interviniendo en la Catedral que desde 1999 es objeto de una importante restauración que desarrolla el Plan Director realizado por Agustín Azkarate, Leandro Cámara, Juan Ignacio Lasagabaster y Pablo Latorre [16] que como uno de sus puntos más importantes, tiene la subsanación de los fallos estructurales provocados por la restauración de Manuel Lorente Junquera.

Otros ejemplos de decisiones respecto a la modificación sistema estructural de los edificios en los que intervino lo encontramos en la ya mencionada restauración iglesia de Santa María de Albarracín (Teruel) donde en la consolidación de una de las bóvedas del ábside, en 1959 siguiendo las tendencias de la época, recubrió con ladrillo hueco doble, sentado con mortero de cemento, para añadir después una capa de hormigón de 10 cm. de espesor sobre este, incrementando notablemente las cargas que debía soportar la bóveda. Solución que repetiría, durante la restauración de la Iglesia de San Miguel de Daroca, y de la que tenemos constancia gracias a las fotografías conservadas por la empresa Tricás, puesto que el arquitecto no reflejó esta operación en sus proyectos de ejecución. Se deduce que durante las obras acometidas en el año 1965 se procedió al encamisado con hormigón armado de algunas bóvedas, de las que no se llega a distinguir en las fotografías su ubicación, y la ejecución además de unos zunchos perimetrales de hormigón armado de los que nuevamente se hace difícil deducir su ubicación en el templo. Entre los datos aportados por los arquitectos Sebastián y Rubio que como ya hemos mencionado se ocuparon de la restauración de la misma en el año 2010 y las fotografías conservadas se puede deducir que Lorente Junquera

podría haber ordenado el encamisado de las bóvedas de la nave lateral sur en septiembre de 1964 (fecha que figura en las fotografías) y haber ejecutado después unos zunchos perimetrales en octubre de ese mismo año, puesto que en la imagen conservada aparece la bóveda ya encamisada. Con la documentación conservada, ignoramos si durante el transcurso de las obras se produjo alguna situación, movimiento o aparición de grietas que condujese a estas soluciones tan poco respetuosas con el funcionamiento original del sistema estructural de la iglesia. Sí sabemos que esta técnica, (encamisar las bóvedas con hormigón armado) también había sido llevada a cabo, además de en la iglesia de Santa María de Albarracín en 1958, en la Ex Colegiata de Mora de Rubielos en 1945 o en Santa María de Obarra en 1966, todas ellas con hormigón de 200 kg/m<sup>3</sup>. Hemos de recordar que se trataba de un proceso habitual en la época, que incluso viene detallado en el libro de Gabriel López Collado *Ruinas en Construcciones Antiguas. Causas, Consolidaciones y Traslados*, publicado en 1976 para poder ser utilizado como manual en los cursos C.E.T.R.A. DE “Especialización en Trabajos de Restauración Arquitectónica”, iniciativa pionera en la formación en materia de restauración monumental en España [17]. En el mismo se indicaba que se debía unir la fábrica existente al nuevo trasdós de hormigón mediante varillas con garrotas espaciadas de 40 a 50 cm. técnica aconsejada también por el célebre arquitecto restaurador Giovanni Carbonara en su obra de 1985 *Restauro e Cemento in Architettura* [18], si bien, estas técnicas se han demostrado muy agresivas por cuanto modifican sustancialmente el comportamiento original de los edificios y rigidizan su comportamiento, fenómeno que desgraciadamente se aprecia claramente cuando estos edificios vienen solicitados de forma extraordinaria, como sucede, en casos extremos, durante los terremotos [] o por el cambio en el esquema de cargas del edificio motivados por cedimientos del terreno u otros factores, por lo que hoy en día, se recomienda estudiar la tipología histórica y recuperar, siempre que sea posible, técnicas tradicionales para su restauración.

En la misma línea de introducción de elementos rígidos de hormigón armado como refuerzo estructural cabe También podemos citar los refuerzos realizados en las torres mudéjares de Teruel con hormigón de 350 kg/m<sup>3</sup>, en forma de zunchos de atado en su mayor parte después de la Guerra Civil. Manuel Lorente Junquera intervino en las torres de la Catedral (1941), San Pedro (1944), San Martín (1946), y por último la del Salvador (1953). En las que además, respecto al acabado de las fachadas, daba indicaciones de que el ladrillo que se emplease fuese a ser posible antiguo como el de la torre y en caso contrario se igualase el color al exterior con una lechada de cemento, “con lo que se consigue el aspecto oscuro y como ahumado que presentan los paramentos de esta torre” [19]. Esta técnica que, con muchísimas reservas, podríamos calificar como de patinado artificial, resulta cuanto menos curiosa ya que es la primera noticia que tenemos sobre la utilización del cemento, como una especie de colorante y que nos ilustra sobre la masiva aplicación de este material en todos los aspectos de las intervenciones, incluso, como en este caso, para buscar la mimesis visual.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de los proyectos de ejecución realizados por el arquitecto, y la confrontación de estos con el estado actual del monumento así como con otras fuentes históricas que puedan esclarecer, entre otros, el verdadero grado de ejecución de los mismos, nos permite conocer no sólo las transformaciones más evidentes realizadas en los mismos, sino ampliar

la información sobre los materiales introducidos y las técnicas constructivas empleadas para poder comprender mejor el estado en el que se han conservado hasta nuestros días y las posibles causas de las patologías que presentan. En lo que se refiere a la praxis de Lorente Junquera podemos establecer claros y reiterativos patrones de aplicación de soluciones constructivas, independientemente del sistema original de construcción del edificio, que nos ilustran sobre las perniciosas consecuencias que tuvo la introducción de elementos altamente impermeables a las humedades del subsuelo como fueron las soleras de hormigón para ejecutar las nuevas pavimentaciones o el nulo respeto por la configuración estructural original de los edificios, especialmente, en lo respectivo a la Catedral de Vitoria. Este tipo de estudio histórico nos permite establecer *a priori* una serie de puntos a comprobar cuando actuamos en un edificio intervenido por este arquitecto, si bien, como hemos señalado, es necesario completar el estudio del edificio con otras fuentes ya que este profesional no fue riguroso ni en la documentación ni en la actualización de los datos de las obras en las que intervino [20].

#### 4. CONCLUSIONES

Sin duda, antes de afrontar la restauración de un edificio necesario conocer e investigar la historia de las restauraciones que lo han llevado a su estado actual, puesto que como hemos visto, en muchas ocasiones, son estas las causas de su situación de deterioro. Más allá del mero estudio histórico artístico, hay que tener en cuenta que la mayor parte de los edificios que hoy se conservan han sufrido diferentes transformaciones, muchas de ellas en época reciente, especialmente, como hemos visto, debidas a las restauraciones realizadas en el siglo XX, que pueden haber desencadenado diferentes patologías y problemas de inestabilidad estructural. Por lo tanto no nos debemos limitar a tratar el estudio histórico como un mero anejo a la memoria. Hay que comprender y difundir el valor que el mismo puede tener para la comprensión y el análisis de la situación actual del monumento, pero para ello, no se puede limitar a una mera descripción de las vicisitudes históricas del edificio, que muchas veces llegan solamente hasta el siglo XIX. Debemos tener en cuenta que las fuentes necesarias para comprender la historia de la restauración, son amplias y, a menudo, difícilmente localizables, como los propios proyectos de intervención o la documentación de obra. De otra parte, esta información, una vez localizada, para que sea útil al nuevo proyecto debe ser interpretada correctamente, por lo que se hace necesaria una colaboración entre las disciplinas históricas y técnicas que permitan realizar con estos estudios transversales una mejor valoración de la situación real del edificio. Así se podrán adoptar las soluciones más idóneas para su conservación ya que además de conocer las técnicas y materiales introducidas durante las restauraciones contaremos además con datos precisos que nos permitan establecer una adecuada crítica de autenticidad de sus elementos, fundamental a la hora de tomar las decisiones de intervención que implica toda restauración.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Sobre estos proyectos se puede consultar su página web. Accedido el 29 de enero, 2018, desde <https://restauracionyreconstruccion.wordpress.com/>
- [2] Se puede consultar el texto íntegro en la siguiente dirección. Accedido el 29 de enero, 2018, desde <http://www.icomoscr.org/doc/teoria/VARIOS.1931.carta.atenas.restauracion.monumentos.historicos.pdf>
- [3] Sobre este tema: Hernández Martínez, A. (2012). Fotografía, arquitectura y restauración monumental en España. *Artigrama: Revista del Departamento de Historia del Arte de la Universidad de Zaragoza*, (27), 37-62.
- [4] Ruiz Bazán, I. (2017). Daroca, Historia, Arquitectura y Restauración. La conservación del Patrimonio monumental de 1939 a 2012. (Tesis en fase de publicación por la institución Fernando el Católico). Universidad de Zaragoza, Politécnico de Turín, España, Italia.
- [5] Sobre esta restauración se pueden consultar: Hernández Martínez, A. (2014) Contradicciones y paradojas de la restauración monumental en España en el siglo XX: las intervenciones del arquitecto Manuel Lorente Junquera en la Iglesia de San Miguel, Daroca (Zaragoza, 1961-1968), *Ars longa: cuadernos de arte*, (23), 271-284. Ruiz Bazán, I. (2015). La restauración monumental durante el franquismo: el arquitecto Manuel Lorente Junquera y sus actuaciones en Daroca. *La Albolafia: Revista de Humanidades y Cultura* (5), 111-132.
- [6] Sebastián Franco, S., Rubio Peinado, J.M., (2010) Proyecto Básico y de Ejecución de Restauración de la iglesia de San Miguel de Daroca, Zaragoza. Archivo del Ayuntamiento de Daroca, Expedientes111-1, 293-1.
- [7] Lorente Junquera, M. (1968) Proyecto de Restauración de la ermita de San Miguel de Barluenga, Huesca. Archivo General de la Administración. Expediente 260041
- [8] Lorente Junquera, M. (1964) Proyecto de Restauración de la iglesia de Santa María de Albarracín, Teruel. Archivo General de la Administración. Expediente 260051.
- [9] Almagro, A., Jiménez, A., Ponce de León, P. (2005). *Albarracín. El proceso de restauración de su Patrimonio Artístico*. Albarracín, Fundación Santa María de Albarracín.
- [10] Lorente Junquera, M. (1961) Proyecto de Restauración de la Catedral de Vitoria. Archivo General de la Administración. Expediente 260362.
- [11] Lorente Junquera, M. (1963) Proyecto de Restauración de Catedral de Vitoria. Archivo General de la Administración. Expediente 2600372.
- [12] Lorente Junquera, M. (1964) Proyecto de Restauración de la Catedral de Vitoria. Archivo General de la Administración. Expediente 260368.
- [13] Lorente Junquera, M. (1966) Proyecto de Restauración de la Catedral de Vitoria. Archivo General de la Administración. Expediente 260206.
- [14] Lorente Junquera, M. (1967) Proyecto de Restauración de la Catedral de Vitoria. Archivo General de la Administración. Expediente 260111.
- [15] Lorente Junquera, M. (1968) Proyecto de Restauración del Santuario de Loreto (Huesca). Archivo General de la Administración. Expediente 260126.
- [16] El Plan Director está disponible para su consulta on line. Accedido el 29 de enero de 2018, desde [http://www.catedralvitoria.eus/restauracion\\_indice.php?niv=2\\_1](http://www.catedralvitoria.eus/restauracion_indice.php?niv=2_1)
- [17] López Collado, G. (1976) *Ruinas en construcciones antiguas. Causas, Consolidaciones y Traslados*. Madrid, Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo.
- [18] Carbonara, G. (1985) *Restauro e Cemento in Architettura*. Roma, AITEC.
- [19] Lorente Junquera, M. (1968) Proyecto de Restauración del Santuario de Loreto (Huesca). Archivo General de la Administración. Expediente 260126.
- [20] Se profundiza en este aspecto en Ruiz Bazán, I. (in press) Fuentes para la historia de la restauración monumental en España: las memorias de los proyectos arquitectónicos. El caso de Aragón y el arquitecto Manuel Lorente Junquera (1940-1970), VII Encuentro de Jóvenes Investigadores, Universidad de Salamanca, 2016.

## EL ARQUITECTO TÉCNICO COMO PERITO DE SEGUROS

GANCEDO, ALMUDENA  
*CAATValencia, Valencia, España*  
*E-mail: perito@almudenagancedo.es*

**PALABRAS CLAVE:** perito, seguros, peritaciones.

### INTRODUCCIÓN

Si entendemos la definición de Perito como la persona experta en una materia en concreto, cuando hablamos de la peritación de unos daños en unos bienes que cuentan con una póliza de seguro, es el Arquitecto Técnico quien actúa como persona experta en la materia, siendo el Perito de Seguros, en lo que se conoce en el sector asegurador como el Perito de Riesgos Diversos (Perito IRD) y donde como riesgos diversos se consideran pólizas de hogar, comunidad de propietarios, industrias y comercios.

Recordamos que en cuestiones relacionadas con la edificación, el Arquitecto Técnico es el agente que interviene en el proceso constructivo como Director de la ejecución material de una obra, siendo el máximo responsable de la correcta construcción, por lo tanto entenderemos que sea el Arquitecto Técnico el experto en esta materia.

Si analizamos datos de la edificación existente en España y datos del sector asegurador podemos hacernos una idea del potencial de la intervención del Arquitecto Técnico como Perito de Seguros.

### DESARROLLO

Para obtener datos del sector asegurador recurrimos al informe anual con carácter social que publica la Patronal de las Compañías de Seguros, UNESPA, el informe ESTAMOS

SEGURO, siendo la última publicación del año 2016.

Este informe contiene datos anuales del sector asegurador en España, tanto referentes a seguros patrimoniales, como seguros de vida, responsabilidad civil, decesos, autos... pero vamos a centrarnos en seguros patrimoniales, concretamente en seguros multirriesgo que son pólizas de riesgos diversos: hogar, comunidades de propietarios industrias y comercios.

Teniendo en cuenta que según el Instituto Nacional de Estadística el total de viviendas en España es de 25,50 millones y hay 18,20 millones de familias, llegamos rápidamente a la conclusión de que hay más viviendas que familias, por lo que hay viviendas habituales y segundas residencias.

También podríamos entrar en detalle en cuanto a la tipología constructiva en si son viviendas unifamiliares o viviendas en bloque ya ofrece datos diferentes en cuanto al porcentaje de contratación de una póliza de seguros que oscilan entre un 70% y 80%. Otro dato importante a tener en cuenta sería la propiedad de estas viviendas y si tienen carga hipotecaria o no. Según el Banco de España, el 86% de las viviendas están en régimen de propiedad, y el 14% restante están en régimen de alquiler o cesión, ya que el uso que se hace en cada caso es diferente y la siniestralidad también.

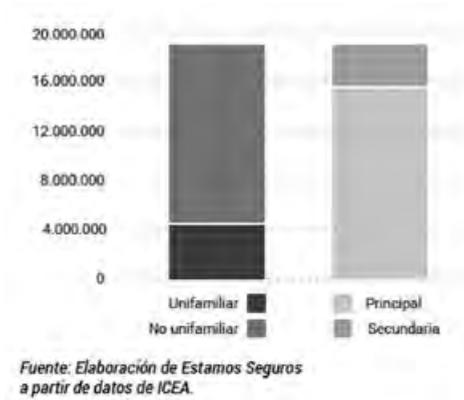


Figura 1: COMPOSICIÓN DE LOS HOGARES ASEGURADOS.

Volviendo al total de viviendas en España, de los más de 25,50 millones de viviendas, según datos del sector asegurador, hay más de 18,90 millones de viviendas que están aseguradas, lo que supone que el 74% de los hogares españoles cuentan con una póliza de seguro y esta tendencia va creciendo a lo largo de los años, según la gráfica publicada.

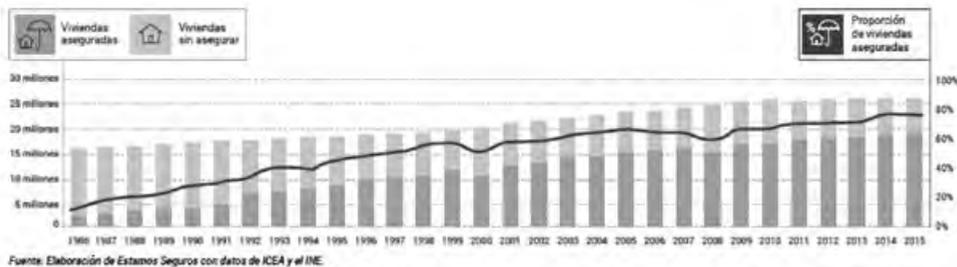


Figura 2: EXTENSIÓN ESTIMADA DEL SEGURO DEL HOGAR.

También podríamos distinguir entre Comunidades autónomas donde el País Vasco sería donde más viviendas cuentan con seguro llegando al 90%, siendo Canarias, Galicia y Baleares Comunidades donde menos se asegura rondando el 60%.

Cuando se producen unos daños, o lo que en el sector asegurador se conoce como un siniestro en un hogar, comunidad de propietarios, industria o en un comercio, será el Perito de Seguros quien identificará el origen de los daños y valorará los daños producidos.

Esta intervención del Perito se hace en base a una póliza de seguros contratada donde dependiendo del origen podría estar cubierto o no, donde la póliza especificará como se hará la valoración de los daños en base unos criterios definidos en la póliza...

Poniendo un ejemplo, los daños producidos en una vivienda por asentamiento del terreno no suelen estar cubiertos en la póliza del seguro al ser vicios ocultos o defectos constructivos del bien asegurado. Los daños producidos en una vivienda por una fuga en la instalación de fontanería suelen estar cubiertos pero depende de donde sea el origen pueden estar cubiertos o no. Los daños en un ordenador podrían estar cubiertos o no y se aplicaría una depreciación o no dependiendo de lo que refleje la póliza contratada.

Entre los daños cubiertos por las pólizas de seguro encontraríamos daños por agua, incendio, robo, fenómenos atmosféricos, defensa jurídica, daños eléctricos, responsabilidad civil... son las llamadas coberturas que desarrollaremos más adelante.

Para hacernos una idea de la siniestralidad, según datos del informe, en términos generales y en pólizas multirriesgo, en cuanto al número de percances o siniestros, los daños por agua encabezan la lista, suponiendo a las Compañías más de 3 millones de siniestros, seguidos por rotura de cristales, robos o fenómenos atmosféricos.

	HOGAR	COMUNIDADES	COMERCIO	INDUSTRIAS	TOTAL
Avería de maquinaria	NA	NA	8.885	7.720	16.605
Cristales	1.248.423	76.628	106.538	43.636	1.475.225
Daños eléctricos	677.775	25.226	58.292	30.875	792.168
Daños por agua	2.178.594	682.757	151.275	46.728	3.059.354
Defensa jurídica	12.819	3.228	4.228	1.635	21.910
Fenómenos atmosféricos	454.338	138.536	35.266	41.403	669.543
Incendios	145.619	16.292	15.474	10.295	187.680
Pérdidas de beneficios	NA	NA	998	8.329	9.327
Responsabilidad civil	180.289	58.194	25.734	31.591	295.808
Responsabilidad civil agua	108.004	622	106	2	108.734
Robo o daños por robo	382.486	37.528	60.353	35.475	515.842
Servicios de asistencia	1.131.962	1.432	11.529	119	1.144.042
Otros	435.989	82.744	22.489	37.483	558.705

Fuente: Elaboración de Estamos Seguros a partir de datos de ICEA.

Figura 3: RESUMEN DE PERCANCES MULTIRRIESGO POR COBERTURAS.

Pero si lo valoramos en términos económicos, en cuanto a costes para las Compañía por percances en pólizas multirriesgos, los daños por agua seguirían encabezando la lista con más de 1.179 millones de euros, pero en este caso seguidos por robos e incendios, que aunque se produzcan en menor número la cuantía de los daños es mayor siendo más de 684 millones de euros y más de 651 millones de euros, sin olvidar hacer mención a los daños meteorológicos con más de 361 millones de euros.



Figura 4: COMPOSICION ESTIMADA DE LOS COSTES DE LOS SEGUROS MULTIRRIESGOS.

Si definimos algunas de las coberturas:

- Daños por Agua, sería la garantía con mayor peso y podríamos decir que son los daños procedentes de agua, bien por derrames o canalizada en tubería de suministro, o en el propio punto o ya en canalizaciones de evacuación. Este informe lo resume como el panorama de las goteras en el hogar. El Perito de Seguros detectará cual es el origen del daño: corrosión, fuga, defecto... y valorará el daño causado.
- Daños Atmosféricos, sería la cobertura que cubriría daños por lluvias, nieve, pedrisco y por vientos, con unos límites establecidos en la póliza o no, y cuya consulta de datos registrados se hace a entidades certificadas como AEMET.
- Incendios, donde encontramos daños tras producirse un incendio en estructura, revestimientos, instalaciones, además de los daños en mobiliario, maquinaria, enseres... y donde suelen haber terceros afectados. Así como intervenir en cálculos de lucro cesante, mercancías...
- Daños eléctricos, serían los daños por corrientes anormales, cortocircuitos o alteraciones de la red eléctrica. En estos daños los criterios de valoración del Perito, que podrán estar definidos o no en la póliza, afectaran en la peritación de daños. Hablamos de métodos de depreciación: residual estático, dinámico, mixto...
- Defensa Jurídica, donde la intervención del Perito de Seguros en Asistencias Jurídicas requiere de habilidades en mediación, ya que interviene en un siniestro con terceros donde las partes pueden estar enfrentadas y el proceso es sensible a dinamitarse.
- Otras coberturas: Robo, Cristales, Actos vandálicos, Impacto...

Centrándonos en datos del informe para pólizas del hogar:

1 de cada 4 viviendas sufre algún incidente o percance a lo largo del año, llegando a registrar más de uno al año el 7% de los hogares. Consideramos 18 millones de viviendas con seguro, hablamos de cerca de 4,5 millones de siniestros, sólo en hogar.

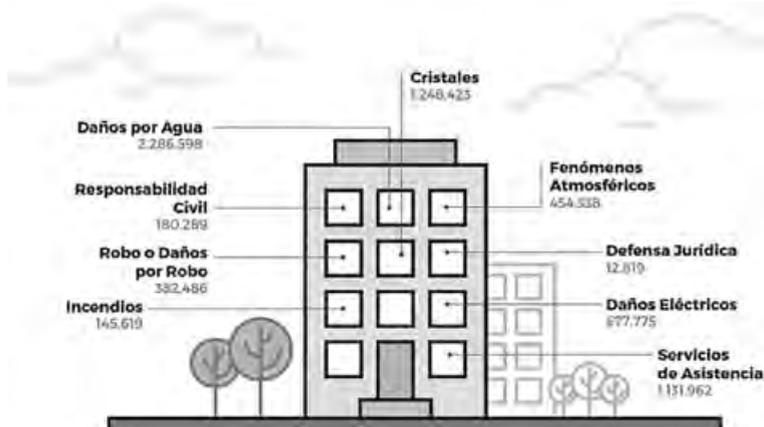


Figura 5: PERCANCES RESUELTOS POR EL SEGURO DEL HOGAR.

En el caso de las pólizas de hogar, entre los daños más atendidos estarían los daños por agua con más de 2 millones de siniestros, lo que supone una frecuencia a lo largo del año, que según este informe, cada 14 segundos alguien llame a su Compañía para decir que está teniendo daños por agua en su hogar, cada minuto y medio un robo, y cada 25 segundos se rompe un cristal.

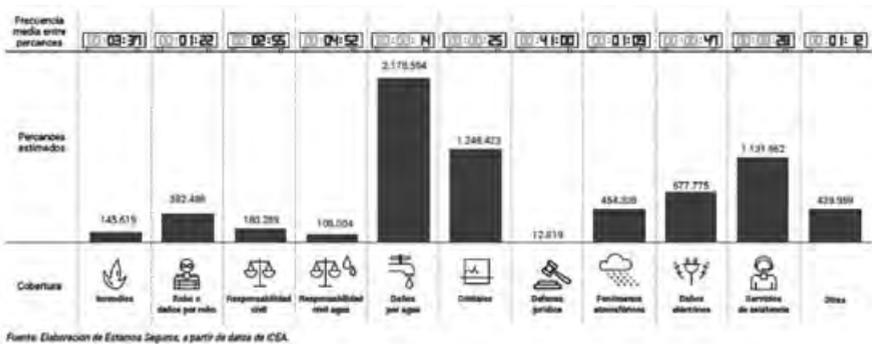


Figura 6: INCIDENTES ATENDIDOS POR DEL SEGURO DEL HOGAR, POR COBERTURAS.

Si analizamos los costes por siniestros para las Compañías los daños por agua en hogar siguen encabezando seguidos de robo, cristales y atmosféricos. Entre los daños más atendidos, los daños por agua suponen a las Compañías un coste de más de 2 millones de euros, seguido de robo con un coste de más 840.000 euros, rotura de cristales con más de 650.000 euros e incendios por más de 550.000 euros sin olvidar fenómenos atmosféricos más de 480.000 euros.



Figura 7: PAGOS DIARIOS DEL SEGURO DEL HOGAR, POR COBERTURAS.

Faltaría analizar la siniestrabilidad y costes en otras pólizas como Comunidades de Propietarios, industrias o comercios, recogidos también en este informe, y cuyos datos difieren de los de hogar.

En la peritación de seguros se valora en base a unas condiciones establecidas en una póliza contratada por lo que el Perito de Seguros tiene que estar familiarizado para poder valorar los siniestros en base a estas y en las que no siempre se aplicaran los mismos criterios ya que habrá infraseguro o no, o se compensaran capitales, o se aplicaran concurrencias o no, o se valorará a nuevo o a valor aplicando una depreciación por antigüedad y uso, y garantías como incendio, robo, daños por agua, metereológicos, responsabilidad civil... estarán definidas en la póliza con unos límites y condiciones.

## METODOLOGÍA

Si entramos en la metodología podríamos definir, como ocurre en periodismo, cuáles serían las 5W de una peritación de seguros:

- ¿DÓNDE? - Where? - Es importante identificar donde se producen los daños, no solo por la correspondencia entre la dirección del riesgo que figure en la póliza y la dirección donde se visita y produce el siniestro, también por identificar si es un elemento privativo o es comunitario si nos enfrentamos por ejemplo a una peritación de daños en una Comunidad de propietarios. Tanto el Código Civil (artículo 396) como La Ley de Propiedad Horizontal (artículo 3) hacen mención a estos conceptos.

- ¿CUÁNDO? - When? - Situar cronológicamente cuando se originan los daños y cuando se producen los daños para saber si la póliza estaba vigente o no, si se trata de daños paulatinos, si hay agravamiento del daño... y por supuesto cumplir con los plazos de declaración del siniestro así como con los plazos en caso de recurrir a un perito no designado por la Compañía tal como fija no solo la póliza o no, también la Ley de Contrato de Seguro 50/1980 (artículo 38) o estar en plazos para declarar siniestros cubiertos por el Consorcio de Seguros, que establece un plazo en 7 días.

- ¿QUÉ? - What? - Que se ha dañado, en primer lugar para distinguir si es contenido o continente, según la póliza contratada. También comprobar el daño causado, que se ha dañado en cuanto a medición, estado de conservación... El Arquitecto Técnico es el experto en mediciones de partidas de obra así como el experto conocedor de precios de mercado para establecer un justiprecio.

- ¿POR QUÉ? - Why? - Sería identificar el origen de los daños que es fundamental para saber si esta reparado o no, ya que lógicamente no se atienden daños hasta que no se repara el origen de estos. Además de que identificar el origen de los daños sirve para establecer responsabilidades, si es que las hay.

- ¿QUIÉN? - Who? - Identificar quien es el origen de daños, entendido como identificar al causante, que no siempre es el asegurado pudiendo intervenir terceros por responsabilidad civil sobre los daños. También hay que identificar a los perjudicados, si los hay, para poder atender en caso de incurrir en responsabilidad de los daños causados.

Por último, en esta metodología añadiríamos una sexta W, que sería How many? - ¿CUÁNTO?, ya que el Perito de Seguros es quien valora el daño causado, no solo cuantificándolo económicamente también aplicando unos criterios de valoración que estarán establecidos en la póliza contratada, en cuanto a si la valoración es a valor a nuevo o a valor real o se aplican unas depreciaciones con una metodología u otra, así como teniendo en cuenta las condiciones particulares que pueda recoger la póliza.

Pero no siempre obtenemos todas las respuestas, ya que no siempre esta tan claro quién es el causante, o cuando se originan unos daños o donde está el origen, lo que si hace la intervención de un Arquitecto Técnico como Perito de Seguros en un siniestro es esclarecer y valorar lo ocurrido como profesional experto en la materia.

## CONCLUSIÓN

Dentro de las funciones que un Arquitecto Técnico puede desempeñar, la función de Perito de Seguros es una función muy útil para la sociedad, no solo como profesional que interviene cuando se produce un siniestro, también como el profesional de consulta para Aseguradoras, Administradores de Finca o particulares. Para comprobar si una comunidad está bien asegurada en cuanto a capitales o garantías, o si la póliza de la vivienda contempla bien el contenido y continente o la superficie declarada, o si un comercio está bien asegurado en cuanto a mercancías/mercaderías y riesgos o si la Comunidad o vivienda asegurada suponen un mayor riesgo debido al estado de conservación... al fin y al cabo el Perito de Seguros será quien intervendrá en caso de producirse un siniestro, y no olvidemos que es

quien visita el riesgo.

El Perito de Seguros, aunque suele intervenir a instancias de las Compañías de seguros, también puede actuar a instancias del propio asegurado (sobretudo cubierto en pólizas de comercio), en lo que se conoce como el Perito de Defensa, pero en cualquier caso en ambas circunstancias se recurre a peritos independientes.

Pero también puede intervenir el Perito de Seguros en procedimientos judiciales entre asegurado y aseguradora a instancias del Juez como perito tercero de designación judicial. En este caso la designación de perito judicial especializado en el sector asegurador se hace por medio de listados facilitados al juzgado por los distintos Colegios profesionales de Aparejadores, Arquitectos Técnicos e Ingenieros de la Edificación así como por otras Asociaciones especializadas.

Por supuesto no olvidar la función preventiva que realiza el Arquitecto Técnico en las inspecciones técnicas de edificios asegurados, en tareas de mantenimiento y conservación de riesgos con la repercusión en la disminución de siniestros que supone.

Para hacernos una idea del potencial, según el último informe publicado de UNESPA, las Compañías de Seguros, teniendo en cuenta riesgos diversos, han atendido más de 3 millones de siniestros por daños por agua con un coste de más de 1.173 millones de euros. Sin duda estos datos nos dan una idea de las intervenciones del Arquitecto Técnico como Perito de Seguros.

Y es que entre tantos números, nos preguntaremos si estamos seguros o no de tener algún siniestro en nuestro hogar o Comunidad, no solo por una cuestión de probabilidad, también por otros factores que influyen como el hecho de como es el parque inmobiliario, como es nuestra vivienda en particular y como es la cultura del mantenimiento que tenemos o podemos tener.

Saber que en cualquier caso el Perito de Seguros actuará siempre, con independencia de quien lo solicite, con la máxima objetividad e imparcialidad, ya que se trata de un profesional, experto en la materia que actuará bajo juramento o promesa de hacerlo sin favorecer ni perjudicar a ninguna de las partes pudiendo incurrir en sanciones penales en caso de hacerlo.

Por lo tanto, el ejercicio de la profesión de Arquitecto Técnico como Perito de Seguros, experto en esta materia, resulta muy útil para la sociedad y existe un potencial de intervenciones a considerar.

## **BIBLIOGRAFÍA**

-CENSO DE POBLACIÓN Y VIVIENDAS, INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA  
<https://goo.gl/7QpV6c>

-INDICADORES DEL MERCADO DE LA VIVIENDA, BANCO DE ESPAÑA  
<https://goo.gl/E2jMXB>

-LEY DE PROPIEDAD HORIZONTAL  
<https://goo.gl/twCQ7>

-CÓDIGO CIVIL  
<https://goo.gl/wKoZa>

-LEY DE CONTRATO DE SEGURO 50/1980  
<https://goo.gl/QoJfR>

-ESTAMOS SEGUROS, informe anual de Asociación empresarial de Seguros, UNESPA  
<http://unespa-web.s3.amazonaws.com/main-files/uploads/2017/06/Informe+2016+Estamos+Seguros.pdf>

-EL LIBRO BLANCO DEL SEGURO, Asociación empresarial de Seguros, UNESPA  
<http://unespa-estamosseguros-web.s3.amazonaws.com/main-files/uploads/2016/10/libro-blanco.pdf>

**REHABILITACIÓN E IMPLANTACIÓN DE ACCESIBILIDAD EN  
UN EDIFICIO CATALOGADO E INCLUIDO EN ENTORNO BIC, PARA  
DESTINARLO A USO TURÍSTICO**

SEVILLA DELGADO, JOSÉ LUIS<sup>1</sup>; DEL PINO LERUITE, JUAN CARLOS<sup>2</sup>;  
ESPÍNOLA JIMÉNEZ, ANTONIO<sup>3</sup>; MORENO MEDINILLA, FABIOLA<sup>4</sup>;  
GARCÍA GARCÍA, MARÍA PAZ<sup>5</sup>; MARTÍNEZ CARRILLO, MANUEL JAVIER<sup>6</sup>  
<sup>1</sup> *Arquitecto Técnico Municipal Ayto. Iznalloz (GR) / Profesional Libre, Granada, España*

*E-mail: jlsevilla.oficina@gmail.com*

<sup>2</sup> *Arquitecto Técnico Ayto. Granada, Granada, España*

*E-mail: jcarlosdp@yahoo.es*

<sup>3</sup> *Investigador UGR, Granada, España*

*E-mail: antonioespinalajimenez@gmail.com*

<sup>4</sup> *Profesional Libre, Granada, España*

*E-mail: fmedinilla@hotmail.com*

<sup>5</sup> *Profesional Libre, Granada, España*

*E-mail: mariapaz@arquitectnico.com*

<sup>6</sup> *Universidad de Granada / Junta de Andalucía, Granada, España*

*E-mail: manueljmartinez@ugr.es*

**PALABRAS CLAVE:** Rehabilitación, Accesibilidad, Patrimonio Histórico Edificios Catalogados, Apartamentos Turísticos.

**RESUMEN**

Las actuaciones de rehabilitación en edificios existentes ya son complejas desde el primer momento de su abordaje. Esta complejidad aumenta cuando nos encontramos con edificios emplazados dentro del casco histórico de la ciudad, tienen valores propios que les hacen estar incluidos en el catálogo y, además, se emplazan próximos a otros edificios

calificados como Bienes de Interés Cultural.

Desde el punto de vista del planteamiento de intervención constructiva así como desde el punto de vista de la gestión de las distintas autorizaciones ante las diferentes administraciones públicas con competencias que se interfieren, hace aún más singular la hoja de ruta de las actuaciones. Serán necesarias autorizaciones medio ambientales, patrimoniales, turísticas y urbanísticas.

Veremos un caso concreto de intervención de rehabilitación de un edificio en el casco histórico de Granada, Catalogado y en el entorno de los B.I.C.: Casa de los Vargas, Colegio de Niñas Nobles y Catedral.

Se propone una intervención de rehabilitación integral de un edificio de 5 plantas de altura, local comercial en planta baja y una vivienda en cada planta del resto, con la finalidad de cambiar el uso de las plantas altas a apartamentos turísticos, para lo que será necesaria una intervención integral en el mismo, tanto en su distribución interior como en su configuración arquitectónica, principalmente en el núcleo de comunicación vertical donde se busca conseguir el mayor grado de accesibilidad posible, sin dejar de mirar a la posible afección a los valores arquitectónicos identificados en el propio edificio y reflejados en su ficha de catálogo.

Al mayor de los retos al que nos enfrentamos es implantar la accesibilidad universal en su mayor grado posible, respetando sus singularidades, tanto del propio edificio con el nuevo uso previsto como por su ubicación dentro del conjunto histórico de una ciudad patrimonial como es Granada.

## 1. INTRODUCCIÓN

Año tras año estamos viendo como aumenta la demanda de establecimientos de alojamiento turístico en nuestro país y con ello, para dar respuesta a tal demanda, observamos un cambio del modo de oferta de alojamiento (Figura 1). La gran demanda del conocido como turismo residencial o turismo de ciudad ha hecho que muchos promotores hayan optado por invertir en la rehabilitación de edificios existentes en los cascos históricos que se encontraban sin uso o con usos menos productivos para transformarlos en apartamentos turísticos y así dar respuesta a la demanda de alojamientos de familia.

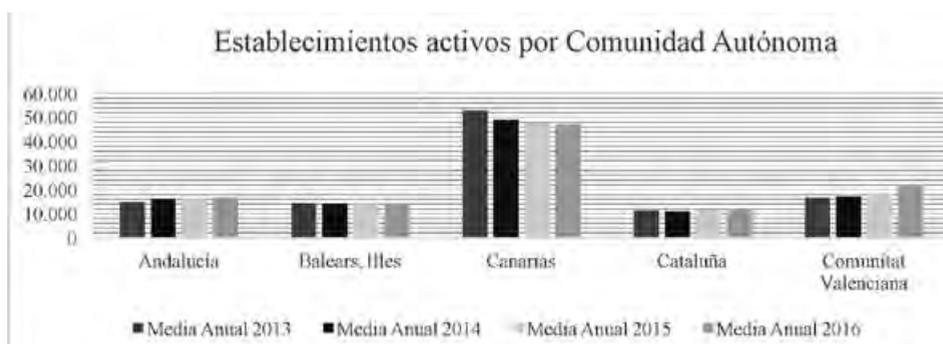


Figura 1.- Fuente INE: Encuesta anual sobre ocupación de apartamentos turísticos. Media de establecimientos activos por año y comunidad autónoma (se han excluido las que tienen menos de 10.000 unidades).

En este mismo sentido, las Comunidades Autónomas que en su mayoría tienen asumidas las competencias en promoción y ordenación del turismo en su ámbito territorial, han ido introduciendo en su ordenamiento jurídico la regulación de los establecimientos de apartamentos turísticos. Más reciente aún son las regulaciones introducidas para las viviendas con fines turísticos.

En el caso que nos ocupa, nos encontramos con la intención de un promotor de inversión en la rehabilitación de un edificio de residencial de los años 20 del siglo pasado ubicado en el centro histórico de la ciudad de Granada. Se da la circunstancia que dicho edificio se encuentra catalogado por el planeamiento urbanístico por su interés histórico y además, por su ubicación concreta, se sitúa a una distancia cercana a otros edificios de gran valor histórico catalogados como bienes de interés cultural (B.I.C.) lo que hace estar dentro del espacio afectado por su entorno.

Con estas circunstancias nos proponemos llevar a cabo una intervención técnica donde respetando, como no puede ser de otra manera, los valores arquitectónicos e históricos que le dan valor en sí y los valores del entorno donde se encuentra, se consiga implementar el mayor grado de accesibilidad posible técnica y económicamente, sin olvidar que la normativa sectorial turística establece que todos los establecimientos de alojamiento turístico han de ser accesibles.

## 2. DESARROLLO/METODOLOGÍA

### 2.1. Descripción del objeto

Estamos ante un edificio que se construyó en la década de los años veinte del siglo pasado, de tipología edificatoria en medianería, cabecera de manzana. Se compone de bajo destinado a comercio, tres plantas de piso, una planta bajo torreta y torreón superior, destinándose en su origen a uso vivienda de renta. Todo ello sobre un solar de unos 140 m<sup>2</sup> ocupado al 100%.

El edificio se encuentra ubicado dentro de la delimitación declarada Conjunto Histórico de Granada, dividido éste a su vez en tres áreas homogéneas: Albaycin, Centro y Sacromonte. Así, en nuestro caso estamos en Área Centro para la que existe aprobado y en vigor, y por lo tanto de obligado cumplimiento, el Plan Especial de Protección, Reforma Interior y Catálogo del Área Centro de Granada [1] (en adelante Plan Centro). Así mismo, el edificio, por su características particulares fue incluido en el catálogo del Plan Centro con un nivel de catalogación B (el mínimo) y, además, por su ubicación concreta se encuentra afectado por el entorno de varios edificios catalogados con nivel BIC, siendo el más cercano la Casa de Los Vargas (Figura 2).

El Plan Centro fue aprobado en el año 2002, como desarrollo del Plan General de Ordenación Urbana de Granada [2], clasificando el patrimonio arquitectónico en dos grandes grupos: el Patrimonio Catalogado y el Patrimonio No Catalogado, estableciendo en el primero tres niveles de clasificación con subniveles en algunos casos:

- Nivel BIC para edificios monumentales y de valor excepcional, arquitectónico, histórico-artístico y cultural.
- Nivel A. Edificios de interés arquitectónico.
  - Nivel A1. Edificios de características singulares y de valor arquitectónico.

- Nivel A2. Edificios de características tipológicas y compositivas de especial significación arquitectónica, histórica o cultural.
- Nivel B. Edificios de interés en el conjunto urbano.

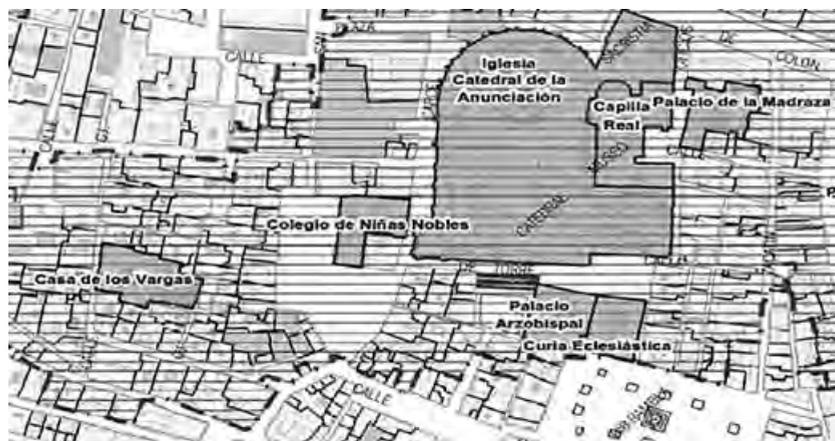


Figura 2: Plano de delimitación de bienes incluidos en el Catálogo General del Patrimonio Histórico Andaluz con indicación de Bienes de Interés General y sus entornos.

Ya referidos al edificio en sí, la planta baja tiene una altura de casi 4 metros entre suelo y techo, y el resto está en torno a 3 metros. El acceso desde la vía pública a las viviendas se hace por una puerta ubicada a la izquierda de la fachada donde, una vez dentro, nos encontramos con un zaguán amplio, dos peldaños, un pequeño rellano y, una vez aquí, nos disponemos a subir el primer tramo de escalera de 7 peldaños para llegar a una nueva meseta ya en el rectángulo de la caja de escalera. El resto de la escalera se desarrolla en forma de U, con tres idas dejando un ojo rectangular amplio. La caja de escalera tiene forma rectangular con unas dimensiones interiores libres de 4,10m x 2,80m, desarrollándose la misma con un ancho de 95cm, dejando un ojo interior de 2,20m x 0,75m aproximadamente (Figura 3).

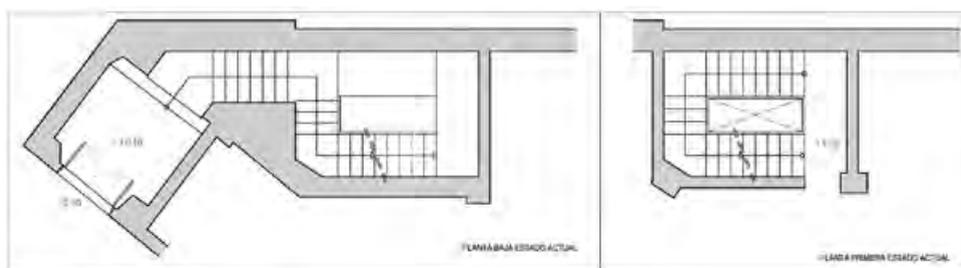


Figura 3. Levantamiento estado actual.

El ámbito de la escalera se encuentra flanqueado por muros de carga de fachada trasera, así como por las pilastras interiores que soportan el edificio. El resto de muros perimetrales, aunque son de importante sección, en principio, no tendríamos impedimento para actuar en ellos para la apertura de nuevos huecos.

## 2.2. Principal normativa de aplicación

En el momento que nos disponemos a realizar esta actuación técnica tenemos que analizar la normativa que nos afecta en las distintas disciplinas. En este caso, en primer lugar, estamos dentro un acto sujeto a licencia urbanística municipal<sup>1</sup>, por el hecho de pretender la ejecución de una intervención de reforma y rehabilitación de un edificio que tiene un uso característico previo residencial para destinarlo a un uso característico de establecimiento turístico. Así habrá que obtener la citada licencia urbanística municipal para las obras y el cambio de uso. Toda la actuación, en aplicación del artículo 2 de la Ley de Ordenación de la Edificación [5], se considera edificación a los efectos de esta norma y por lo tanto requiere de la elaboración de proyecto al tratarse de una intervención sobre un edificio existente, donde tiene por objeto el cambio del uso característico del edificio. Además, sin tener en cuenta el cambio de uso, se consideraría edificación a los efectos de esta ley también por tratarse de una intervención total en edificaciones catalogadas.

En atención al valor patrimonial del edificio, además de cumplir con lo establecido en el Plan Centro en general y de la ficha de catálogo del edificio en particular, debemos obtener previamente el informe sectorial<sup>2</sup>.

Por otro lado, desde la vertiente de protección medioambiental, debemos acudir a la Ley 7/2007, de 9 julio, de Gestión de la Calidad Ambiental de Andalucía [7], donde en su Anexo 1<sup>3</sup> establece en su epígrafe 13.31, que el nuevo establecimiento de apartamentos turísticos en suelo urbano, como es el caso, es una actuación que requiere de la tramitación de Calificación Ambiental<sup>4</sup> como instrumento de prevención control ambiental, al que habrá que someter el proyecto. Así una vez realizado el trámite administrativo de Calificación Ambiental se obtendrá, en el caso de que proceda, la obtención de la licencia municipal de actividad, en la que se establecerán los condicionantes para la puesta en funcionamiento que será al final del proceso.

Requiere un último mecanismo de control por la administración con competencias en turismo, para el ejercicio de la actividad de establecimiento de apartamentos turísticos, la clasificación del proyecto de establecimiento de alojamiento turístico<sup>5</sup>.

<sup>1</sup> En este caso por parte del Ayuntamiento de Granada. El artículo 169.1. de la Ley 7/2002, de 17 de diciembre, de Ordenación Urbanística de Andalucía [3] (en adelante LOUA) y el artículo 8 del Reglamento de Disciplina Urbanística de Andalucía [4] (en adelante RDU), aprobado Decreto 60/2010, de 16 marzo, establecen que están sujetos a previa licencia urbanística municipal, sin perjuicio de las demás autorizaciones o informes que sean procedentes con arreglo a la misma Ley o a la legislación sectorial aplicable, los actos de construcción o edificación e instalación y de uso del suelo, incluidos el subsuelo y el vuelo, y establece como acto particular en su letra d), las obras de construcción, edificación e implantación de instalaciones de toda clase y cualquiera que sea su uso, definitivas o provisionales, sean de nueva planta o de ampliación, así como las de modificación o reforma, cuando afecten a la estructura, la disposición interior o el aspecto exterior, y las de demolición de las existentes, salvo el supuesto de ruina física inminente.

<sup>2</sup> Informe preceptivo de la Delegación Territorial de Cultura, Turismo y Deporte en Granada, Servicio de Bienes Culturales, en cumplimiento de lo dispuesto en el artículo 33 de la Ley 14/2007, de 26 de noviembre, de Patrimonio Histórico de Andalucía [6], al encontrarse dentro del entorno del Bien de Interés Cultural Casa de los Vargas.

<sup>3</sup> Modificado por la Ley 3/2014, de 1 de octubre, de medidas normativas para reducir las trabas administrativas para las empresas.

<sup>4</sup> En Andalucía regulado por el Decreto 297/1995, de 19 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de Calificación Ambiental de Andalucía [8].

<sup>5</sup> Las competencias de clasificación de los proyectos de establecimientos turísticos reside en la Delegación Territorial de Cultura, Turismo y Deporte en Granada, Servicio de Turismo. Se trata de un control previo del cumplimiento del Decreto 194/2010, de 20 de abril, de establecimientos de apartamentos turísticos [9] y el Decreto 143/2014, de 21 de octubre, que regula la organización y funcionamiento del Registro de Turismo de Andalucía [10].

Por último, una vez concluidas las obras y previo al inicio de la actividad, será preceptivo obtener una nueva licencia urbanística municipal: Licencia de Utilización (según LOUA y RDUa); puesta en funcionamiento de la actividad y declaración responsable de inicio de actividad e inscripción en el registro de turismo ante la consejería competente en la materia, en el caso de Andalucía la Consejería de Turismo y Deporte.

Así el proyecto ha de responder al cumplimiento de toda la normativa urbanística, patrimonial, medioambiental, técnica y sectorial turística.

### **2.3. Definición de la actuación**

Una vez en el edificio y habiendo obtenido todos los datos de campo necesarios para conocer suficientemente su estado actual, nos disponemos a presentar una propuesta que cumpliendo los requisitos normativos de aplicación, se obtenga un resultado que satisfaga las expectativas del promotor y haga viable económicamente la intervención.

El objetivo es, conservando la planta baja como local comercial en las mismas condiciones actuales, reformar el resto de plantas para obtener diez unidades de alojamientos turísticos, sin modificar fachada ni volumetría del edificio, conservando los macizos y huecos de fachadas y, por lo tanto, conservando su aspecto exterior. En este sentido, la ficha de catálogo del edificio, establece como claves de interés especial su fachada y el torreón. El estado general de la estructura del edificio es bueno sin que se observen patologías significativas. Dicha estructura se desarrolla por medio de muros de carga perimetrales, dos pilastras de fábrica de ladrillo en la zona de escalera y cuatro pies derechos entre vanos, forjados unidireccionales con vigas y viguetas de madera sobre el que se apoya el tablero y armazón de madera en la estructura de cubiertas, siendo estas inclinadas.

De esta forma se propone realizar las siguientes intervenciones principales:

- Refuerzo en la estructura para alcanzar los requisitos de seguridad estructural para la nueva sobrecarga de uso. Sin haber entrado aún a realizar cálculos para comprobar, por la experiencia en otras intervenciones similares, se prevé la necesidad realizar un refuerzo generalizado en la estructura horizontal por medio de un aumento del canto de forjado sustituyendo la capa de compresión por una nueva en hormigón armado y en los pies derechos de madera se prevé la necesidad de hacer un refuerzo mediante empresillado metálico, sin prever la necesidad de refuerzo de pilastras de ladrillo ni de muros de carga perimetrales.
- Implantación de un itinerario accesible, en su mayor grado posible, para lo que se pretende la implantación de un ascensor accesible desde la cota cero de planta baja. Con la opción que se ha diseñado es necesaria una reestructuración completa del diseño de la escalera en el tramo desde planta baja a planta primera, sin alterar las dimensiones del ámbito de la misma, salvo en el espacio que ocupa el ascensor propiamente dicho.
- Obras generales de albañilería, revestimientos, instalaciones y acabados para conseguir en la nueva distribución interior de las plantas las diez unidades de alojamientos turísticos.

### 2.3. Cambio de uso

Para la implantación del nuevo uso del edificio necesitamos que se autorice por medio de la licencia urbanística municipal. Nuestro edificio, estando en un suelo clasificado por el PGOU de Granada como Suelo Urbano Consolidado, con calificación Residencial Plurifamiliar en Manzana Cerrada tiene como propia la implantación en este suelo de edificaciones con uso pormenorizado dominante el Residencial Vivienda Plurifamiliar, en régimen libre o de protección pública<sup>6</sup>, estableciéndose como usos pormenorizados permitidos entre otros el Residencial Singular<sup>7</sup>. Así la operación pasaría por obtener autorización de cambio de uso pormenorizado del suelo de Residencial Vivienda Plurifamiliar a Residencial Singular para así poder implantar el uso no exclusivo Alojamiento Hotelero, que será el que nos permita implantar un establecimiento de alojamientos turísticos.

Ahora bien, vista la viabilidad del cambio de uso a los efectos urbanísticos y del propio plan especial de protección, nos disponemos a ver el uso del edificio según consideración de la LOE, desarrollada por el Código Técnico de la Edificación [12] (en adelante CTE). En su Parte I, artículo 2 sobre el ámbito de aplicación, según redacción actual<sup>8</sup> establece que *“En todo cambio de uso característico de un edificio existente se deberán cumplir las exigencias básicas del CTE. Cuando un cambio de uso afecte únicamente a parte de un edificio o de un establecimiento, se cumplirán dichas exigencias en los términos en que se establece en los Documentos Básicos del CTE”*. De igual forma debemos tener en cuenta que en el mismo artículo se establece que *“Cuando la aplicación del Código Técnico de la Edificación no sea urbanística, técnica o económicamente viable o, en su caso, sea incompatible con la naturaleza de la intervención o con el grado de protección del edificio, se podrán aplicar, bajo el criterio y responsabilidad del proyectista o, en su caso, del técnico que suscriba la memoria, aquellas soluciones que permitan el mayor grado posible de adecuación efectiva.”*

Sin embargo en el Documento Básico de Seguridad en caso de Incendio (DB SI) en su punto apartado III.- Criterios generales de aplicación, en su edición con comentarios<sup>9</sup>, incluye uno referido directamente los apartamentos turísticos en edificios de uso residencial vivienda<sup>10</sup>, haciendo alusión a otro comentario de la parte de Terminología dentro de

<sup>6</sup> Artículo 7.12.13. Condiciones particulares de uso del PGOU de Granada y artículo 9.5.11. Condiciones particulares de uso del Plan Centro.

<sup>7</sup> Según el artículo 6.2.7. del PGOU que define el Uso de Alojamiento Hotelero, discriminando dos situaciones principales: uso exclusivo y uso no exclusivo de alojamiento hotelero. En nuestro caso estaríamos en el no exclusivo al coexistir con el local comercial en la planta baja. Permite establecer el Uso Alojamiento Hotelero como uso dominante en el edificio sobre suelos donde esté permitido el uso pormenorizado Residencial Singular.

<sup>8</sup> La aprobación de la Ley 8/2013, de 26 de junio, de rehabilitación, regeneración y renovación urbanas [11], modificó parte del CTE.

<sup>9</sup> Ver pregunta nº [556] Carácter vinculante de los documentos básicos y los de apoyo. (<http://uaaap.blogspot.com.es>)

<sup>10</sup> *“Apartamentos turísticos en edificios de uso residencial vivienda. Ver comentario Apartamentos turísticos vinculado a la definición de Uso Residencial Público en SI A Terminología. Desde el punto de vista de la seguridad contra incendios, en un edificio de apartamentos llamados “turísticos” que en todo sea comparable a otro de apartamentos “no turísticos”, es decir, de uso Residencial Vivienda, no hay nada que haga que el riesgo de incendio para los ocupantes sea mayor y que justifique que las condiciones de protección contra incendios deban ser diferentes y más severas. Ni siquiera la supuesta “no familiaridad” de los ocupantes con el edificio, si la configuración del edificio es la normal y habitual de un edificio de apartamentos, incluso aunque tenga algunos servicios comunes que en sí mismos no representen un riesgo y que también sean frecuentes en edificios de viviendas, como pueda ser una recepción similar a una conserjería, una piscina, etc. Como conclusión, dichos apartamentos “turísticos”, se deben clasificar como uso Residencial Vivienda, por lo que una reconversión a*

la definición de Uso Residencial Público<sup>11</sup>, donde incluye a los apartamentos turísticos, y con el comentario aclara que quedarían fuera de esta definición, y por tanto dentro de la de Uso Residencial Vivienda, los apartamentos turísticos que carezcan de servicios o zonas comunes tales como limpieza, comedor, lavandería, locales para reuniones y espectáculos, deportes, etc.. Así queda justificada que en aplicación del CTE, tanto en el DB SI como en el Documento Básico de Seguridad de Utilización y Accesibilidad (DB SUA), en nuestro caso que se tratan de diez unidades de alojamiento sin servicios comunes, no se debe considerar un Uso Residencial Público sino el Uso Residencial Vivienda, ya que tiene mayor semejanza.

## 2.4. Dotación de accesibilidad.

Para conseguir las condiciones básicas de accesibilidad y no discriminación de las personas con discapacidad nos atenemos al CTE DB SUA<sup>12</sup>. También es de aplicación, por encontrarnos en la comunidad autónoma de Andalucía, el Decreto 293/2009, de 7 de julio, por el que se aprueba el reglamento que regula las normas para la accesibilidad en las infraestructuras, el urbanismo, la edificación y el transporte en Andalucía [14].

Tenemos que implantar un Itinerario Accesible<sup>13</sup> en el edificio: accesibilidad en la entrada, entre las plantas y en las propias plantas, y además, debemos dotar al menos una unidad de alojamiento con las condiciones de Alojamiento Accesible<sup>14</sup>.

Con la solución adoptada, en la que proponemos la ubicación del ascensor al fondo de la caja de escalera, ocupando local en planta baja y superficies de las viviendas en las plantas altas, nos vemos obligados a realizar una reestructuración completa del primer tramo de escalera (desde planta baja a planta primera) en el que se estrecha su anchura con respecto a la que tenía originalmente. Conseguimos tener un pasillo en el itinerario accesible de 1,20 m, salvo en un tramo recto de 1,50 de longitud que se queda en 1,10 m de ancho cumpliendo con el mínimo para uso Residencial Vivienda, lo que nos provoca que la nueva escalera se reduzca a un ancho de 83 centímetros. Según el Documento de Apoyo al DB SUA [15], en su *Tabla 1. Condiciones básicas de accesibilidad*, en las escaleras de uso general no indica

---

*dicha actividad no se considera un cambio de uso a efectos del CTE. Todo ello al margen y sin perjuicio del control que se quiera y se le deba aplicar desde el punto de vista administrativo, económico, fiscal, sanitario, etc. El anterior criterio es válido, tanto si se trata de algunos apartamentos de un edificio, como si se trata de todos. Y tanto si se trata de un edificio existente, como si se trata de una obra nueva. No obstante lo anterior, hay que tener en cuenta que la ocupación de los apartamentos utilizados bajo un régimen turístico suele ser mayor que la de las viviendas (1 pers/20 m<sup>2</sup>) por lo cual se debe cumplir la exigencia de SI 3-2.1 según la cual se deben aplicar densidades de ocupación mayores cuando estas sean previsibles, las cuales en este caso serían las resultantes de los ratios de ocupación que establezca la administración turística que conceda las autorizaciones correspondientes a la actividad.”*

<sup>11</sup>“La referencia a “apartamentos turísticos” alude a establecimientos tipo apartotel dotados con los servicios y zonas comunes que se citan en la definición, no a apartamentos normales que se gestionen bajo un régimen que, aunque se considere turístico por la administración competente, carece de relevancia para los objetivos de los documentos básicos DB SI y DB SUA.”

<sup>12</sup>Texto Refundido de la Ley General de derechos de las personas con discapacidad y de su inclusión social. (Real Decreto Legislativo 1/2013, de 29 de noviembre [13]. (Consolidado 25/06/2015).

<sup>13</sup>Ver definición de Itinerario Accesible en apartado Terminología CTE DB SUA

<sup>14</sup>Según CTE DB SUA: “Alojamiento accesible: Habitación de hotel, de albergue, de residencia de estudiantes, apartamento turístico o alojamiento similar; que cumple todas las características que le sean aplicables de las exigibles a las viviendas accesibles para usuarios de silla de ruedas y personas con discapacidad auditiva, y contará con un sistema de alarma que transmita señales visuales visibles desde todo punto interior, incluido el aseo.”

que su ancho tenga relación alguna con estas condiciones básicas de accesibilidad. Por otro lado en la *Tabla 4.1 Escaleras de uso general. Anchura útil mínima de tramo en función del uso* (DB SUA), que establece como ancho mínimo de las escaleras de uso general, marca un ancho mínimo para Uso Residencial Vivienda de 1,00 m, estableciendo como excepción del cumplimiento en edificios existentes, cuando se trate de instalar un ascensor que permita mejorar las condiciones de accesibilidad para personas con discapacidad sin establecer mínimo.

Así, en este caso, solamente tendríamos como condición mínima de ancho la que nos permita el DB SI por las dimensiones de los elementos de evacuación en caso de incendio. Por otro lado tenemos que considerar los cálculos como escalera protegida, ya que por la propia imposición del edificio existente, para poder cumplir con el requisito de longitud máxima de recorrido de evacuación, se ha optado por hacer la escalera protegida para así acortar este recorrido de evacuación y poder cumplir con la distancia máxima prescrita ( $\leq 25$  m). Atendiendo a la *Tabla 4.1 Dimensionado de los elementos de la evacuación* de DB SI, para escaleras protegidas tenemos que cumplir:

$$E \leq 3 S + 160 A_s$$

$$34 \leq 3 \times 35 + 160 \times 0,83$$

$$34 \leq 237,8$$

Donde

E = Suma de los ocupantes asignados a la escalera en la planta considerada más los de las plantas situadas por encima.

S = Superficie útil de la escalera protegida en el conjunto de las plantas de las que provienen las P personas, incluyendo la superficie de los tramos, de los rellanos y de las mesetas intermedias o bien del pasillo protegido.

A<sub>s</sub> = Anchura de la escalera protegida en su desembarco en la planta de salida del edificio, [m].

En nuestro caso con una escalera de un ancho de 83 centímetros en el tramo de arranque en la planta baja vemos como es suficiente desde el punto de vista de evacuación en caso de incendio (figura 4).

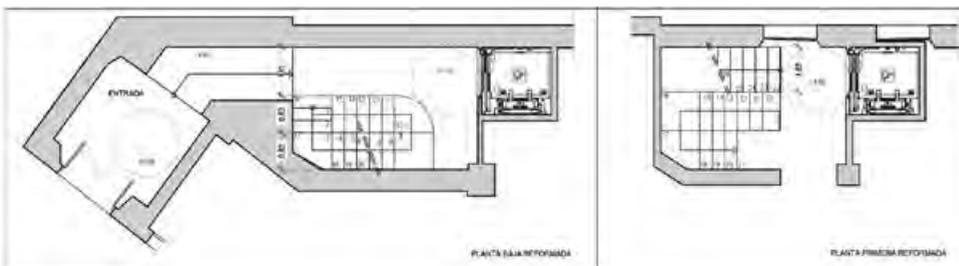


Figura 4. – Propuesta de estado reformado.

De esta forma hemos conseguido implantar un itinerario accesible aplicando los criterios de intervención en edificios existentes de no empeoramiento de las condiciones pre-

existentes salvo cuando se explicita en el propio DB, proporcionalidad entre el alcance constructivo de la intervención y el nivel de prestación exigido y flexibilidad en la aplicación del CTE cuando no sea urbanística, técnica o económicamente viable o en su caso incompatible con el grado de protección del edificio.

### 3. CONCLUSIONES

La adaptación de los edificios con valores patrimoniales protegidos, incluso cambiando el uso de los mismos, no implica de antemano que no se puedan mejorar las condiciones de accesibilidad e incluso conseguir su adecuación a las condiciones básicas.

El cambio de uso característico de los edificios desde el punto de vista urbanístico y administrativo, no implica obligatoriamente un cambio de uso a efectos de aplicación del CTE.

Como consecuencia de que el CTE es un código de tipo prestacional, basado en objetivos propuestos, nos permite alcanzar las condiciones adecuadas para que los edificios puedan ser usados sin prescripciones previas, de una forma justificada y abierta a la innovación y el desarrollo. En el caso de intervención en escaleras de edificios existentes, aun disminuyendo el ámbito de las mismas, es posible alcanzar los requisitos básicos, en este caso relativos a la seguridad en caso de incendio y los relativos a la funcionalidad, utilización y accesibilidad.

### 4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Plan Especial de Protección, Reforma Interior y Catálogo del Área Centro de Granada (B.O.P. Granada nº 186, de 14 de agosto de 2002)
- [2] Plan General de Ordenación Urbana de Granada se aprobó definitivamente por resolución de la Consejería de Obras Públicas de la Junta de Andalucía el 9 de febrero de 2001, entrando en vigor con su publicación en el BOJA el 5 de marzo de 2001 y publicado en el B.O.P de 10 de mayo de 2001.
- [3] Ley 7/2002, de 17 de diciembre, de Ordenación Urbanística de Andalucía. (Consolidado 6/8/2016).
- [4] Decreto 60/2010, de 16 marzo, por el que se aprueba Reglamento de Disciplina Urbanística de Andalucía.
- [5] Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la edificación (LOE). (Consolidado 15/07/2015).
- [6] Ley 14/2007, de 26 de noviembre, de Patrimonio Histórico de Andalucía.
- [7] Ley 7/2007, de 9 julio, de Gestión de la Calidad Ambiental de Andalucía.
- [8] Decreto 297/1995, de 19 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de Calificación Ambiental de Andalucía.
- [9] Decreto 194/2010, de 20 de abril, de establecimientos de apartamentos turísticos.
- [10] Decreto 143/2014, de 21 de octubre, que regula la organización y funcionamiento del Registro de Turismo de Andalucía.
- [11] Real Decreto Legislativo 7/2015, de 30 de octubre por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Suelo y Rehabilitación Urbana.
- [12] Real Decreto 314/2006 de 17 de marzo por el que se aprueba el Código Técnico de Edificación. (Consolidado 27/06/2013). Real Decreto 173/2010, de 19 de febrero, por el que se modifica el Código Técnico de la Edificación, aprobado por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, en materia de accesibilidad y no discriminación de las personas con discapacidad.
- [13] Texto Refundido de la Ley General de derechos de las personas con discapacidad y de su inclusión social. (Real Decreto Legislativo 1/2013, de 29 de noviembre. (Consolidado 25/06/2015).

- [14] Decreto 293/2009, de 7 de julio, por el que se aprueba el reglamento que regula las normas de accesibilidad en las infraestructuras, el urbanismo, la edificación y el transporte en Andalucía.
- [15] Documento de Apoyo al Documento Básico DB-SUA Seguridad de utilización y accesibilidad. Versión del 26 de diciembre de 2017. Ministe

**CUBIERTAS VEGETALES EN EDIFICIOS E  
INFRAESTRUCTURAS. CRITERIOS PARA LA ELECCIÓN  
DE LAS ESPECIES EN ARAGÓN**

ACERO OLIETE, ALEJANDRO<sup>1</sup>; LORÉN ZARAGOZANO, FCO. JAVIER<sup>2</sup>;  
DIAGO BORRA, JOSÉ RAMÓN<sup>3</sup>; PÉREZ BENEDICTO, JOSÉ ÁNGEL<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Grupo de Investigación Hidráulica y Ambiental Escuela Universitaria Politécnica, La Almunia de Doña Godina, España

E-mail: [acero@unizar.es](mailto:acero@unizar.es), Web: [www.eupla.unizar.es](http://www.eupla.unizar.es)

<sup>2</sup> Grupo de Investigación Hidráulica y Ambiental Escuela Universitaria Politécnica, La Almunia de Doña Godina, España

E-mail: [floren@unizar.es](mailto:floren@unizar.es), Web: [www.eupla.unizar.es](http://www.eupla.unizar.es)

<sup>3</sup> Escuela Universitaria Politécnica, La Almunia de Doña Godina, España

E-mail: [jrdiago@unizar.es](mailto:jrdiago@unizar.es), Web: [www.eupla.unizar.es](http://www.eupla.unizar.es)

<sup>4</sup> Escuela Universitaria Politécnica, La Almunia de Doña Godina, España

E-mail: [joanpebe@unizar.es](mailto:joanpebe@unizar.es), Web: [www.eupla.unizar.es](http://www.eupla.unizar.es)

**PALABRAS CLAVE:** CUBIERTAS, VERDES, ESPECIES, EFICIENCIA, ENERGÉTICA.

**RESUMEN**

La sostenibilidad y la adaptación al cambio climático están fomentando el desarrollo de edificios “verdes” que mejoran la calidad de vida de los ciudadanos y minimizan los impactos ambientales. Una de los aspectos relevantes de los edificios “verdes” es la creación de cubiertas verdes que contribuyen a crear una micronaturaleza en los edificios. A la hora de establecer las cubiertas verdes hay que tener en cuenta la estructura del edificio, el clima del lugar, la impermeabilización y las especies elegidas.

La correcta elección de las especies es fundamental para el éxito de la cubierta, especial-

mente en lugares como Zaragoza, con clima de extremos: frío en invierno, calor en verano, baja pluviometría y el viento “cierzo” muy presente a lo largo del año.

El correcto análisis previo de los factores determinantes contribuye a mejorar la eficiencia energética de los edificios, así como el aspecto paisajístico.

## 1. INTRODUCCIÓN

Dentro del marco de la sostenibilidad, y sobre todo a tenor de la preocupación por el Cambio climático, se están planteando una serie de acciones para desarrollar lo que se denomina: edificio “verde”, edificio que, en su diseño, construcción u operación, reduce o elimina los impactos negativos y puede crear impactos positivos en nuestro clima y entorno natural. Los edificios verdes preservan los recursos naturales preciosos y mejoran nuestra calidad de vida [1]

Hay una serie de características que pueden hacer que un edificio sea “verde”:

- Uso eficiente de energía, agua y otros recursos.
- Uso de energía renovable.
- Medidas de contaminación y reducción de desechos, y la habilitación del reciclado y el reciclaje.
- Buena calidad del aire ambiental en interiores.
- Uso de materiales no tóxicos, éticos y sostenibles.
- Consideración del medio ambiente en el diseño, construcción y operación.
- Consideración de la calidad de vida de los ocupantes en el diseño, construcción y operación.
- Un diseño que permite la adaptación a un entorno cambiante.

Cualquier edificio puede ser ecológico, ya sea un hogar, una oficina, una escuela, un hospital, un centro comunitario o cualquier otro tipo de estructura, siempre que incluya las características enumeradas anteriormente.

En este artículo, pretendemos analizar las cubiertas vegetales en el entorno de la ciudad de Zaragoza, y la contribución a la eficiencia energética de dichas cubiertas.

## 2. COMUNICACIÓN

### 2.1. Cubiertas verdes

Las ciudades, y especialmente las más grandes han perdido el contacto con la naturaleza a medida que han crecido, quedando cada vez más lejos los entornos naturales.

El ciudadano que vive en grandes ciudades tiene necesidad de sentir el contacto con la naturaleza. Así, los parques y jardines contribuyen al disfrute de la naturaleza por parte de los ciudadanos. Sin embargo, en algunas ciudades, en sus cascos antiguos no hay espacio para zonas ajardinadas. Por otra parte, también hay numerosas zonas en las ciudades sin zonas verdes próximas.

La sostenibilidad de muchas ciudades, está mejorando progresivamente en los últimos años. Además, la necesidad del contacto con la naturaleza, junto con la búsqueda de ciuda-

des sostenibles, en muchos casos enmarcadas en la Agenda21 local <sup>1</sup>, está fomentando la creación de espacios verdes en terrazas y azoteas de edificios, jardines verticales exteriores e incluso interiores, y microhuertos urbanos. Se pretende conseguir entornos más habitables y respetuosos con el medioambiente. Además, un fenómeno incipiente ha comenzado a producirse: la vegetación de las cubiertas de edificios; un proceso lento que va calando poco a poco.

Una cubierta verde es un sistema de múltiples capas que cubre la cubierta de un edificio o estructura con cubierta vegetal y que encaja en el Modelo TEDUS (Técnicas de drenaje urbano sostenible), en el apartado de elementos estructurales aplicados en origen.

Países como Japón, Alemania, EE.UU., Inglaterra, Países Bajos, Austria y Suiza han apostado por el fomento de las cubiertas verdes. Ciudades como Michigan, Chicago, Berlín, Tokio o incluso Madrid, han cubierto significativos edificios con vegetación. En Aragón tenemos algunos ejemplos en las cubiertas del Balneario de Panticosa (algo descuidadas), las marquesinas de las paradas del tranvía, y algún edificio de carácter privado.

Según el World Green Building Council, se estima que, a nivel mundial, los edificios consumen el 17 por ciento del agua potable, el 25 por ciento de la madera y entre el 30 y el 40 por ciento de la energía. Más del 30 por ciento de las emisiones de dióxido de carbono y un 40 por ciento de los desechos sólidos son originados también por la construcción de edificios. Los tejados verdes contribuyen a minimizar alguno de estos impactos al medioambiente.

Entre sus ventajas [2] [3]:

- Reducir la contaminación atmosférica.
- Incrementar la capacidad de retención de agua.
- Puede ser aplicado en núcleos de población de alta densidad.
- Contribuye a la implementación de energías renovables.
- Superficie libre utilizable.
- Mejora la biodiversidad ofreciendo un hábitat.
- No requiere la ocupación de superficies específicas.
- Mejora la calidad del aire.
- Ayudar a gestionar los impactos de isla de calor urbano.
- Ahorra energía, buen aislamiento térmico.
- Prolonga la vida útil de la impermeabilización.
- Incrementa la absorción acústica.

Por otra parte, la vegetación puede aportar además [4]

- Estética (Visual, sonidos, aromas).
- Resistencia al fuego.
- Sombra.
- Transpiración.
- Producción de oxígeno.
- ✓ Protección del viento

---

<sup>1</sup> El concepto de Agenda 21 tiene su origen en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo Sostenible o “Cumbre de la Tierra” celebrada en Río de Janeiro (Brasil, Junio de 1992). La Agenda 21 es un documento que consta de 40 capítulos los cuales estudian la conexión existente entre el medio ambiente, la economía y la sociedad, es un plan de acción global hacia el Desarrollo Sostenible.

Desventajas:

- Mayor coste constructivo en comparación con cubiertas convencionales.
- No es apropiado para cubiertas con grandes inclinaciones.
- Dificultades para la implementación en algunas estructuras.
- Mayor coste en mantenimiento de la vegetación.
- Dificultad de posibles reparaciones.

A la hora de establecer las cubiertas son factores determinantes:

- a) La resistencia estructural.
- b) La impermeabilización.
- c) Los factores climáticos.
- d) Las especies elegidas.

Existen tres tipos diferenciados de cubiertas verdes y se clasifican en función del espesor del sustrato y de las especies vegetales utilizadas: extensivos, intensivos y semi-intensivos. Se presentan en la tabla 1 algunas de las características más significativas [2]

*Tabla 1. Tipos de cubiertas verdes.*

	Extensivo	Semi-intensivo	Intensivo
Profundidad mm.	25-125	125-180	180-610
Peso kg/m <sup>2</sup>	74-122	122-195	170-390
Peso c/agua kg/m <sup>2</sup>	95-175	195-280	350-815
Plantas	Musgos, sedums, suculentas, y algunas gramíneas	Perennes seleccionadas, sedum, ornamentales, aromáticas y pequeños arbustos	Plantas perennes, césped, verde Putt, arbustos y árboles, agricultura en la azotea.
Altura plantas cm	15	1 a 3	10
Capacidad de retención de agua l/m <sup>2</sup>	25-64	70	113
Riego	No se recomienda, dependerá de la zona	Parcialmente, según sea necesario	Si, automático/fluido
Mantenimiento	Bajo/2-3 inspecciones por año	Medio/mensuales	Alto/quincenales
Coste	Bajo	Medio	Alto

## 2.2 Elección de especies para la climatología aragonesa

Con relación a los factores climáticos, en Aragón tenemos diversidad de climas, pero si nos centramos en la ciudad de Zaragoza que, prácticamente supone el 50% de la población de Aragón, hemos de recalcar que tiene inviernos fríos, acompañados de días de niebla, veranos muy calurosos, y el viento “Cierzo” que está presente en más de 200 días al año y

que magnifica el efecto térmico del frío invernal, y suaviza los intensos calores del verano. Por otra parte, las lluvias son irregulares, generalmente en otoño y primavera, y además escasas.

Conviene constatar que en las azoteas el movimiento del viento es más intenso, y que las altas temperaturas veraniegas se ponen claramente de manifiesto. El viento puede llegar a ocasionar deshidratación de las plantas, además de daños mecánicos importantes, en algunos momentos. Por otra parte, de existir paredes, estas se calientan incrementando las temperaturas soportadas por las plantas.

Las características del entorno en el que se ubican estas cubiertas, implican la necesidad de resolver algunas cuestiones agronómicas: la elección de un buen sustrato, la disponibilidad de agua, el drenaje de las aguas de riego y de lluvia, la exposición al viento, y el efecto isla de calor de las ciudades.

Todo ello conduce a tener muy en consideración las especies que se seleccionan para que se adapten a las condiciones ambientales, especialmente en ciudades con un clima duro y cambiante como el de Zaragoza.

Las especies más utilizadas en términos generales, y mejor adaptadas para el clima de Zaragoza, pertenecen a las gramíneas, algunas aromáticas, y también diversas especies suculentas, como los sedum.

Dada la importancia de una correcta elección de las plantas, pretendemos establecer algunas orientaciones sobre su elección.

En las azoteas cuando no haya limitación de cargas, cabe preparar el espacio adecuadamente con un buen sistema de drenaje, malla impermeabilizante y sustrato suficiente para el buen desarrollo de la vegetación. Para especies cespitosas, 15 cm de sustrato permeable son más que suficiente. Sin embargo, si se ponen plantas arbustivas de cierto desarrollo (1,5-2 m de altura) o árboles de pequeño desarrollo (< 3 m) convendrá que la capa de sustrato sea mayor; superior a los 20 cm y si la admisión de cargas lo permite, podría llegarse al medio metro. Esta capa no necesariamente tiene que distribuirse en toda la azotea, ya que pueden utilizarse maceteros para las plantas arbóreas. Por otra parte, es indispensable en nuestro entorno diseñar un sistema de riego para las plantas, ya sean microdifusores o riego localizado, dado que los veranos son extremadamente secos.

Entre las cespitosas cabe destacar el uso de gramíneas, y por su adaptación a las condiciones de Zaragoza, podría ponerse *Cynodon dactylon* (bermuda o grama) solo, o mezclado con *Festuca arundinacea*. Estas gramíneas tolerarían un cierto uso puesto que soportan un pisoteo ligero. Además, ambas especies se adaptan bien en este entorno. La grama puede tomar coloraciones marrones en invierno, si este es frío, retomando el verdor en primavera. Su ventaja radica en su adaptación a las temperaturas veraniegas y sus menores necesidades de agua.

En cuanto a las plantas arbustivas, son numerosas las especies que se adaptan bien, tanto de hoja perenne como caduca. La elección de unas u otras deberá contemplar la adaptación climática, así como el uso que se le va a dar a la azotea. Si va a ser un lugar de encuentro de vecinos, o únicamente un espacio visible desde edificios más altos. En el primer caso, cabría priorizar aquellas plantas que además de embellecer el espacio, creen un ambiente muy agradable por sus aromas, flores, texturas, etc. El abanico de plantas disponibles es muy amplio. Citamos algunas: rosales de diversos tipos, *Abelia x grandiflora* (florece gran parte del año), *Buxus sempervirens* (boj), *Euonymus* spp (bonetero, sensible a oidio y cochinitillas), *Laurus nobilis* (laurel), *Nerium oleander* (adelfa), *Myrtus communis* (mirto), *Pittospor-*

rum tobira (pitósporo), *Prunus laurocerasus* (laurel cerezo), *Santolina chamaecyparissus* (abrótano), *Teucrium fruticans* (teucrio), *Photinia x fraserii* (fotinia), *Cornus alba* (cornejo), *Hibiscus syriacus* (rosal de Siria), *Forsythia x intermedia* (forsitia, floración temprana), *Spartium junceum* (Retama de olor, muy rústico), *Spiraea spp* (espirea), *Lantana spp* (lantana), *Lavandula angustifolia* (espliego o lavanda), *Rosmarinus officinalis* (romero), *Thymus spp* (tomillo), etc.

Además, pueden ponerse plantas de porte rastrero: *Juniperus x media* (enebro) que se adapta bien, e incluso si hubiese una zona sombreada que no se fuese a pisar, *Hedera hélix* (hiedra).

También cabe la opción de poner pequeños árboles, recordando que las plantas crecen y que incluso los árboles clasificados como de crecimiento reducido, acaban teniendo alturas entre tres y cinco metros, y diámetros de copa superiores a los tres metros. Entre ellos, podemos citar: *Albizia julibrissim* (acacia de Constantinopla), *Cercis siliquastrum* (árbol del amor), *Eleagnus angustifolia* (paraíso. Flor muy aromática), *Eryobotria japónica* (níspero), *Prunus cerasifera* ‘Atropurpúrea’, *Pinus mugho* (pino mugo, apenas crece metro y medio).

Por último cabe la posibilidad de utilizar plantas carnosas adaptadas al frío (aptenias) y algunos sedum [5]

En resumen, existe un amplio abanico de plantas que pueden utilizarse. Estas son una muestra de plantas que se adaptan bien y que embellecerían una terraza.

### 2.3 Mejora en la eficiencia energética

De acuerdo con los criterios de la certificación ambiental de edificios Leed, en la categoría de parcelas Sostenibles, la instalación de una cubierta vegetal produce los beneficios medioambientales y económicos [1]:

- Reduce la cantidad de corriente de agua de lluvia, reduciendo el riesgo de inundaciones, ya que retienen un porcentaje elevado precipitaciones -hasta el 90%- y posteriormente, una parte se evapora, y el resto se conduce de manera retardada; y mejora la calidad de la misma, ya que filtra los contaminantes y metales pesados del agua de lluvia.
- Filtra contaminantes y CO<sub>2</sub> del aire, reduciendo la contaminación a través de un proceso natural.
- Reduce el consumo de energía ya que proporciona aislamiento térmico. Funciona como regulador de la humedad y también de la temperatura interior debido a la inercia térmica que puede proporcionar la cubierta vegetal en su conjunto.
- Aumenta la vida útil de la cubierta, ya que la barrera impermeable queda protegida de la radiación solar, del calor y el frío, y de las tormentas.
- Reduce el efecto de isla de calor en el ambiente urbano, y proporciona espacio verde para cultivar o para el esparcimiento, según el tipo de cubierta vegetal.
- Promueve la biodiversidad ya que permite el crecimiento de especies. El desarrollo de huertos urbanos en azoteas puede ser una opción interesante en los entornos urbanos, e incluso ofrece la posibilidad de poder cultivar nuestros propios productos “en casa”.

Estudios recientes de la Universidad Politécnica de Madrid y de la Universidad Politécnica delle Marche (Italia) han analizado la eficiencia energética que una cubierta vegetal situada en un clima mediterráneo costero aporta a las edificaciones; demostrando que las cubiertas verdes con elevada densidad de vegetación son un 60% más eficientes energéticamente que las que no incluyen vegetación. [6]

### 3. CONCLUSIONES

En este artículo se han mostrado los beneficios que sobre la eficacia energética, sobre el urbanismo y sobre la sostenibilidad tienen la implantación de las cubiertas verdes.

Así mismo se han enunciado los diferentes tipos de cubiertas verdes y especies que mejor se adaptan a un clima tan adverso para la jardinería como es el clima de la ciudad de Zaragoza, resaltando la importancia de los factores climáticos a la hora de implantar esta solución constructiva.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] World Green Building Council, «<http://www.gbce.es/pagina/certificacion-leed>,» 2014. [En línea].
- [2] A. Y. Jiménez Camacho, «Modelización de Low Impacts Developments a través,» <http://zaguan.unizar.es>, La Almunia de Doña Godina, 2015.
- [3] A. ABELLÁN, «<https://www.iagua.es/blogs/ana-abellan/drenaje-urbano-sostenible>,» 2016. [En línea].
- [4] Grupo Técnico de Techos Verdes, «Recomendaciones técnicas de proyectos de cubiertas vegetales,» I.S.B.N: 978-956-7911-14-1. [En línea].
- [5] M. Soto, L. Barbero, M. Coviella y S. Stancanelli, «<https://inta.gob.ar/documentos/catalogo-de-plantas-para-techos-verdes>,» s.f. [En línea].
- [6] F. LIVIERI, C. DI PERNA, M. D’ORAZIO, L. OLIVIERI y J. NEILA, «Experimental measurements and numerical model for the summer performance assessment of extensive green roofs in a Mediterranean coastal climate,» *Energy and Buildings*, vol. 63, 2013.



ÁREA VII.

CONTROL DE CALIDAD



## **PROGRAMACIÓN Y SEGUIMIENTO DEL CONTROL DE CALIDAD DE LA OBRA CON METODOLOGÍA BIM**

PÉREZ NAVARRO, JULIÁN<sup>1</sup>; PÉREZ EGEA, ADOLFO<sup>2</sup>

*<sup>1</sup> Colegio Oficial Arquitectos Técnicos Región Murcia, Murcia, España*

*E-mail: gabinete@coaatmu.es, Web: <http://www.coaatiemu.es>*

*<sup>2</sup> Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, España*

*E-mail: [adolfo.perez@upct.es](mailto:adolfo.perez@upct.es), Web: <http://www.arte.upct.es/>*

**PALABRAS CLAVE:** Control de calidad; CTE; EHE; BIM; Programación; Seguimiento.

### **RESUMEN**

La metodología BIM nos está permitiendo crear nuevos roles y procedimientos de trabajo, que, desde un punto de vista optimista, suponen una oportunidad para avanzar y hacer mejor las obras, y de otra, permite que las empresas se tecnifiquen, de manera que nuestro sector se parezca un poco más a otros industrializados.

Esta transformación afecta a todos los agentes y empresas que intervienen en las obras. Los Arquitectos Técnicos seguiremos desarrollando encargos profesionales tradicionales como el control de calidad, la seguridad y salud, el control económico, el análisis de proyecto, etc..., en un nuevo escenario más tecnológico.

Esta comunicación propone un análisis sobre la metodología de trabajo y la información que puedo extraer de un modelado BIM y sus familias, para de un lado, realizar un programa de control, y de otro, llevar el registro y seguimiento del control, tanto de productos, ejecución y obra terminada.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la exposición de motivos de la Ley de Ordenación de la Edificación [1] se justifica que “la sociedad demanda cada vez más la calidad de los edificios” y entre las medidas que se establecen para aumentar la calidad de los edificios es la delimitación de las responsabilidades de todos los agentes de la edificación.

Nos centramos en las referentes al Director de Ejecución de la Obra. Así pues, de las relacionadas en el artículo 13 de la LOE, destacamos las siguientes:

*“b) Verificar la recepción en obra de los productos de construcción, ordenando la realización de ensayos y pruebas precisas.*

*c) Dirigir la ejecución material de la obra comprobando los replanteos, los materiales, la correcta ejecución y disposición de los elementos constructivos y de las instalaciones, de acuerdo con el proyecto y con las instrucciones del director de obra.*

*f) Colaborar con los restantes agentes en la elaboración de la documentación de la obra ejecutada, aportando los resultados del control realizado.”*

El desarrollo normativo de estas obligaciones se realiza en el Código Técnico de la Edificación [2] y concretamente en su artículo 7 “Condiciones en la ejecución de las obras”, se establece que durante la construcción se realizará:

- a) Control de recepción en obra de los productos, equipos y sistemas que se suministren a las obras de acuerdo al artículo 7.2.
- b) Control de ejecución de la obra de acuerdo con el artículo 7.3.
- c) Control de la obra terminada de acuerdo con el artículo 7.4.

También tendremos que tener en cuenta la normativa que afecta a las estructuras de hormigón armado EHE-08 [3]. En este sentido, el control se estructura igualmente en:

- Recepción (Productos componentes, Hormigón, Acero y armaduras).
- Ejecución.
- Obra terminada.

Por tanto, independientemente del volumen de la obra, nos enfrentamos a un elevado número de controles que es necesario organizar, que cuentan con algunas metodologías publicadas [4] y [5], que tratan de facilitar su aplicación, pero no alivian el alto grado de exigencia.

¿La metodología BIM puede facilitar el cumplimiento de estas obligaciones?

## 2. PLAN Y PROGRAMA DE CONTROL

El proyecto de ejecución de edificación deberá incluir en su memoria un anejo con un plan de control que identifique cualquier comprobación que pudiera derivarse del mismo, así como la valoración del coste total del control, que se reflejará como un capítulo independiente en el presupuesto del proyecto.

Antes de iniciar las actividades de control en la obra, la Dirección Facultativa aprobará un programa de control, preparado de acuerdo con el plan de control definido en el pro-

yecto, y considerando el plan de obra del Constructor. El programa de control contemplará, al menos, los siguientes aspectos:

- a) la identificación de productos y procesos objeto de control, definiendo los correspondientes lotes de control y unidades de inspección, describiendo para cada caso las comprobaciones a realizar y los criterios a seguir en el caso de no conformidad
- b) la previsión de medios materiales y humanos destinados al control con identificación, en su caso, de las actividades a subcontratar
- c) la programación del control, en función del procedimiento de autocontrol del Constructor y el plan de obra previsto para la ejecución por el mismo;
- d) la designación de la persona encargada de las tomas de muestras, en su caso; y
- e) el sistema de documentación del control que se empleará durante la obra



Figura 1: Organización del control, documentos resultantes y agentes del proceso.

### 3. METODOLOGÍA BIM

Hasta la implementación de la metodología BIM en nuestro sector, el cumplimiento del proceso de planificación y programación del control se realizaba, ajeno a un sistema centralizado de información y con participación colaborativa de los distintos agentes implicados según la LOE (Dirección facultativa, constructor, entidades y laboratorios de control, suministradores de productos).

BIM (Building Information Modeling) significa utilizar una metodología de trabajo que conlleva la creación y desarrollo de una base de datos del edificio con representación gráfica tridimensional en constante actualización. La información contenida en este sistema se encuentra abierta para todos los integrantes del equipo, quienes pueden usarla, reutilizarla y optimizarla. Esta base de datos debe estar alojada en un servidor centralizado situado en una nube común a todos los agentes que tengan acceso al modelo.

Así pues, abordar cualquier proceso tradicional bajo esta nueva metodología de trabajo y en base a las herramientas informáticas y de comunicación por internet actuales implica numerosas ventajas. El modelo tiene la capacidad de aumentar su nivel de información.

Si tratamos de concretarlo con Revit, podemos indicar que el modelo es una base de datos de elementos interrelacionados, permitiendo que los diferentes elementos constructivos de un proyecto tengan representación gráfica y distintos ítems de información asociada. Estos ítems de información asociada se denominan en Revit parámetros. Revit divide estos ítems de información en 4 grandes tipos: parámetros de sistema, parámetros de familia,

parámetros compartidos y parámetros de proyecto. La mayoría de estos parámetros pueden ser a su vez parámetros de ejemplar o de tipo según se categoricen elementos o tipos de elementos. Estos ítems pueden contener a su vez diferente tipo de información (numérica, entero, texto,...), por tanto a los parámetros podemos añadirle información de diferente índole: fechas, aceptación o no, resistencias, etc.. Tratamos de abordarlo en los siguientes apartados de esta comunicación.

### **BIM Execution Plan (BEP)**

El BIM Manager, o la persona física o jurídica que ejerza sus funciones, deberá al principio del proceso identificar los objetivos y criterios de calidad que se aplicarán tanto al proyecto (Plan de Control) como en la ejecución de la obra (Programa de Control).

Así pues, es indispensable que en la Matriz de Responsabilidades estén claramente asignadas las tareas de cada uno de los agentes intervinientes en el modelo BIM y en especial aquellas funciones que estén relacionadas con el Control de los parámetros de calidad.

### **Plan de Control de Calidad sobre modelos BIM**

El modelo BIM deberá contener los parámetros a controlar de cada una de las unidades de obra. Para ello, los responsables del Plan de Control y Programa de Control, deberán definir sobre los elementos del modelo aquellos parámetros que le son exigibles, estableciendo los criterios de aceptación y/o rechazo.

Por ejemplo, sobre la unidad de inspección “Pilares de Hormigón” definirá parámetros de tipo:

- Geométrico, tales como dimensiones reales, la excentricidad respecto de sus ejes teóricos (rejillas), o desplome sobre la vertical de su eje.
- Resistencia de materiales, Resistencia del hormigón empleado, tipo de acero empleado en las armaduras.

Sobre los parámetros de tipo geométrico, todos los ejemplares del proyecto deberán cumplir con las condiciones expuestas. Por ello, desde el Plan de Control de Calidad se le asignará a cada uno de los elementos de la unidad de obra contenidos en el modelo, un parámetro de tipo asociado al grupo de parámetros Control de Calidad que defina la obligación de inspeccionar ese elemento. Por ejemplo, respecto de la unidad de inspección “*Pilares de Hormigón*”, comprobaremos su geometría, desplome y excentricidad respecto de los ejes, por lo que asignaremos un parámetro de tipo al que podemos llamar *Verificación geométrica* y le fijaremos el valor del parámetro en *obligatorio*. También definiremos otro parámetro de ejemplar para determinar la condición de aceptación o rechazo al que identificaremos como *Correspondencia Geométrica*, con dos valores binarios posibles, *Aceptado* y *Rechazado*.

Para el control de la resistencia del hormigón empleado, definiremos el parámetro en función del porcentaje de elementos o cantidades de materiales a inspeccionar. Por ejemplo, para verificar la resistencia del hormigón de la unidades de inspección estructurales “*Pilares de Hormigón*”, cuantificaremos, con los datos de las mediciones extraídas del modelo y los plazos de ejecución establecidos en la programación del modelo BIM para los elementos a controlar, los volúmenes de hormigón de la unidad de obra a inspeccionar e identificaremos los lotes existentes en la obra.

Sobre el modelo BIM definiremos para cada tipo presente en la Unidad de Obra a ins-

peccionar un parámetro de ejemplar, que identifique el lote al que pertenece, otro parámetro para designar la fecha en la que ha sido hormigonado, así como el resto de parámetros a inspeccionar.

#### 4. RESULTADOS

A continuación, desarrollamos a modo de ejemplo la metodología a seguir para el Control de Calidad con Revit de algunas unidades de obra en fase de estructura.

##### **Paso 1.** Definición de parámetros compartidos.

Los parámetros compartidos pueden aparecer en varios proyectos o familias. Sirven para añadir datos específicos que no están predefinidos en una familia o plantilla de proyecto. Los parámetros compartidos son guardados en archivos independientes del proyecto.

- Definiremos un parámetro compartido de ejemplar llamado *Lote* con la siguiente serie de valores posibles: *PB, PI*, etc.
- Definiremos otro parámetro para identificar la Fecha de Hormigonado, con valores de ejemplo 20180101, con formato de número (Autodesk Revit 2017 no permite generar parámetros con formato de fecha).
- Definiremos el resto de parámetros de la Unidad de inspección según la figura 2

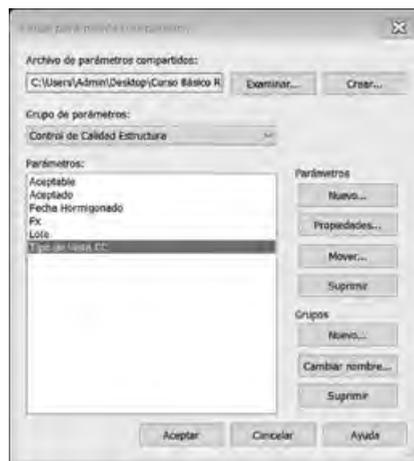


Figura 2. Autodesk Revit. Creación de parámetros compartidos.

##### **Paso 2.** Introducción de parámetros compartidos en el proyecto

Crearemos los parámetros de proyecto correspondientes a cada uno de los parámetros compartidos recientemente creados, asignándolos a las categorías correspondientes a elementos de modelo estructural, *Cimentación Estructural*, *Muros*, *Suelos*, y *Pilares Estructurales*.



Figura 3. Autodesk Revit. Creación de parámetros de proyecto a partir de los parámetros compartidos.

**Paso 3.** Creación de tablas de planificación de Control de Calidad Estructural.

Crearemos una tabla de planificación para cada categoría del modelo estructural incluyendo los campos creados y creando parámetros de evaluación para condicionar el formato de la celda correspondiente al campo Fx según los valores introducidos en relación a la resistencia del material estructural definido en el modelo.

La tabla incluye campos totalizados para la comprobación de los volúmenes y áreas de los elementos asignados a cada Lote.

<CC cimentación estructural>										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	
	Metra	Area	Volumen	Lote	Fecha	Resistencia	Material estruct.	Fx	Prop(Mt)	Acciones
A3	4,50 m <sup>2</sup>	1,58 m <sup>2</sup>	C1	20180101	25,00 MPa	25,00 MPa				
C2	3,92 m <sup>2</sup>	1,37 m <sup>2</sup>	C1	20180101	25,00 MPa	25,00 MPa				
B2	3,92 m <sup>2</sup>	1,37 m <sup>2</sup>	C1	20180101	25,00 MPa	25,00 MPa				
B3	3,92 m <sup>2</sup>	1,37 m <sup>2</sup>	C1	20180101	25,00 MPa	25,00 MPa				
C3	3,92 m <sup>2</sup>	1,37 m <sup>2</sup>	C1	20180101	25,00 MPa	25,00 MPa				
D3	3,92 m <sup>2</sup>	1,37 m <sup>2</sup>	C1	20180101	25,00 MPa	25,00 MPa				
D2	3,92 m <sup>2</sup>	1,37 m <sup>2</sup>	C1	20180101	25,00 MPa	25,00 MPa				
A2	4,50 m <sup>2</sup>	1,58 m <sup>2</sup>	C1	20180101	25,00 MPa	25,00 MPa				
C1-C2	11,48 m <sup>2</sup>	4,36 m <sup>2</sup>	C1	20180101	25,00 MPa	25,00 MPa				
B1-B2	11,48 m <sup>2</sup>	4,36 m <sup>2</sup>	C1	20180101	25,00 MPa	25,00 MPa				
A1-A2	11,84 m <sup>2</sup>	5,53 m <sup>2</sup>	C1	20180101	25,00 MPa	25,00 MPa				
A1-D1	27,95 m <sup>2</sup>	12,66 m <sup>2</sup>	C1	20180101	25,00 MPa	25,00 MPa				
A2-B2	5,97 m <sup>2</sup>	2,36 m <sup>2</sup>	C1	20180101	25,00 MPa	25,00 MPa				
A3-B3	5,97 m <sup>2</sup>	2,36 m <sup>2</sup>	C1	20180101	25,00 MPa	25,00 MPa				
D2-D3	14,54 m <sup>2</sup>	6,79 m <sup>2</sup>	C1	20180101	25,00 MPa	25,00 MPa				
A2-A3	13,50 m <sup>2</sup>	6,35 m <sup>2</sup>	C1	20180101	25,00 MPa	25,00 MPa				
D2-E3	13,78 m <sup>2</sup>	6,43 m <sup>2</sup>	C1	20180101	25,00 MPa	25,00 MPa				
C2-D2	6,14 m <sup>2</sup>	2,61 m <sup>2</sup>	C1	20180101	25,00 MPa	25,00 MPa				
B2-C2	5,89 m <sup>2</sup>	2,75 m <sup>2</sup>	C1	20180101	25,00 MPa	25,00 MPa				
B2-C3	5,89 m <sup>2</sup>	2,75 m <sup>2</sup>	C1	20180101	25,00 MPa	25,00 MPa				
B2-D3	2,94 m <sup>2</sup>	1,37 m <sup>2</sup>	C1	20180101	25,00 MPa	25,00 MPa				
C3-C1	13,78 m <sup>2</sup>	6,43 m <sup>2</sup>	C1	20180101	25,00 MPa	25,00 MPa				
D1-D2	12,77 m <sup>2</sup>	4,73 m <sup>2</sup>	C1	20180101	25,00 MPa	25,00 MPa				
B1	39,92 m <sup>2</sup>	14,84 m <sup>2</sup>								
C4	3,92 m <sup>2</sup>	1,37 m <sup>2</sup>	C2	20180101	25,00 MPa	25,00 MPa				
B4	3,92 m <sup>2</sup>	1,37 m <sup>2</sup>	C2	20180101	25,00 MPa	25,00 MPa				
A4	4,50 m <sup>2</sup>	1,58 m <sup>2</sup>	C2	20180101	25,00 MPa	25,00 MPa				
A5	4,50 m <sup>2</sup>	1,58 m <sup>2</sup>	C2	20180101	25,00 MPa	25,00 MPa				
A6	4,50 m <sup>2</sup>	1,58 m <sup>2</sup>	C2	20180101	25,00 MPa	25,00 MPa				
B6	4,50 m <sup>2</sup>	1,58 m <sup>2</sup>	C2	20180101	25,00 MPa	25,00 MPa				
C6	4,31 m <sup>2</sup>	1,51 m <sup>2</sup>	C2	20180101	25,00 MPa	25,00 MPa				
C5	3,92 m <sup>2</sup>	1,37 m <sup>2</sup>	C2	20180101	25,00 MPa	25,00 MPa				
D6	3,92 m <sup>2</sup>	1,37 m <sup>2</sup>	C2	20180101	25,00 MPa	25,00 MPa				
D4	3,92 m <sup>2</sup>	1,37 m <sup>2</sup>	C2	20180101	25,00 MPa	25,00 MPa				
A1-D1	18,99 m <sup>2</sup>	7,83 m <sup>2</sup>	C2	20180101	25,00 MPa	25,00 MPa				
D6-D7	2,79 m <sup>2</sup>	1,28 m <sup>2</sup>	C2	20180101	25,00 MPa	25,00 MPa				
C4-C4	0,84 m <sup>2</sup>	0,44 m <sup>2</sup>	C2	20180101	25,00 MPa	25,00 MPa				
B6-C5	5,73 m <sup>2</sup>	2,88 m <sup>2</sup>	C2	20180101	25,00 MPa	25,00 MPa				
A6-B6	5,97 m <sup>2</sup>	2,75 m <sup>2</sup>	C2	20180101	25,00 MPa	25,00 MPa				
D6-E7	2,12 m <sup>2</sup>	0,94 m <sup>2</sup>	C2	20180101	25,00 MPa	25,00 MPa				
B6-C6	4,73 m <sup>2</sup>	2,23 m <sup>2</sup>	C2	20180101	25,00 MPa	25,00 MPa				
A6-E7	3,72 m <sup>2</sup>	1,74 m <sup>2</sup>	C2	20180101	25,00 MPa	25,00 MPa				
B6	4,50 m <sup>2</sup>	1,58 m <sup>2</sup>	C2	20180101	25,00 MPa	25,00 MPa				
B6-D6	7,35 m <sup>2</sup>	3,43 m <sup>2</sup>	C2	20180101	25,00 MPa	25,00 MPa				

Figura 4. Tabla de CC de Calidad de elementos de Cimentación.

Las celdas resaltadas en rojo denotan que no se cumplen los requisitos previos para la aceptación del lote correspondiente, al ser el criterio de aceptación  $F_x \geq F_{ck}$  (Columna F, ocupada por el campo de propiedades de los materiales especificado en el proyecto *Materia estructural: resistencia a compresión*), deberemos en el campo Aceptable, Columna H decidir la aceptabilidad del lote en función de ese criterio.

En el campo Aceptado, columna I, la Dirección Facultativa decidirá en función de las pruebas complementarias que estime convenientes de entre las recogidas en la EHE-08, decidirá si definitivamente acepta o no acepta el lote afectado por la no aceptabilidad inicial del lote.

#### Paso 4. Configuración de vista 2D/3D.

Mediante el empleo de los filtros adecuados en vistas de planta, alzado, sección o tridimensional, aplicados a las categorías estructurales presentes en el modelo, podemos hacer que determinados elementos que cumplen con algún criterio de discriminación sean representados gráficamente de forma diferenciada. Así en la figura 5 se representa la configuración de un filtro configurado para los elementos estructurales que cumplan con la condición Lote = C1. Esta configuración facilita la agrupación e identificación de los elementos asignados a cada uno de los lotes.



Figura 5. Configuración de filtros por *Lote* para elementos de cimentación (IZQ) y Visualización en planta por colores de la asignación de elementos de cimentación por lotes (DCHA).

#### Visualización 2D

En la figura 5 (dcha) se puede ver como se representa una planta de cimentación en una vista cuya representación ha sido filtrada según los valores del parámetro *Lote*, diferenciándose entre los Lotes C1 y C2 según los colores de los elementos graficados. Se puede observar que el elemento de cimentación seleccionado (en azul), se corresponde con la propiedad *Lote=C1*

#### Visualización 3D

Siguiendo un procedimiento similar al ya empleado, crearemos filtros de vista para cada una de las combinaciones posibles de aceptación de un lote, asignándolo a las categorías estructurales presentes en el modelo, según dos criterios de aceptación *Aceptable*, según EHE, *Aceptado*, según las determinaciones de la Dirección Facultativa.



Figura 6. Filtros de visualización para los criterios de aceptación o rechazo (IZQ) y Visualización de una vista 3D filtrada según los parámetros de aceptación del Control de Calidad (DCHA).

Posteriormente desde el cuadro de diálogo Visibilidad/Gráficos de la vista 3D correspondiente le asignaremos una configuración determinada a su visualización según el siguiente esquema.

Nombre	Visibilidad	Proyección/Superficie			Corte		Tramado
		Líneas	Patrones	Transparen...	Líneas	Patrones	
CC Aceptable/No Acepta...	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
CC No Aceptable/Acepta...	<input checked="" type="checkbox"/>						<input checked="" type="checkbox"/>
CC Aceptable/Aceptado	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
CC No Aceptable/No Ac...	<input checked="" type="checkbox"/>						<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 7. Configuración de parámetros de visibilidad por filtros de una vista, en este caso 3D.

**Programa de control de la obra.**

El Programa de Control de Calidad de la obra recogerá la identificación todos aquellos parámetros que deban ser tenidos en cuenta para la buena ejecución de la obra, bien porque así esté especificado en el Plan de Control definido sobre el modelo BIM, o bien por exigencias normativas o de criterios de calidad internos. El Programa de Puntos de inspección sobre el Modelo BIM se materializará siguiendo los mismos pasos definidos para el Plan de Control, incorporando al modelo aquellos parámetros que se definan como necesarios para el control de la correcta ejecución.

Resulta indispensable en un proceso industrializado que todos los agentes intervinientes en el proceso de construcción sean conscientes de cuáles son los requisitos de calidad que el proyecto va a demandar en las etapas tempranas del proyecto, antes de la ejecución, y en especial antes de la contratación de las obras. La colaboración entre todos los agentes ayudará a definir con mayor precisión estos requisitos y adecuarlos a las características y circunstancias del proyecto.

**Herramientas en el Control de Calidad.**

El seguimiento del Control de Calidad lo podemos gestionar directamente desde el software de modelado, bien directamente desde el entorno gráfico o mediante el empleo de tablas de planificación y consulta editables.

El segundo método resulta más potente para la gestión de múltiples parámetros, tanto de Tipo como de Ejemplar. Permite la elaboración de filtros de forma rápida que permiten seleccionar con un solo clic aquellos elementos que verifican alguna condición previamente impuesta.

Además, las tablas de planificación o consulta permiten su exportación a otras plataformas, para su gestión desde ordenadores, tablets o PDA's que no tengan instalado "software BIM".

Por ejemplo podemos exportar las tablas a Excel o Word para desde allí ir directamente introduciendo los valores establecidos para los parámetros de los elementos a inspeccionar. Estas tablas pueden ser posteriormente vinculadas al modelo para reintegrar los datos de seguimiento del Control de Calidad en el modelo para su visualización y análisis.

#### Exportación a Excel de las tablas creadas e importación de datos desde Excel.

La gestión de los valores de los parámetros empleados en el Control de Calidad puede ser realizado elemento a elemento desde las vistas del modelo, de modo global desde una tabla de planificación de Revit, o de forma externa desde una base de datos ODBC o una hoja de cálculo en formato .XLS o .XLSX (Excel). Para exportar el contenido de una tabla de planificación en formato .XLS o .XLSX podemos emplear algún software complementario sobre Revit. Para el ejemplo hemos usado una versión de evaluación de ScheduleSync Pro, desarrollado por BIM Coder. En la Figura 8 podemos ver el entorno de exportación del software empleado.

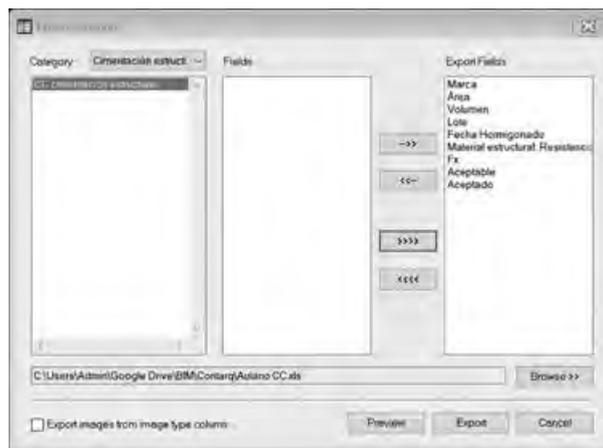


Figura 8. Cuadro de diálogo para la exportación de tabla de planificación de cimentación estructural.

Los datos exportados pueden ser modificados con un editor de hojas de cálculo, (Excel) y vueltos a reintegrar en Revit actualizando los valores de los parámetros en la tabla correspondiente.

Marca	Área	Volumen	Lote	Fecha Homologado	Material estructural	Resistencia a compresión	Fx	Aceptable	Aceptado
C2	3,92 m²	1,37 m³	C1	20190101	25,00 MPa	26,00 MPa			
B2	3,92 m²	1,37 m³	C1	20190101	25,00 MPa	26,00 MPa			
B1	3,92 m²	1,37 m³	C1	20190101	25,00 MPa	26,00 MPa			
C3	3,92 m²	1,37 m³	C1	20190101	25,00 MPa	26,00 MPa			
D3	3,92 m²	1,37 m³	C1	20190101	25,00 MPa	26,00 MPa			
D2	3,92 m²	1,37 m³	C1	20190101	25,00 MPa	26,00 MPa			
A2	4,56 m²	1,58 m³	C1	20190101	25,00 MPa	26,00 MPa			
C1-C2	11,48 m²	5,36 m³	C1	20190101	25,00 MPa	26,00 MPa			
B1-B2	11,48 m²	5,36 m³	C1	20190101	25,00 MPa	26,00 MPa			
A1-A2	11,64 m²	5,53 m³	C1	20190101	25,00 MPa	26,00 MPa			
A1-D1	27,00 m²	12,80 m³	C1	20190101	25,00 MPa	26,00 MPa			
A2-E2	5,07 m²	2,38 m³	C1	20190101	25,00 MPa	26,00 MPa			
A3-B3	9,07 m²	2,38 m³	C1	20190101	25,00 MPa	26,00 MPa			
D2-D3	14,51 m²	6,79 m³	C1	20190101	25,00 MPa	26,00 MPa			
A2-A3	13,60 m²	6,35 m³	C1	20190101	25,00 MPa	26,00 MPa			
B2-B3	13,76 m²	6,43 m³	C1	20190101	25,00 MPa	26,00 MPa			
C2-D2	9,14 m²	2,40 m³	C1	20190101	25,00 MPa	26,00 MPa			
E2-C2	8,39 m²	2,25 m³	C1	20190101	25,00 MPa	26,00 MPa			

Figura 9. Previsualización de la tabla generada por el software según los campos incorporados.

Conviene garantizar la integridad de los datos y la correspondencia unívoca entre campos evitando modificaciones en el modelo antes de completar el ciclo de Exportación / Importación.

### Nuevos horizontes en el control de calidad de obra.

#### Nubes de puntos.

Con las nubes de puntos de puntos obtenidas mediante escaneo 3D se abre un nuevo horizonte en el control de calidad de obras de construcción. La precisión que obtienen los equipos actuales permite obtener tolerancias geométricas de hasta 3 mm. Rápidamente y desde el ordenador del trabajo podemos obtener datos de geometría excentricidad o desplome, alejados de un entorno a veces plagado de riesgos, sin necesidad de permanecer más tiempo que el necesario para instalar en lugar seguro los equipos de escaneo. Además nos puede permitir identificar otro tipo de parámetros, como por ejemplo identificar el número de barras de la armadura instalada o el tipo de acero y diámetro mediante la identificación de barra a través del su corrugado.

#### Empleo de realidad aumentada

En la misma línea que en el apartado anterior, mediante el empleo de la tecnología de realidad aumentada, podemos superponer el modelo virtual sobre el modelo anterior e identificar aquellos elementos que están ejecutados y todas sus propiedades. Por ejemplo sobre una instalación de fontanería, podemos identificar su trazado sus puntos de consumos, materiales de las cañerías, diámetros de cada tramo, aceptando o rechazando el elemento según corresponda según las características especificadas en el modelo.

## 5. CONCLUSIONES

Sin duda nos encontramos ante un nuevo escenario para el control de calidad de nuestras obras. La metodología BIM ofrece múltiples ventajas como la posibilidad de trabajo

colaborativo, anticiparnos a los errores, etc., pero también exige una mayor cualificación y tecnificación de los agentes.

Plantear el control de calidad de obra con metodología BIM, posibilita tener a nuestro alcance información en tiempo real para toma de decisiones y con esta metodología la incorporación al modelo se puede hacer de manera colaborativa (en función a los roles establecidos). Además estos datos quedan guardados durante su ciclo de vida.

Desde este instante, ya podemos plantearnos gestionar los apartados del control de calidad de la obra que nos interese con metodología BIM, con la interrelación que hemos expuesto con Revit. Es necesario decir, que la sistemática de trabajo hace necesario intervenir en el modelo modificando sus parámetros, elemento a elemento, lo que puede resultar poco eficaz.

Así pues, nos encontramos ante un reto y oportunidad para la profesión, en una de las obligaciones y funciones técnicas que nos otorga la LOE. Por tanto, desarrollar plugins de conexión con Revit para automatizar estos procesos, es una cuestión sin resolver en la que debemos trabajar.

## 6. REFERENCIAS

- [1] Ley 38/1999 de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación. BOE núm. 266 de 06/11/1999.
- [2] Real Decreto 314/2016, de 17 marzo, por la que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. <http://www.codigotecnico.org>.
- [3] Real Decreto 1247/2008, de 18 de julio, por el que se aprueba la instrucción de hormigón estructural (EHE-08).
- [4] Pérez Navarro, J., Campillo Domínguez, L., Rosa Roca, N. (2008). *Documentación del control de la obra en cumplimiento del CTE*.
- [5] Pérez Navarro, J., & Campillo Domínguez, L. (2011). Manual práctico de control de calidad en la EHE-08.

## COORDINACIÓN Y CONTROL DE CALIDAD DE UN PROYECTO DE DISEÑO BIM

SANTAMARTA MARTÍNEZ, JAIME  
*ACCIONA Ingeniería S.A., Alcobendas, España*  
*E-mail: jaime.santamarta.martinez@acciona.com,*  
*Web: <http://www.acciona-ingenieria.es/>*

**PALABRAS CLAVE:** incidencias; informes; interferencias; modelos; planificación.

### RESUMEN

La irrupción del BIM como nueva metodología para el desarrollo de proyectos de edificación, ha conllevado un cambio sustancial en la manera en la que debe abordarse la coordinación del diseño y el control de calidad del mismo.

Apoyándose en la generación de modelos virtuales tridimensionales, los objetivos que derivan de la creación de un procedimiento de calidad son dos. En primer lugar, el establecimiento de una rutina de control de los recursos BIM disponibles acorde a los requerimientos del cliente: por ejemplo biblioteca de familias o sistemas de codificación. Y por otra parte, el aseguramiento de la calidad del diseño y modelado a partir del análisis de incidencias e interferencias.

En este sentido, tomando como referencia los estándares de la PAS 1192-2:2013, se efectuará una planificación del control de la calidad acorde a la programación de las actividades del proyecto. Sobre ella se fijarán hitos de control que serán condición para poder progresar con el diseño.

Cada usuario (diseñadores y modeladores) será propietario de su propia información y modelo de trabajo. Será el coordinador de disciplina el responsable de llevar a cabo la revisión de calidad de su propia disciplina antes de la emisión en compartido a través del

espacio común de trabajo. Para ello se generarán vistas y “self tests” mediante el software Navisworks de Autodesk, de lo que se emitirán informes de control de incidencias, control de interferencias, revisiones del diseño o verificación y validación.

El BIM Manager será el responsable de llevar a cabo la revisión de calidad del modelo federado a través de “tests” inter-disciplinas, antes de la emisión en publicado en el espacio común de trabajo. Además emitirá los informes de calidad, a los que el Jefe de Proyecto dará su aprobación, en este caso, previo a la emisión en archivado (entrega del proyecto).

## 1. INTRODUCCIÓN

Cuando se habla de BIM (modelado y gestión de la información de la construcción) entendido éste como metodología aplicada a los proyectos, intrínsecamente se está uno refiriendo a una mejora en la calidad de los procesos que afectan a todo el ciclo de vida de una infraestructura, bien sea edificatoria o civil.

Si bien los sistemas de aseguramiento de la calidad están muy presentes en el ámbito de la construcción (dícese por ejemplo de la aplicación de la UNE-EN ISO 9001:2015 [1]), el hecho de que cada vez sean más numerosas las exigencias BIM en los pliegos de los proyectos (por ejemplo a través de auditorías internas y externas, requerimiento de inexistencia de interferencias por parte del cliente o mejora de la eficiencia y productividad económica mediante la limitación de revisiones por correcciones), obliga a replantear la manera en la que debe adaptarse el control de la calidad a dicha metodología. Es en este sentido en el que se ha desarrollado un protocolo de trabajo que aborde los siguientes dos objetivos principales: en primer lugar, el establecimiento de una rutina de control de los recursos BIM disponibles, y por otra parte, la definición de un procedimiento para la aplicación de los criterios de calidad tomando como referencia las recomendaciones establecidas en las normativas BIM internacionales.

## 2. METODOLOGÍA

Para alcanzar los objetivos fijados, se ha tomado como base documental lo establecido en los estándares británicos de la BS 1192:2007+A2:2016 [2] así como de la PAS 1192-2:2013 [3] publicadas por BSI (British Standard Institution).

De acuerdo con el artículo 9.4 de la PAS 1192-2:2013, resulta fundamental tener en cuenta que la coordinación y el control de calidad deberá llevarse a cabo a lo largo de toda la duración del proyecto, siguiendo una serie de criterios adaptados al uso de la metodología BIM. Estos se describen a continuación.

### 2.1 Planificación

Partiendo de un primer axioma fundamental de cualquier sistema de calidad, hay que resaltar que resulta esencial una planificación previa al inicio de cualquier otra actividad propia del desarrollo del proyecto. Esta planificación de actividades, que engloba todas las tareas normalmente desarrolladas en un proyecto tradicional, incluirá además las tareas que exige la aplicación de la metodología BIM así como los hitos de control de la calidad.

Estos hitos de control serán condición *sine qua non* para poder progresar con el diseño, de modo que a la entrega final del proyecto, se deberá verificar, validar y aprobar el mismo, para lo cual se habrán de haber cumplimentado las fichas de calidad de planificación, revisión del diseño y verificación y validación.

Esta planificación será conocida por todos los agentes del proyecto y deberá ser de obligado cumplimiento, quedando recogida en el BEP (plan de ejecución BIM) a través de los documentos TIDP (planificación de la entrega de documentación propia de las actividades de cada disciplina del proyecto) así como del MIDP (planificación de la entrega de documentación de todas las actividades del proyecto).

En el cronograma de trabajos se distinguirán las siguientes fases e hitos esenciales para que el control de calidad acompañe de manera constante al desarrollo del proyecto desde su inicio:

1. Fase de coordinación y control del modelado.
2. Hito de coordinación de disciplinas.
3. Fase de coordinación y control de la salida de resultados.
4. Hito de control de calidad de entregables.

Ello quedará reflejado en el TIDP de cada disciplina, siendo responsabilidad del coordinador de la misma su actualización a lo largo del desarrollo del proyecto, y también en el MIDP (Figura 1) que será actualizado por el BIM Manager de acuerdo a las actualizaciones que puedan sufrir los TIDP de cada disciplina.



Figura 1: Ejemplo de MIDP (fuente: Acciona Ingeniería).

## 2.2 Plan de ejecución BIM

Previo al inicio del proyecto, el BIM Project Manager generará el documento BEP en el que se define la manera en la que se desarrollará el modelado así como la forma en la que se procesará la información y la salida de resultados del propio modelo. Este plan será específico para cada uno de los proyectos y reflejará por tanto los requerimientos del cliente siendo en sí mismo, un documento para el control de la calidad que complementará el procedimiento de calidad.

El BEP recogerá como mínimo las cuestiones que se detallan a continuación:

1. Características del proyecto.
2. Objetivos, usos y flujos de trabajo.
3. Estándares y variaciones de los mismos.
4. Software a emplear e interoperabilidad entre los distintos programas.
5. Organigrama del equipo de trabajo (roles y responsabilidades).
6. Cronograma de trabajo y calendario de revisiones, reuniones del proyecto y determinación de las fechas de entrega parciales y final.
7. Definición del sistema de coordenadas para todos los ficheros BIM.
8. División de los modelos, propiedad y permisos.
9. Proceso de chequeo y validación (control de calidad).
10. Protocolos de comunicación y compartición de la información.
11. Coordinación de las actividades.

### 2.3 Trabajo colaborativo

Los procesos de colaboración se basan en la puesta en marcha de un CDE (espacio común de trabajo) acorde a la definida en los estándares de la BS 1192:2007+A2:2016 donde se diferencian las cuatro etapas de producción de la información: WIP (trabajo), COMPARTIDO, PUBLICADO y ARCHIVADO (Figura 2).

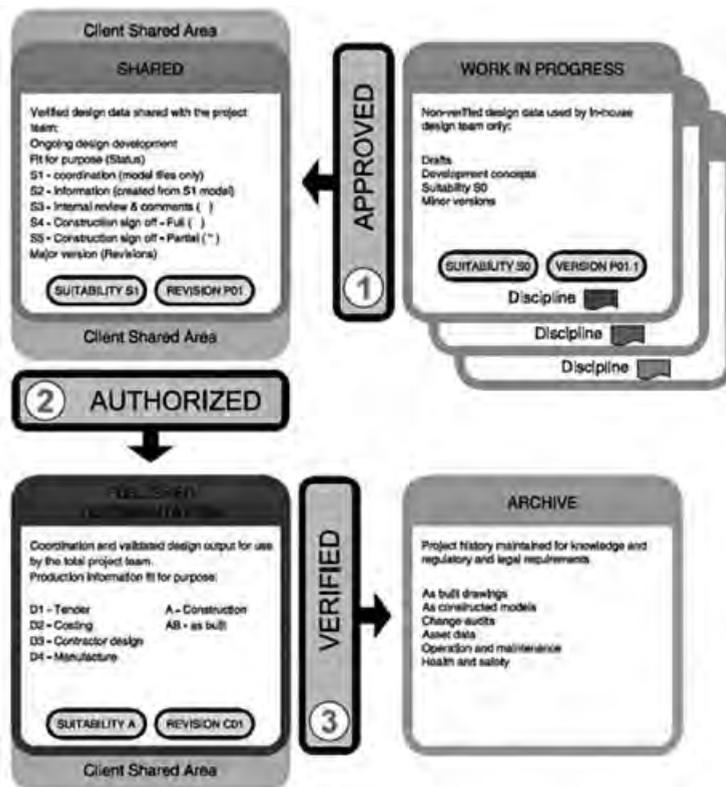


Figura 2: Flujo de trabajo colaborativo (fuente: PAS 1192-2:2013).

El modelo de cooperación avanzada establece una estrategia de colaboración en el que los distintos agentes tienen acceso a la información, la cual debe haber sido verificada y aprobada mediante un flujo activo y medidas interactivas entre todas las partes. Se busca por consiguiente, garantizar la trazabilidad, la actualización, la codificación y la no duplicidad de la información. De este modo, la comunicación y coordinación entre las distintas disciplinas permitirán la anticipación de problemas y posibles interferencias.

Cada usuario (diseñadores y modeladores) será propietario de su propia información y modelo de trabajo WIP. Será el coordinador de disciplina el responsable de llevar a cabo la revisión de calidad (self tests) antes de la emisión en COMPARTIDO a través del CDE, después de lo cual se procederá a efectuar la revisión de calidad del modelo federado (tests) por parte del BIM Manager.

En lo relativo a control de los recursos, estos estarán disponibles para consulta y utilización por parte de todo el equipo humano del proyecto. Sin embargo, la edición de los mismos estará restringida bajo permisos controlados por el departamento TIC responsable. La tabla de permisos asignados estará visible en una carpeta de red, y se incluirá como información de consulta dentro del BEP. Así, todo recurso BIM editado fuera de ésta y no archivado, se considerará que no ha sido revisado ni aprobado para su uso general en los trabajos BIM.

A la finalización de cada proyecto se examinarán los nuevos recursos generados para proceder a su validación y archivo en la unidad de red BIM.

Añadir a lo anterior, que se llevará a cabo un riguroso sistema de codificación de los recursos (Figura 3). Aunque ésta normalmente dará respuesta a lo establecido por el departamento de calidad de cada empresa, se recomienda que se ajuste a los sistemas internacionales de codificación, lo cual en el caso que nos ocupa da respuesta al artículo 5.4.3 de los estándares de la BS 1192:2007+A2:2016 y a los criterios Uniclass 2015 [4].

Número de tabla: 10		Título de tabla: CODIFICACIÓN DE FICHEROS						
CÓDIGO PROYECTO	CÓDIGO AUTOR	CÓDIGO VOLUMEN	CÓDIGO NIVEL/LOC	CÓDIGO TIPO	CÓDIGO DISCIPLINA	CÓDIGO NÚMERO	CÓDIGO VERSIÓN	
BRC	ACC	TM	01	DR	MG	001	R00	

Figura 3: Ejemplo de codificación de ficheros (fuente: Acciona Ingeniería).

En la actualidad, existen numerosas plataformas de gestión documental que paulatinamente se están adaptando a la metodología BIM. Con lo que en aquellos casos en los que se recurra a las mismas, la generación y compartición de documentos del proyecto se hará a través de la misma empleando el sistema de permisos establecido y comentado anteriormente.

## 2.4 Incidencias e interferencias

Para mantener la trazabilidad del control de calidad y de las acciones tomadas, tanto los modelos de coordinación como los informes emitidos (control de incidencias, control de interferencias, revisiones del diseño o verificación y validación) se registrarán en la carpeta de calidad del proyecto (Figura 4).

Si se detecta una interferencia o incidencia que no pueda ser resuelta unilateralmente por

el coordinador de disciplina, se deberá acordar una fecha para una reunión de calidad junto con el resto de coordinadores de disciplina afectados, el BIM Manager y el Jefe de Proyecto. De ésta, se resolverá una acción que dé solución a dicha interferencia o incidencia, y se recogerá en un informe de calidad que será enviado a todos los integrantes del proyecto.

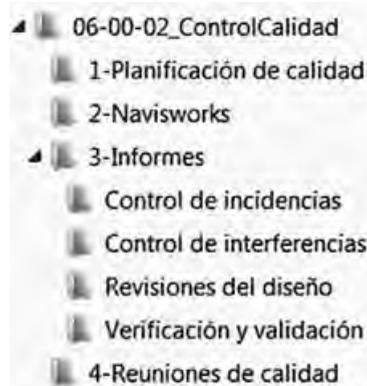


Figura 4. Estructura de carpetas para control de la calidad (fuente: Acciona Ingeniería).

La numeración de revisiones y el control de versiones seguirá el criterio establecido para la codificación de documentos del proyecto.

Tal como se ha comentado anteriormente, el BIM Manager será el responsable de llevar a cabo la revisión de calidad del modelo federado (tests) antes de la emisión en PUBLICADO a través del CDE. Además emitirá los informes de calidad, a los que el Jefe de Proyecto dará su aprobación, en este caso, previo a la emisión en ARCHIVADO a través del CDE (entrega del proyecto).

Los criterios para el control de calidad serán:

1. Empleo de un software que automatice los procesos de control (Navisworks Manage en el caso de estudio que nos ocupa, aunque existen otros como por ejemplo Tekla BIMsight).
2. Control de incidencias del diseño y reporte de las mismas en un informe de vistas y comentarios. El informe se generará en un formato html que recogerá las imágenes de la incidencia, la posición, el código identificador del elemento de modelo (ID) y el código de disciplina (Figura 5).

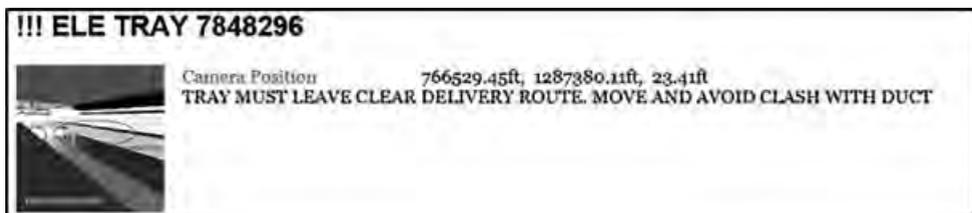


Figura 5. Ejemplo de informe de vistas y comentarios (fuente: Acciona Ingeniería).

3. Control de interferencias y reporte de las mismas en un informe (Figura 6) que se generará en un formato html tabular para todos los estatus (nuevo, activo, revisado, aprobado y resuelto), y recogerá los siguientes datos:
  - Resumen.
  - Clash point.
  - Item ID.
  - Status.
  - Comentarios.
  - Imagen.
  - Grupo.
  - Localización.

MHV vs FRS		Tolerance	Clashes	New	Active	Reviewed	Approved	Resolved	Type	Status
		0.010m	8	1	0	0	0	7	Hard	Old

Image	Clash Name	Status	Grid Location	Clash Point	Item 1		Item 2	
					Item ID	Item ID	Item ID	Item ID
	Clash3	New	B-16 : B0 EXTERNAL GRADE LEVEL (SS)	x:233641.368, y:392395.213, z:7.433	Element ID: 8917840	Element ID: 3776596		

Figura 6. Ejemplo de informe de clashes (fuente: Acciona Ingeniería).

4. Se resolverán todas las interferencias que se encuentren por encima de las tolerancias establecidas. Por ejemplo según la casuística del proyecto: 1 mm para “Space Proofings” y “Delivery Routes”, 5 cm para aislamientos de instalaciones y 1 cm para el resto de elementos.
5. Las interferencias que se encuentren por debajo de las anteriores tolerancias se deberán revisar y/o aprobar. De este modo, en el modelo de entrega a cliente no deberá contener ningún aviso activo.
6. Se efectuarán los self tests por disciplinas teniendo como responsable al coordinador de la misma, y posteriormente los test inter-disciplinas, que según el proyecto del que se trate serán unos u otros. Por ejemplo en el caso de una edificación ordinaria podrían ser los que se indican seguidamente:
  - Test de Arquitectura vs Estructura.
  - Test de Arquitectura vs MEP Electricidad.
  - Test de Arquitectura vs MEP Fontanería.
  - Test de Arquitectura vs MEP Saneamiento.
  - Test de Arquitectura vs MEP HVAC.
  - Test de Arquitectura vs MEP Contra Incendios.
  - Test de Arquitectura vs MEP BACS.
  - Test de Arquitectura vs Estructura.
  - Test de Estructura vs MEP Electricidad.
  - Test de Estructura vs MEP Fontanería.
  - Test de Estructura vs MEP Saneamiento.
  - Test de Estructura vs MEP HVAC.
  - Test de Estructura vs MEP Contra Incendios.
  - Test de Estructura vs MEP BACS.

- Test de “Space Proofings”.
- Test de “Delivery Routes”.
- Los resultados de los test se agruparán por grupos de pertenencia.

## 2.5 Lecciones aprendidas

Destacar la importancia que tiene la generación de un documento formal de lecciones aprendidas del proyecto, que recogerá una breve descripción del proyecto, la relación de actividades realizadas, las debilidades y medidas correctoras, así como las conclusiones. Este documento debe crearse al inicio de los trabajos e ir actualizándose a medida que surjan debilidades y medidas correctoras, no esperando a la finalización del proyecto.

A la finalización del proyecto el documento de lecciones aprendidas será revisado por el responsable de desarrollo BIM y aprobado por la persona responsable de calidad, momento en el que se archivará en la subcarpeta de calidad de la unidad de red BIM. El responsable de calidad mandará copia al departamento de calidad de la compañía para su evaluación final por el comité técnico. Por último, se llevará un registro de lecciones aprendidas.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El resultado visible de la aplicación de este procedimiento, significa un avance sustancial en la calidad de los proyectos de diseño conllevando una notable reducción de los errores y una optimización de los procesos de trabajo.

Atendiendo a estudios recientes, valgan por ejemplo los datos estadísticos que se recogen en la figura 7, se puede visualizar claramente como existe una elevada percepción de los beneficios que reporta el BIM en el desarrollo de los proyectos [5], especialmente en términos de calidad donde se registran índices del 87%.

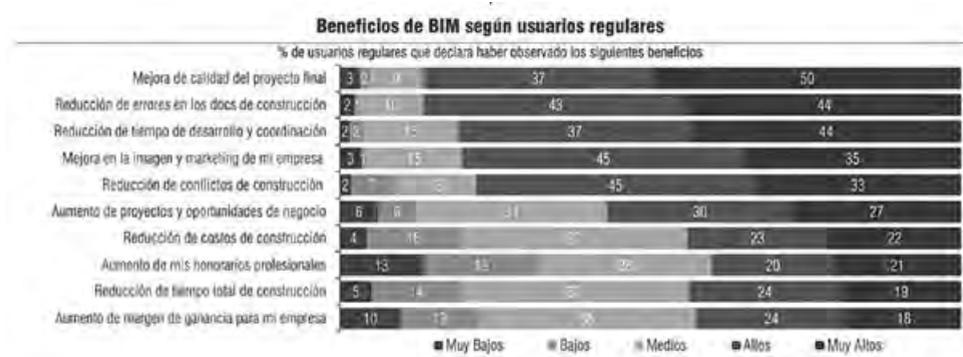


Figura 7. Beneficios de BIM (fuente: Encuesta Nacional BIM. Universidad de Chile).

Existen numerosos estándares de referencia a nivel internacional sobre los que fijarse a la hora de plantear un flujo de trabajo para el control de la calidad. No obstante, todos ellos en último término persiguen el mismo objetivo haciendo uso de una metodología BIM, que es unívoca y transversal. Estos objetivos radican básicamente en mejorar la calidad en fase de diseño para evitar en posteriores fases del ciclo de vida, tener que llevar a cabo revisiones

y modificaciones que a la postre redundan en un sobrecoste para el cliente final.

El control de la calidad responde a diversos indicadores, cuyos valores o resultados se obtienen generalmente mediante tecnologías que faciliten la labor de automatización. En el caso del procedimiento que nos ocupa, se ha tomado como referencia los estándares de la PAS 1192-2:2013 y el manejo del programa de Autodesk Navisworks al tratarse éste de uno de los más generalizados en su uso. Existen sin embargo otros desarrollos informáticos propios de las empresas o de grandes desarrolladores como pueden ser Tekla BIMsight o Solibri con funcionalidades que facilitan también la consecución del objetivo de mejora de la calidad del diseño.

En este sentido, atendiendo al procedimiento propuesto, la clave radica en el desarrollo exhaustivo y minucioso de una planificación del control de la calidad acorde a la programación de las actividades del proyecto, sobre la que se fijarán hitos de control. Estos hitos de control que serán condición para poder progresar con el diseño alertarán del estado cualitativo del proyecto en función del número de incidencias, número de interferencias, rendimiento y productividad de los equipos de trabajo, número de revisiones y versiones principales y menores que hayan resultado necesarias para alcanzar el estándar de calidad.

Los análisis internos realizados en Acciona Ingeniería vienen a confirmar las ventajas de la aplicación de la metodología BIM y consecuentemente del procedimiento de control de la calidad del diseño. Si bien a priori la curva de esfuerzo y dedicación es mayor (mayor número de horas dedicadas, nuevas tareas y actividades que no se hacían en un proyecto no BIM, nuevos roles implicados en el proyecto), el resultado al final del ciclo de diseño vislumbra una reducción significativa en la dedicación a subsanación de errores, lo que revierte en una amortización de esa mayor dedicación al inicio del proyecto. Las incongruencias debidas a un trabajo no colaborativo o a la falta de uso de tecnologías digitales desaparecen completamente.

#### **4. CONCLUSIONES**

BIM es una nueva metodología para el desarrollo de proyectos que si bien internacionalmente lleva aplicándose bastantes años ya, en España está aún por consolidarse. Es en el ámbito de la edificación donde más progresos se han llevado a cabo, aún a pesar de que sigue sin existir una normativa a nivel nacional que unifique criterios y establezca exigencias y protocolos comunes de trabajo.

Son en general las empresas las que a través de protocolos internos, y arrastrados por las demandas de clientes internacionales, así como del estado del arte en cuanto a desarrollo tecnológico de los software se refiere, las que se han lanzado a elaborar procedimientos de flujos de trabajo, incluidos los del control de la calidad. Esto ha conllevado un cambio sustancial en la manera en la que debe abordarse la coordinación del diseño y el susodicho control de calidad del mismo. De manera particular, en el caso de Acciona Ingeniería, la referencia más inspiradora ha sido la establecida por los estándares británicos, lo que ha permitido el desarrollo del procedimiento aquí expuesto, apoyándose en la generación de modelos virtuales tridimensionales.

Las claves para obtener en último término la satisfacción del cliente, es asegurar la calidad a través de una adecuada planificación, el establecimiento de hitos de control, la asignación de los recursos y roles adecuados y la obtención sistematizada de los respectivos informes de calidad y lecciones aprendidas.

En conclusión, la aplicación de un procedimiento de calidad adaptado a la metodología BIM, no deberá asumirse como algo impuesto por una u otra normativa, sino que deberá entenderse como un instrumento que sin lugar a duda facilitará la producción de los proyectos en términos de mayor calidad y eficiencia. Esto además favorecerá en último término la optimización de los procesos encadenados que afectan al ciclo de vida de la edificación.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] UNE-EN ISO 9001:2015. Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos (ISO 9001:2015). (2015). AENOR.
- [2] BS 1192:2007+A2:2016. Collaborative production of architectural, engineering and construction information – Code of practice. (2007). BSI Standards Limited 2016. (ISBN 9870580928178).
- [3] PAS 1192-2:2013. Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modelling. (2013). BSI Standards Limited 2013. (ISBN 9780580826665).
- [4] NBS BIM Toolkit. Classification. Accedido el 20 de septiembre de 2017, desde <https://toolkit.thenbs.com/articles/classification>
- [5] Encuesta Nacional BIM. Informe de Resultados. (2013). Departamento de Arquitectura, Universidad de Chile.

## **SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD PARA EL DIRECTOR DE EJECUCIÓN. CASOS REALES DE MEJORA**

SÁEZ PÉREZ, M<sup>a</sup> PAZ<sup>1</sup>; LUZÓN RODRÍGUEZ, TOMÁS<sup>2</sup>

*<sup>1</sup>ETSIE Granada, Granada, España*

*E-mail: mpsaez@ugr.es, Web: mpsaez@ugr.es*

*<sup>2</sup>Arquitécnica Alquibla, S.L.P.U., Málaga, España*

*E-mail: tluzon@coaat.es, Web: tluzon@coaat.es*

**PALABRAS CLAVE:** Gestión; Calidad; SGC; DEO; ISO 9001:2015.

### **RESUMEN**

Se dan circunstancias que deben hacernos reconsiderar la actuación del Director de Ejecución de la Obra (DEO) dentro del proceso edificatorio, como es la existencia de normativa de aplicación que le atribuye la responsabilidad del control de los productos, equipos y sistemas que se suministran a la obra, el control de la ejecución en las diferentes fases y actividades de obra, y el control de la obra terminada, así como la necesidad de prestar un servicio al cliente de la máxima calidad, dejando constancia documental de su actuación durante todo el proceso constructivo.

El trabajo que se expone en esta ponencia se ha desarrollado, fundamentalmente, en tres fases:

1. Análisis de la normativa de aplicación relativa a la gestión de calidad y control de obra por parte del DEO, de las distintas fuentes bibliográficas, aplicaciones informáticas, y sistemas propuestos por diferentes colegios profesionales.
2. Redacción de un Sistema de Gestión de Calidad (SGC), basado en la UNE EN ISO 9001:2015 [1], comprendiendo los procedimientos documentados y los registros

necesarios para la aplicación y eficacia del sistema.

3. Implantación del sistema en diferentes obras de edificación en los últimos 3 años, paralelamente al servicio contratado por el cliente como DEO.

El sistema de gestión de calidad incide, sobre todo, en la revisión y análisis del proyecto, la redacción y seguimiento de un Plan de Control de Calidad, y el tratamiento de las desviaciones detectadas, dándose procedimientos de registro y corrección permanentes.

Los resultados obtenidos tras la sistematización de las labores realizadas por el DEO dan lugar a la disminución de los trabajos de repasos y terminaciones de obra, el cumplimiento de los plazos previstos de ejecución, y la reducción de los “costes de la no calidad” en obra.

## 1. INTRODUCCIÓN

Debemos replantearnos la actuación del Director de la Ejecución de la Obra (DEO) dentro del proceso edificatorio en base a distintas circunstancias:

- gran cantidad de obra nueva ejecutada que no siempre ha alcanzado unos parámetros de calidad adaptados a las demandas y necesidades de los ciudadanos (los clientes finales), y que ha derivado en un incremento en las reclamaciones sobre la obra terminada,
- la existencia de normativa de aplicación a nivel nacional, Ley de Ordenación de la Edificación (LOE) [2], Código Técnico de la Edificación (CTE) [3], e Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08) [4], sin olvidar la publicada en las diferentes Comunidades Autónomas, que, en todo caso, atribuye al DEO, casi en exclusiva, la responsabilidad de garantizar el control de la obra y la calidad de lo edificado,
- la necesidad de crear equipos multidisciplinares durante las fases de redacción de proyecto y control de ejecución, con el objetivo de asegurar la satisfacción del cliente y el cumplimiento real de los requisitos [5],
- la imposibilidad de que un solo técnico pueda ser portador de todo el conocimiento necesario, ni de la capacidad de trabajo para estar presente en todos los momentos decisivos de la ejecución de una obra [6],
- la creciente tecnificación y evolución del sector, con la intervención de **gran número de subcontratistas y suministradores**, y la aparición de nuevos materiales y técnicas constructivas,
- y por último y en relación con la investigación desarrollada en el presente trabajo, la necesidad de asegurar un correcto control en todas las fases y actividades de obra, así como dejar constancia documental de la actuación del técnico durante todo el proceso constructivo.

## 2. METODOLOGÍA

Ante el panorama expuesto, se ha estudiado y concretado cuáles son las responsabilidades y funciones del DEO en relación con las labores de gestión, seguimiento y control de la calidad en la obra, según la normativa vigente de aplicación.

Complementariamente, se ha tenido conocimiento de cuáles son los procedimientos propuestos por las instituciones colegiales para el adecuado seguimiento del control de la calidad en obra, además de otros estudios, bibliografía y experiencias desarrolladas en relación con el control de ejecución y la calidad en la edificación.

Como consecuencia del análisis documental y de los procedimientos estudiados, en una segunda parte se muestra el Sistema de Gestión de Calidad (SGC) desarrollado, basado en la ISO 9001:2015, en el que se exponen los principales procedimientos y los registros necesarios para la aplicación y desarrollo del sistema de forma eficaz y práctica.

Y, por último, se exponen los resultados tras la aplicación e implantación del Sistema de Gestión de Calidad en 4 obras de edificación ejecutadas en los últimos años.

### 3. REGULACIÓN NORMATIVA Y FUENTES DOCUMENTALES

La normativa de aplicación atribuye al DEO, casi en exclusiva, la complicada tarea y responsabilidad de garantizar el control de la construcción y la calidad de lo edificado (art. 13 de la LOE), debiendo realizar el control de la recepción de materiales, el control de la ejecución, y el control de la obra terminada (art. 7 del CTE). Una vez finalizada la obra, el DEO depositará la documentación del seguimiento del control en el colegio profesional (Anejo II del CTE).

#### 3.1 Normativa vigente de aplicación

En relación con la actividad profesional a desarrollar durante la ejecución de las obras, el artículo 13 de la LOE define que *el director de la ejecución de la obra... asume la función técnica de dirigir la ejecución material de la obra y de controlar cualitativa y cuantitativamente la construcción y la calidad de lo edificado*". Además, es el responsable de *"la recepción en obra de los productos de construcción, ordenando la realización de ensayos y pruebas precisas"*, de *"dirigir la ejecución material de la obra comprobando los replanteos, los materiales, la correcta ejecución y disposición de los elementos constructivos y de las instalaciones..."* y de *"colaborar con los restantes agentes en la elaboración de la documentación de la obra ejecutada, aportando los resultados del control realizado"*.

En los artículos 7 y 8 del Código Técnico de la Edificación [CTE] se establece que *"durante la construcción de la obra se elaborará la documentación reglamentariamente exigible. En ella se incluirá... la documentación del control de calidad realizado a lo largo de la obra."*

*4.- Durante la construcción de las obras el director de obra y el director de la ejecución de la obra realizarán, según sus respectivas competencias, los controles siguientes:*

- a) Control de recepción en obra de los productos, equipos y sistemas que se suministren a las obras de acuerdo con el artículo 7.2.*
- b) Control de ejecución de la obra de acuerdo con el artículo 7.3; y*
- c) Control de la obra terminada de acuerdo con el artículo 7.4".*

En el ANEJO I, Contenido del proyecto, se indica la obligatoriedad de incluir un Plan de Control de Calidad en las obras en las que sea de aplicación el CTE.

En el ANEJO II, Documentación del seguimiento de la obra, se detalla, con carácter indicativo y sin perjuicio de lo que establezcan otras Administraciones Públicas competentes, el contenido de la documentación del seguimiento de la ejecución de la obra, tanto la exigida reglamentariamente, como la documentación del control realizado a lo largo de la obra: *"II.2 Documentación del control de la obra."*

- 1. El control de calidad de las obras realizado incluirá el control de recepción de pro-*

*ductos, los controles de la ejecución y de la obra terminada. Para ello:*

*a) El director de la ejecución de la obra recopilará la documentación del control realizado, verificando que es conforme con lo establecido en el proyecto, sus anejos y modificaciones.*

*2. Una vez finalizada la obra, la documentación del seguimiento del control será depositada por el director de la ejecución de la obra en el Colegio Profesional correspondiente o, en su caso, en la Administración Pública competente, que asegure su tutela y se comprometa a emitir certificaciones de su contenido a quienes acrediten un interés legítimo”.*

El Real Decreto 1247/2008, de 18 de julio, por el que se aprueba la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08), establece que durante la construcción, se desarrollarán las actividades de control necesarias para comprobar la conformidad de los procesos empleados en la ejecución, la conformidad de los materiales y productos que lleguen a la obra, así como la conformidad de aquéllos que se preparen en la misma con la finalidad de ser incorporados a ella con carácter definitivo.

Complementariamente a la normativa de ámbito estatal que se ha mencionado, existe en diferentes Comunidades Autónomas regulación específica en materia de planificación, control y seguimiento de obras de construcción: Comunidades de Cataluña, Valenciana, Galicia, País Vasco, Madrid y Región de Murcia.

De forma específica, en cada una de ellas se exponen modelos, impresos y procedimientos que desarrollan como llevar a cabo el control de calidad en edificación. Analizada la documentación, se ha podido comprobar cómo su aplicación, aun destacando su necesidad, es desigual, con una eficacia no constatada, y centrándose, fundamentalmente, en la asignación de la responsabilidad técnica de manera casi exclusiva al DEO.

En la Comunidad de Andalucía no existe normativa al respecto, por lo que cobra más interés la adopción y aplicación de un Sistema de Gestión de Calidad en obra.

### **3.2 La UNE-EN ISO 9001:2015**

No puede obviarse al hablar de control de calidad, la mención de la norma internacional específica que, aplicable a cualquier sector, desarrolla la gestión de la calidad: Norma UNE-EN ISO 9001:2015, Sistemas de Gestión de la Calidad. Requisitos.

De manera concreta, esta norma promueve un enfoque basado en procesos cuando se desarrolla, implementa y mejora la eficacia de un sistema de gestión de la calidad, lo que permite proporcionar productos y servicios que satisfagan los requisitos legales y del cliente, abordar riesgos y oportunidades asociadas con sus objetivos, y la capacidad de demostrar la conformidad con los requisitos especificados, incorporando, para ello, el ciclo Planificar-Hacer-Verificar-Actuar (PHVA).

### **3.3 Los Colegios profesionales y la documentación generada**

Se han analizado las propuestas que realizan diferentes colegios de Aparejadores, Arquitectos Técnicos e Ingenieros de Edificación de España (Barcelona, Alicante, Valencia, Bizkaia, Madrid, Murcia y Málaga) en relación con el control de calidad, comprobando que, en general, se limita a la entrega, junto al Certificado Final de Obra (CFO), de fichas resumen en las que el técnico indica para qué actividades de obra ha realizado el control de materiales, de la ejecución, y de la obra terminada, sin que quede acreditado el seguimiento

y control, ya que no queda constancia documental detallada de las labores desarrolladas por el DEO. Sólo en algunos casos (Alicante, Valencia y Bizkaia) se hace entrega de un “libro” con indicación de los lotes, controles y resultados de las inspecciones realizadas.

### 3.4 El Control de calidad en las empresas constructoras

Los Sistemas de Gestión de Calidad están bastante extendidos en las empresas constructoras de mediano y gran tamaño, no así en las de ámbito más pequeño. Desde hace casi 25 años, las grandes empresas apostaron por la implantación de sistemas de calidad que aportasen valor añadido a su gestión, que pudiera “asegurar” la satisfacción del cliente, y que redujese los “costes de la no calidad”.

### 3.5 Otras consideraciones sobre el control de la calidad en edificación

En relación con la calidad en la edificación, han de mencionarse una serie de circunstancias destacables:

- La motivación de los legisladores para la aprobación de diferente normativa en el ámbito de la construcción ha sido la mejora de la calidad de lo edificado, con objeto de satisfacer las demandas y necesidades de los ciudadanos.
- Asumidas las distintas etapas del proceso (planificación, ejecución, verificación y corrección), es sabida la eficacia de su análisis en las primeras fases del proyecto, disminuyendo conforme avanza el mismo, al contrario que el coste de las desviaciones del sistema, mayor cuanto más avanzado esté el proceso.
- Hay diversos estudios [7], [8] en los que se determina la causa de los errores y no conformidades detectados en la construcción, atribuyendo el 35-50% a fallos del proyecto, entre el 40 y el 55% de los siniestros se atribuyeron a errores durante la ejecución, a los materiales se atribuyen otro 4-6% de las incidencias y no conformidades y, finalmente, los fallos y errores por mal uso o inadecuado mantenimiento causan entre el 7 y el 8% de los siniestros.
- No existe normativa ni procedimiento normalizado alguno para el análisis, estudio y comprobación de la idoneidad y viabilidad técnica de los proyectos de edificación, a pesar de ser la causa de los 35-50% de los siniestros detectados en construcción. Desde la entrada en vigor de la LOE, sólo las entidades aseguradoras y reaseguradoras han “impuesto” la intervención de los Organismos de Control Técnico [OCT], que realizan la revisión del proyecto de la parte correspondiente a los elementos resistentes estructurales de la edificación.
- Tampoco existe norma respecto a las condiciones y labores a realizar para el correcto seguimiento y control de la calidad durante la ejecución de la obra. Sólo la EHE-08 establece y define en su articulado y anexos las actividades, inspecciones, lotes, intensidad de muestreo, y criterios de aceptación y rechazo para el adecuado control de las obras y elementos de hormigón estructural. La regulación normativa de algunas Comunidades Autónomas, de forma genérica, también indica las unidades de obra a controlar, con discutible acierto en su desarrollo.
- A la vista de la evolución de las estadísticas de siniestralidad, se puede observar una evolución favorable en la disminución de fallos relacionados con los elementos de

cimentación y estructura [9], probablemente achacables a la aplicación de las diferentes Instrucciones de hormigón estructural (EHE-08 y sus antecesoras) y el control realizado por las OCT's.

- Existe una "cultura" asentada y extendida sobre el control de materiales, ya sea mediante la ejecución de ensayos (hormigones y aceros, sobre todo), o mediante la justificación del cumplimiento de determinadas características mediante la aportación de documentación que así lo acredite, aunque sólo son el origen de menos del 10% de los siniestros estudiados.

Por tanto, y a la vista de las cifras y hechos descritos anteriormente, cabe plantearse la necesidad de optimizar el esfuerzo y los recursos necesarios para realizar un control adecuado, enfocándolo hacia los aspectos que pudieran ser más relevantes para evitar futuras patologías durante la vida útil de la edificación y sin alterar las condiciones de seguridad y habitabilidad [10].

#### **4. SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD. PROPUESTA DESARROLLADA Y ESTUDIO DE CASOS**

##### **4.1 El Sistema de Gestión de Calidad**

La primera actuación, según todo lo expuesto y en base a la experiencia profesional de los técnicos redactores del presente trabajo, ha sido el desarrollo de un Sistema de Gestión de Calidad basado en procesos, en el que se ha incluido los procedimientos y registros que permiten el adecuado control y seguimiento de las obras, así como establecer el modo de dejar constancia documental de las labores realizadas por el DEO durante su intervención.

Por ello, y como la ISO 9001:2015 establece, además del Manual de Calidad, la Política y objetivos, se han redactado diversos procedimientos que establecen las actuaciones y acciones necesarias para desarrollar las actividades y servicios contratados. Los procedimientos desarrollados son:

- PR-02. Preparación de procedimientos.
- PR-03. Control de la documentación.
- PR-04. Organización del estudio/equipo profesional.
- PR-05. Preparación y seguimiento de ofertas. Encargos profesionales.
- PR-06. Compras y subcontratación de servicios.
- PR-07. Evaluación de proveedores.
- PR-08. Control de procesos.
- PR-09. Auditorías Internas.
- PR-10. Formación.
- PR-11. Revisión y Análisis de Proyecto y documentación inicial.
- PR-12. Redacción de Planes de Control de Calidad.
- PR-13. Seguimiento y aplicación de Planes de Control de Calidad.
- PR-14. Redacción de Estudios de Seguridad y Coordinación en materia de SyS durante la ejecución.
- PR-15. Redacción y tramitación de informes técnicos.
- PR-16. Dirección de la ejecución de obra.

- PR-17. Control de equipos de inspección, medición y ensayo.
- PR-18. Control de productos No Conformes.
- PR-19. Acciones Correctoras y Preventivas.
- PR-20. Relación con los clientes.

A continuación se expone, como ejemplo, un extracto del procedimiento PR-16, de Dirección de la Ejecución de Obra. Figura 1 (General) y Figura 2 (Procesos):

<b>PR-16 DIRECCIÓN DE LA EJECUCIÓN DE OBRA</b>	
<b>OBJETO</b>	Establecer la forma de proceder y actuar para el desarrollo de las labores de dirección de la ejecución material de una obra.
<b>ALCANCE</b>	Es de aplicación en todas las obras en las que se contraten labores de dirección de ejecución
<b>ACTIVIDADES</b>	<p>TC</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificación de requisitos mínimos antes del inicio de tareas contratadas y su estudio.</li> <li>• Revisión y análisis del Proyecto.</li> <li>• Tramitación del encargo en el Colegio Profesional (COAAT).</li> <li>• Análisis, estudio y adecuación del Plan de Control de Calidad (Anexo Proyecto).</li> <li>• Análisis del Plan de Calidad de la sociedad contratista de las obras (si lo hubiere).</li> <li>• Seguimiento y control del Plan de Control de Calidad</li> <li>• Verificación del control de equipos de inspección, medición y ensayo.</li> <li>• Control de productos no conformes.</li> <li>• Control, archivo y distribución de la documentación generada.</li> <li>• Tramitación del Certificado Final de Obra (CFO).</li> </ul>
<b>REFERENCIAS DOCUMENTALES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manual de Gestión de Calidad (sistema de gestión de calidad de la empresa)</li> <li>• PR-02 Preparación de procedimientos, PR-03 Control de la documentación, PR-05 Preparación y seguimiento de ofertas, PR-11 Revisión y análisis de Proyecto y documentación inicial, PR-12 Redacción de Planes de Control de Calidad, PR-13 Seguimiento y aplicación de Planes de Control de Calidad, PR-17 Control de equipos de inspección, medición y ensayo, PR-18 Control de productos no conformes y de desviaciones.</li> <li>• Código Técnico de la Edificación.</li> <li>• Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08.</li> <li>• Norma ISO 9001:2015, art. 7 y 8.</li> </ul>
<b>RESPONSABLES (R*)</b>	<p>TC= técnico contratado</p> <p>AE= administrativo estudio</p>

Figura 1: Procedimiento de Dirección de la Ejecución. General

	PROCESO	DOCUMENTOS / REGISTROS	R*
1	Aceptación del presupuesto de honorarios por el contratante de los servicios (existe contrato o presupuesto firmado).	PR-05. Preparación y seguimiento de ofertas. Encargos profesionales.	TC AE
2	Tramitación del encargo en el colegio profesional. Obtención del Certificado de Intervención.	Plataforma @visado.	TC AE
3	Estudio y análisis del Proyecto y documentación complementaria (memoria, pliego condic., mediciones, planos, ...).	PR-11. Revisión y análisis del Proyecto y documentación inicial.	TC
4	Comprobación del Plan de Control de Calidad (Anexo del Proyecto de Ejecución visado) Si procede, incorporar modificaciones, incluyendo revisiones de documentos existentes.	PR-12. Redacción de Planes de Control de Calidad.	TC
5	Antes del inicio de la obra, comprobación de: - licencia municipal de obras, - apertura de Centro de Trabajo, - contratación, de técnico competente, en labores de Coordinación en materia de seguridad y salud, - contrato de la sociedad contratista, y aporte de la documentación necesaria.	PR-16A. Listado de documentación y trámites necesarios antes del inicio de la obra. PR-16B. Listado de documentación a entregar por la sociedad contratista, subcontratas y trabajadores autónomos.	TC
6	Si se dispone del Sistema de Gestión de Calidad en la empresa, realizar la revisión del Plan de Calidad de la obra. Estudio de la planificación de tiempos de obra propuesta por el contratista principal.		TC
7	Replanteo general de las obras y firma del Acta de aprobación del replanteo y autorización del inicio de las obras.	Acta replanteo. Topógrafo si procede.	TC
8	Seguimiento y control de obra (PPI). Docum. recepción materiales. Programa de ensayos.	PR-13. Seguimiento y aplicación de Planes de Control de Calidad.	TC
9	Verificación del control de equipos de inspección, medición y ensayo.	PR-17. Control de equipos de inspección, medición y ensayo.	TC
10	Si procede tras las inspecciones previstas, inicio de expedientes de No Conformidad y Acciones correctoras/preventivas.	PR-18. Control de productos no conformes. PR-19. Acciones Correctoras y Preventivas.	TC
11	Realización de visitas "programadas" a la obra. Redacción de Informes o Actas de visita. Documentar e informar al resto de intervinientes en el proceso edificatorio de los hechos más importantes y relevantes.	PR-16C. Informe de visita/ejecución de obra. PR-16D. Informe mensual de ejecución de la obra.	TC
12	Previo a finalizar las obras, comprobar el cumplimiento de los requisitos establecidos en el procedimiento. Completar con inspecciones realizadas por otras entidades de control (OCA, laboratorio con las pruebas de servicio, listas de repasos y terminaciones de la edificación, ...)		TC
13	Finalizadas las obras, redactar el Certificado Final de Obra (CFO). Adjuntar como anexo, los documentos y registros y los generados durante la ejecución de la obra, para su posterior tramitación ante el COAAT.	Plataforma @visado.	TC
14	Archivo, control y distribución de la documentación generada.	PR-03. Control de la documentación.	TC

Figura 2: Procedimiento de Dirección de la Ejecución. Procesos.

#### 4.2 La aplicación del SGC en obra

Una vez redactado y desarrollado el SGC, la segunda actuación llevada a cabo consistió en la aplicación en obras reales, con objeto de verificar la idoneidad de la propuesta realizada y realizar mejoras que permitiesen su uso eficaz.

Debe indicarse en este punto, sobre todo para los lectores no familiarizados con los sistemas de gestión de calidad, que lo que se propone es, simplemente, sistematizar la actuación del profesional, dotándolo de herramientas que le permitan planificar previamente y controlar la obra durante la ejecución, dejando registro de las actuaciones desarrolladas.

El Sistema de Gestión de Calidad fue aplicado en 4 obras de características similares:

- Construcción de edificio de 88 viviendas plurifamiliares “Tabacalera” de Málaga.
- Construcción de 48 viviendas adosadas “La Valvega de la Cala”, de Mijas.
- Construcción de edificio de 10 viviendas plurifamiliares en calle Peligro de Torremolinos.
- Construcción de Centro Parroquial “El Salvador” de Málaga.

La aplicación del Sistema de Gestión de Calidad en las obras ha consistido, básicamente, en el análisis del proyecto, la planificación de las labores de inspección, el control y verificación del cumplimiento de los requisitos establecidos mediante las inspecciones programadas, el registro de las actuaciones llevadas a cabo, el tratamiento de productos no conformes y la propuesta de acciones correctoras o preventivas, así como el control y gestión de la documentación generada, todo ello según los procedimientos establecidos.

Como resultados obtenidos en esta segunda fase, destacar varios aspectos como consecuencia de la aplicación del sistema:

- detección, antes del inicio de la obra, de elementos de proyecto con falta de definición o con solución no satisfactoria (revisión de proyecto),
- planificación, con tiempo suficiente, de las actividades, unidades de obra y materiales sometidos a inspección y control (Plan de Control),
- recepción de la documentación del control de materiales con suficiente antelación, que es cuando realmente se puede verificar la idoneidad del producto,
- realización de controles sobre la ejecución de la obra en tiempo adecuado y con la intensidad de muestreo prevista,
- detección de no conformidades en el inicio de la actividad y propuesta de medidas correctoras de forma ágil y rápida.

## 5. CONCLUSIONES

En las obras en las que se ha aplicado el Sistema de Gestión de Calidad el resultado fue realmente bueno, alcanzando niveles de acabado muy satisfactorios y cumpliendo las expectativas y requisitos requeridos por el cliente (precio, plazo y calidad), ajustándose a las previsiones iniciales y cumpliendo con los objetivos propuestos.

El número de repastos e incidencias en las obras fue menor en relación a otras obras similares en las que no se puso en práctica procedimiento alguno.

En todos estos casos se dejó constancia documental de las labores realizadas por el DEO durante la construcción, adjuntándose al CFO todos los registros del control realizado, dando respuesta y cumplimiento a las responsabilidades atribuidas en la normativa de aplicación.

La sistematización de las labores desarrolladas por el DEO ha motivado una mejora real en las obras en las que se ha implantado el SGC, aportando un valor añadido a la actuación, y obteniendo resultados visibles y apreciados por el resto de intervinientes en la obra.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Norma UNE-EN ISO 9001, Sistema de Gestión de la Calidad. Requisitos. Preparada por el Comité Técnico ISO/TC 176, Gestión y Aseguramiento de la Calidad. Septiembre 2015.
- [2] Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación LOE. 1999
- [3] Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación CTE. 2006
- [4] Real Decreto 1247/2008, de 18 de julio, por el que se aprueba la Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08. 2008.
- [5] Garrido Hernández, A., Montero Fernández de Bobadilla, E. (2008). “*Gestión de la calidad en la arquitectura técnica. La nueva forma de ejercer la profesión*”. Consejo General de la Arquitectura Técnica de España.
- [6] Fernández Martín, R., Garrido Hernández, A. (2002). “*Calidad en la edificación*”. Fundación Escuela de la edificación-UNED.
- [7] Vega Sánchez, S. (2009). “*Análisis de Riesgos y Control de la Calidad en la Edificación. Organismos y entidades de control técnico*”. Ponencia del Máster en Dirección de Empresas Constructoras e Inmobiliarias de la ETSAM-UPM. Máster MC2.
- [8] García Mesguer, A. (2001). “*Fundamentación de la calidad en la construcción*”, Fundación Cultural del Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Sevilla.
- [9] Aurrekoetxea Aurrekoetxea, J. A. (2009). “*Reparación de pilares con daños parciales localizados*”. Tesis doctoral. Universidad de Burgos.
- [10] Pérez Navarro, J., Campillo Domínguez, L. (2008). “*Control de calidad en la EHE 2008. Recepción, ejecución y obra terminada*”. Revista del COAAT de la Región de Murcia, nº 40, pág. 38.

## CONTROL DE CALIDAD: ASPECTOS PRÁCTICOS

ARJONA BORREGO, JOSEP M.

*Arquitecto Técnico, Girona, España*

*E-mail: j.arjona@aparellador.cat, Web: www.aparellador.cat*

**PALABRAS CLAVE:** “Control, calidad, normativa, documentación”.

### RESUMEN

La entrada en vigor del Código Técnico de la Edificación, en 2006, supuso un cambio del concepto general del control de calidad. Cambio que se llevaba gestando años atrás, cuando empezaron a surgir las primeras normativas obligatorias de edificación, en las cuales se prescribía un incipiente control de calidad de los materiales. El ejemplo más claro es el hormigón armado, material por el cual hay que remontarse al año 1973 para ver su primera normativa, que estaba compuesta de 68 artículos y 7 anejos, con un capítulo IX dedicado al control, de 4 páginas y 11 artículos. La última revisión de la EH-08, en 2011, nos la transforma en 103 artículos y 24 anejos, de los cuales hay 4 capítulos dedicados al control de calidad (del 14 al 17), más el de durabilidad que también lo afecta.

Como vemos, desde el año 1973 hasta ahora, han habido muchos cambios, y el CTE no podía ser menos. Podemos considerar que el Código Técnico recogió todos los preceptos anteriores, de las diferentes normas de edificación, y los actualizó para que sus requisitos básicos fueran aplicados asegurando la calidad y trazabilidad de todos los elementos, productos y sistemas que se incorporan en una edificación.

Desde su publicación han surgido programas y sistemas informáticos que nos pueden ayudar a ejecutar sus preceptos, pero: ¿Tenemos claro que documentos son válidos, cuales son correctos, como los podemos obtener, etc.? La presente comunicación pretende hacer un recorrido práctico, que sirva de recordatorio, para agilizar y simplificar el trabajo, recor-

dando conceptos primordiales como documentación del fabricante, marcado CE, marca de calidad, DIT, DAU, DITE, ETE, Documentos reconocidos, Registro de materiales, etc.; así como también la mejor forma de obtenerlos para poder adjuntarlos a nuestra documentación de control.

## 1. INTRODUCCIÓN

Lejos quedan las primeras normativas que nos marcaban los primeros pasos hacia un incipiente control de calidad de nuestros edificios, como la serie MV 101, 102..., que se publicaron a partir de 1957. Veinte años después, dichas normas se transformaron en la serie de normas básicas de la edificación (NBE), a las cuales se añadieron las tecnológicas (NTE), aunque estas últimas solo eran de obligado cumplimiento si lo estipulaba el proyecto.

Finalmente, todo ello cambio con la publicación de la Ley de Ordenación de Edificación (LOE), el 6 de mayo de 2000, y su aplicación práctica a través del Código Técnico de Edificación (CTE), el cual “*nació*” el 28 de marzo de 2006, tras una gestación complicada de unos primeros borradores, dos proyectos para su estudio (marzo de 2002 y de noviembre 2003) y la aprobación del documento.

Desde entonces, sus documentos básicos (DB) se han ido ampliando regularmente con correcciones, modificaciones y comentarios que ayudan a mejorar y facilitar su aplicación, la cual cosa nos obliga a estar al día siempre. Las últimas modificaciones se hicieron en diciembre del pasado año para los DB de seguridad en caso de incendio, de salubridad y de seguridad de utilización y accesibilidad.

Hasta la publicación de aquellas primeras normas, el control de calidad de materiales en edificios se había limitado a pruebas empíricas, pruebas prácticas en la propia obra que pedían los responsables de la misma (Figura 1), o en ensayos que, en aquella época, solo podían hacer universidades o entidades de reconocido prestigio como el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. (Figura 2)



Figura 1: Prueba de carga de una bóveda de Rafael Guastavino.

Fuente: Colección Guastavino/Collins, Columbia University.



Figura 2: Manual de ensayos, 1940.

Fuente: Archivo de Josep M. Arjona.

De hecho es con la EH-73 cuando se inician, tímidamente, las primeras disposiciones obligatorias para el control de calidad de los materiales. Disposiciones que, con el paso de los años, se han ido multiplicando. Ha sido una nueva visión de la sociedad, respecto a la calidad, lo que nos ha llevado a incorporar, en edificación, disposiciones cada vez más detalladas y estrictas en cuanto a su control.

La transformación que supuso el siglo XIX, con el paso de un sistema artesanal de producción al sistema de fabricación en serie de la revolución industrial, también originó, a partir del siglo XX, la introducción de métodos estadísticos en el control de productos. Podemos decir que en 1920 se inicia el control de calidad moderno, cuando el Dr. W. A. Shewhart, de la compañía de teléfonos Bell de Estados Unidos, idea un cuadro de control. Este cuadro de control se aplicaba al producto en sí, y tenía más un enfoque correctivo para, una vez detectados los errores y fallas, cambiar el proceso de fabricación. La segunda guerra mundial lo cambia todo por la necesidad de reconstruir, de forma rápida y óptima, los países afectados. Será a partir de 1950 cuando se modifica el concepto de calidad, pasando de comprobar solo el producto, a comprobar toda la cadena: se intenta diseñar, hacer (o fabricar), verificar y actuar en todos los ámbitos de la empresa, desde la dirección hasta el trabajador más sencillo. Se puede decir que, a mediados del siglo XX, es cuando se inicia la llamada gestión de calidad total que, con el tiempo, ha ido variando hasta definirse como las pérdidas que un producto o servicio infringe a la sociedad, desde su diseño y producción, hasta su consumo, uso y reciclado cuando acabe su vida útil. A menores pérdidas medioambientales y sociales, mayor calidad del producto o servicio.

Si bien en industria la política de “*a menores pérdidas mayor calidad*” se ha implementado cada vez más, la construcción se consideraba más artesanal y no se podía quedar al margen. Se entiende que es, a partir de la directiva 89/106/CEE sobre productos de construcción, cuando se marcan las bases para el cambio en los conceptos de calidad que nos llegaron, el año 2000, con la publicación de las nuevas EHE y LOE. Cambio que culminó con el nuevo código técnico.

Hay que recordar que la última EHE-08, revisada el 2011, tiene 4 capítulos dedicados al control de calidad (del 14 al 17), y un capítulo 7, dedicado a la durabilidad, que tiene especial incidencia para el control de proyecto y el de ejecución. Muy atrás nos queda ya la antigua EH-73, que “*solo*” nos ofrecía un primer capítulo IX de control, de 4 páginas y 11 artículos. Si bien había otras normas anteriores, podemos decir de la EH-73 que, *con ella empezó todo!*

## 2. EL CONTROL DE CALIDAD EN EL CTE

### 2.1 Consideraciones generales

Las condiciones de aplicación de productos, equipos y materiales de construcción nos vienen descritas en el artículo 5.2 de la parte I [1], las cuales, para facilitar la aplicación del CTE, de forma resumida nos dicen que:

- los productos de construcción que se incorporen con carácter permanente a los edificios llevarán el marcado CE, según el Reglamento (UE) Nº 305/2011 [2] por el que se establecen condiciones armonizadas para la comercialización de productos de construcción (deroga la anterior Directiva 89/106/CEE). Aunque dicho marcado solo será obligatorio para productos que condicionen el cumplimiento de alguno de los

requisitos básicos que recoge el propio Reglamento 305/2011.

- en ocasiones los DB pueden establecer las características técnicas de productos, equipos y sistemas, aunque deban tener el marcado CE.
- las diferentes administraciones pueden reconocer como válidos marcas, sellos, certificaciones de conformidad u otros distintivos de calidad voluntarios.
- también podrán reconocerse otras certificaciones: de prestaciones finales de los productos, equipos o sistemas, de edificios acabados, de gestión de la calidad de los agentes intervinientes, medioambientales, etc.
- se aceptaran productos, equipos y sistemas innovadores que estén avalados mediante una evaluación técnica favorable de su idoneidad para el uso previsto (DIT y DAU).

En cuanto al control de la ejecución, nos viene definido en el artículo 7, el cual establece que dicha ejecución tendrá como base el proyecto, y sus modificaciones durante la obra, conforme a la legislación, las normas de la buena práctica constructiva y las instrucciones de la dirección facultativa. Esta dirección facultativa realizará los controles pertinentes que les correspondan en cuanto a:

- control de recepción en obra de productos, equipos y sistemas (regulado en el artículo 7.2), el cual **es el objeto de esta comunicación**
- control de ejecución de la obra de acuerdo con el artículo 7.3; y
- control de la obra terminada de acuerdo con el artículo 7.4.

Este control de recepción en obra, “*simplemente*”, pretende darnos pautas para comprobar que los productos, equipos y sistemas recibidos en la obra cumplan con lo establecido en el proyecto. Para ello nos ofrece la posibilidad de hacerlo mediante el control de la documentación de los suministros, según 7.2.1; mediante distintivos de calidad o evaluaciones técnicas de idoneidad, según 7.2.2; y el control mediante ensayos, conforme 7.2.3.

La realidad es que, después de más de diez años de aplicación del CTE, este control de recepción NO es tan simple para los técnicos. Si bien la LOE ya introdujo las responsabilidades de los suministradores de producto en su artículo 15, donde textualmente nos decía que debían: “*Realizar las entregas de los productos de acuerdo con las especificaciones del pedido, respondiendo de su origen, identidad y calidad, así como del cumplimiento de las exigencias, que en su caso, establezca la normativa técnica aplicable*”, muchas veces dicha condición no se cumple.

Esto quiere decir que los suministros siempre deberían llegar acompañados con la documentación que permita comprobar su origen, su identificación y aptitud en obra. Además, por si a alguien no le quedaba claro, añadía que el suministrador debía: “*Facilitar, cuando proceda, las instrucciones de uso y mantenimiento de los productos suministrados, así como las garantías de calidad correspondientes, para su inclusión en la documentación de la obra ejecutada*”.

Por ello el CTE recoge estos preceptos y determina **un control de recepción** de cualquier material que nos llegue a obra, independientemente si se hace mediante documentos del fabricante, mediante distintivos de calidad o de evaluaciones técnicas de idoneidad. En verdad es que esto es casi imposible aplicarlo en una gran mayoría de obras, donde dicha documentación siempre nos llega cuando la obra esta acabada, o casi, después de reclamarla insistentemente, y muchas veces es incorrecta o incompleta.

### 2.2 ¿Qué tipo documentación?

Para un control de recepción correcto debemos ser estrictos y limitarnos a evaluar la documentación necesaria y evitar toda aquella que sea accesoria. Es por eso que debemos tener claro cuál es. Las opciones que nos ofrece el CTE son muy claras: Podemos realizar la recepción en base a la documentación directa del suministro que, según el artículo 7.2.1, puede ser:

- los documentos de origen, hoja de suministro y etiquetado; (el albarán o resguardo de entrega)
- el certificado de garantía del fabricante, firmado por persona física; (en los casos que sea pertinente como en el hormigón preparado o en estructura metálica) (Figura 3)
- otros documentos de conformidad como autorizaciones administrativas obligatorias, incluida la documentación del marcado CE. (desde enero de 2011 solo es necesario el marcado CE, las autorizaciones administrativas para viguetas y losas han quedado derogadas)

Esta documentación debe ser técnica, no comercial, y debe contener las características técnicas del producto suministrado. Muchas veces recibimos fotocopias de los catálogos comerciales, que no nos sirven para nada. (Figura 4)



Figura 3: Certificado del suministrador de perfiles metálicos.



Figura 4: Ficha comercial sin valor

También podemos hacer el control, o suplementarlo, con distintivos de calidad y/o evaluaciones de idoneidad técnica, que también deberíamos conocer, para evitar confundirlos. De hecho, hoy día, con la proliferación existente aún hay cierta confusión sobre que marcas y/o sellos son los necesarios. Recordemos los básicos, en cuanto a materiales de construcción:

- Marca o sello de calidad: Una marca de calidad es la certificación de un producto por parte de un *organismo de control independiente*, conforme a una norma nacional, europea o internacional. Normalmente dicha certificación suele ser de carácter voluntario, excepto que alguna normativa general, o específica, determine su obligatoriedad. La parte visible de la marca es un anagrama o logotipo, numerado que lo certifica. (Figura 5)



Figura 5: Marcas y sellos de calidad de producto, correctos.



Figura 6: Otros sellos.

No hay que confundir los sellos, o marcas de producto, con otros que tienen otra función como los de sistema de gestión interna, sistema de calidad ambiental, de seguridad, etc. El ejemplo más claro es el sello de empresa registrada, el cual, a menudo, nos facilitan como si fuera del material colocado en obra. El que una empresa tenga un sistema de gestión de calidad interna, no representa que todos sus productos cumplan la reglamentación que les afecta. De ahí la necesidad de saber separar las marcas y sellos de producto certificado del resto de marcas.

- Evaluaciones de idoneidad técnica: Este tipo de evaluaciones documentan la declaración de la opinión favorable de las prestaciones de un producto o sistema constructivo innovador en relación a los usos previstos y a las soluciones constructivas definidas, en el ámbito de la edificación y de la ingeniería civil. Es decir, cuando aparece un producto, o sistema de construcción no tradicional, se debe evaluar su aptitud para cumplir los requisitos de estabilidad, seguridad y medioambientales mínimos que pide la normativa, mientras no se desarrolle una norma que los regule. En nuestro país tenemos dos tipos de evaluaciones reconocidas y aceptadas por el CTE: el Documento de Idoneidad Técnica (DIT) [3], que emite el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (Figura 7), y el Documento de Adecuación al Uso (DAU) [4], que emite el Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña. (Figura 8)
- Evaluación Técnica Europea-ETE (anteriormente DITE): Es el documento europeo que recoge la evaluación técnica de las prestaciones de un producto o kit de un fabricante en relación con las características esenciales aplicables para el uso previsto por el fabricante. Con la Directiva de productos de la construcción 89/106/CEE se elaboraban Documentos de Idoneidad Técnica Europeos (DITE y/o guías DITE). El nuevo Reglamento europeo de productos de la construcción (UE) 305/2011, que desde el 1 de julio de 2013 sustituye a la anterior directiva, introduce nuevos instrumentos para fomentar la libre comercialización de los productos de construcción en el mercado único europeo y la mejora en la información de las características y prestaciones de los productos. Ahora encontraremos en el mercado las nuevas Evaluaciones Técnicas Europeas (ETE – *ETA* en inglés) (Figura 9) y los Documentos de Evaluación Europea (DEE – *EAD* en inglés).



Figura 7: DIT - © ietcc



Figura 8: DAU - © ITeC



Figura 9: ETA - © ITeC.

- Marca CE para productos de construcción [5]: En pocos años se está estableciendo como la marca por “excelencia”. El marcado CE es obligatorio para los productos de construcción que tengan una norma armonizada, y esta contenga un anexo ZA donde se describen los capítulos a cumplir de la norma armonizada, así como de los sistemas de evaluación y verificación de las prestaciones. En ocasiones, algunos productos ostentan dicha marca junto con otros sellos de calidad reconocidos. Así por ejemplo, tenemos que el cemento o los aislamientos térmicos ostentan a la vez la marca CE y la marca Aenor. A Setiembre de 2017 existen 420 normas de producto armonizadas y se prevén unas 600.

Es evidente que si es imposible realizar la recepción de los materiales con cualquier documento anterior, siempre se pueden evaluar sus prestaciones y características mediante ensayos realizados por laboratorios acreditados que nos deberán remitir las actas de resultados. Ensayos que se harán si lo determina la normativa, como en el hormigón preparado, o lo solicita la dirección facultativa.

### 3. APLICACIÓN PRÁCTICA

En obras oficiales y de gran envergadura, que tienen equipos integrados para llevar todos los temas técnicos, es corriente que la documentación de recepción, sea del tipo que sea, llegue a obra mucho antes que los materiales, o como mínimo, al mismo tiempo. Entonces el control de recepción se traduce en una simple comprobación física y documental del material.

Pero en la mayoría de nuestras obras, de tamaño medio o pequeño, la “batalla” siempre es conseguir dicha documentación, al menos, durante la ejecución si no nos llegó cuando correspondía, que es al inicio, o antes de iniciar la obra. Lo normal suele ser que la documentación se nos facilita después de mucho reclamar, con la obra en fase de acabado, por no decir totalmente acabada. Y muchas veces, excepto en el caso del hormigón, armaduras para hormigón y estructura metálica, la mitad de lo que recibimos está equivocado, caducado o no corresponde a nuestra obra.

Es por ello que, después de muchos años de experiencia, uno decide dejar de perder energías en trabajos que no le corresponden, y para ello, establece una metodología de con-

trol propia, de tal forma que, conjugando las visitas necesarias donde se fotografían todas las etiquetas de los productos utilizados, y con la búsqueda por internet de dichos materiales, se recopila casi la totalidad de los certificados, marca CE y resto de la documentación de recepción. Además, si se tiene la rutina de buscarlos poco después del día en que se ha hecho la visita, la trazabilidad de la obra está asegurada.

Cabe pensar que la mayoría de materiales ya deben tener el preceptivo marcado CE, aunque aún no sea obligatorio para todos. Es entonces cuando surge la duda: ¿hay algún listado al respecto? La respuesta es SI. Regularmente el Ministerio de Fomento transcribe y actualiza el listado de normas armonizadas con el calendario de publicación y cuando tiene la vigencia definitiva, accesible para todos en pdf [6] (Figura 10). La última actualización es de septiembre de 2017. (Figura 11)

RPC-Productos de Construcción Marcados CE ¿cómo se actualizan?  
 Versión 13 septiembre 2017  
 Página 41

Referencia norma UNE + Título de la norma transposición de norma armonizada	Fecha de aplicación de la norma armonizada a inicio del periodo de coexistencia (7)	Fecha final del periodo de coexistencia: entrada en vigor marcado CE (7)	Sistema de evaluación y verificación de la constancia de las prescripciones (7)
UNE-EN 13165:2013-A2:2017 Productos cerámicos técnicos para aplicaciones en la edificación. Productos manufacturados de espesura rígida de pesadas (PUR). Especificación	14.10.2016	14.10.2017	1/34
UNE-EN 13165:2013-A2:2016 Productos cerámicos técnicos para aplicaciones en la edificación. Productos manufacturados de espesura flexible (PF). Especificación	14.10.2016	14.10.2017	1/34
UNE-EN 13167:2013-A1:2016 Productos cerámicos técnicos para aplicaciones en la edificación. Productos manufacturados de vidrio celular (D2). Especificación	10.7.2016	10.7.2016	1/34



Figura 10: Calendario de publicación/vigencia Fuente: Ministerio de Fomento.

Figura 11: Marcado CE.

De la misma forma, también hay algunos de nuestros colegios que publican su propio listado para mantenernos informados. En Girona, el Colegio, regularmente actualiza una base de datos en Excel, de tal manera que es mucho más ágil consultar su contenido, porque está separada en sistemas constructivos. (Figura 12)

DOCUMENTACIÓN DEL CONTROL DEL MARCADOR CE

PRODUCTE	FORMA	ALTA VELOCIDAD		Sistema de verificación de la conformidad	CONSTRUCCIÓN	ALICIA
		ALTA VELOCIDAD	ALTA VELOCIDAD			
ALUMINIO Y VIDRIO	Norma	ALTA VELOCIDAD	ALTA VELOCIDAD	Sistema de verificación de la conformidad	CONSTRUCCIÓN	ALICIA
ESPEJERÍA	Norma	ALTA VELOCIDAD	ALTA VELOCIDAD	Sistema de verificación de la conformidad	CONSTRUCCIÓN	ALICIA
21	Carpas de protección de fachada estructural de alta resistencia para protección Part 1	UNE-EN 14795-1:2016	04/2016	04/2017	2+	
22	Resinas epoxi					
23	Resinas epoxi endurecidas. Part 3. Sencillament estancament	UNE-EN 1517-3:2006	01/2006	04/2007	3+	
24	Resinas epoxi endurecidas de alto rendimiento. Part 1. Resinas per l'aplicació de la construcció civil i per a la construcció industrial	UNE-EN 1599-1:2011	1/6/2012	1/10/2014	2+	
25	Resinas epoxi endurecidas	UNE-EN 15179:2011	1/6/2012	1/6/2011	1/1	
26	Arquitectos metal los por a termal. Part 1. Arquitectos en general	UNE-EN 15179:2011	1/6/2012	1/6/2011	1/1	

Figura 12: Listado Excel del CAATEE de Girona, versión junio de 2017.

De cara a su control, según las condiciones del mercado, esté puede estar: sobre el producto, en una etiqueta adherida al producto, en una etiqueta adherida en el envoltorio, en el propio envoltorio o en la documentación que debe acompañar al producto (albarán, factura, etc.), en la cual se recomienda que se incluya el marcado CE completo para una mejor agilidad de comprobación, aunque esto dependerá de cada suministrador o fabricante. (Figura 13)



Figura 13: Muestras de la situación del marcado.

Es evidente que en nuestras visitas comprobaremos visualmente si el material dispone del marcado, y si además ostenta otras marcas o sellos de calidad, además de que su aspecto y conservación sea el adecuado. Es entonces cuando, dando por sentado que, en la mayoría de casos, ni el suministrador ni el constructor nos habrá facilitado el resto de documentación, empieza nuestra tarea de buscarla.

Si bien, hoy día la mayoría de fabricantes tiene un apartado de certificación y documentación técnica en sus páginas electrónicas, a menudo encontrar exactamente los relativos a nuestro material puede ser complicado y engorroso. Es en este punto cuando hay que recordar los documentos reconocidos del CTE que, según su propia definición, como complemento de los DB, son: “...documentos técnicos, sin carácter reglamentario, que cuenten con el reconocimiento del Ministerio de Vivienda que mantendrá un registro público de los mismos”.

En este momento existen 9 documentos reconocidos de ayuda para la aplicación del CTE, uno de los cuales, desde septiembre de 2011, es una potente base de datos informatizada que se llama Registro de Materiales ITeC [4] (Figura 14). Dicho registro contiene productos, equipos y sistemas del ámbito de la construcción con información de los valores de sus características técnicas, así como la documentación del marcado CE, tal y como se establece en el artículo 6.1.a, de la Parte I del CTE.

La búsqueda en el registro es muy sencilla, ya que se puede hacer a través de diferentes campos: por sistemas, por sector, por material, por fabricante, etc. Si tenemos la suerte que nuestros materiales estén en dicho registro solo tendremos que recopilar la información que está inscrita. (Figura 15)



Figura 14: Registro de materiales ITeC



Figura 15: Fichas de producto en el registro

Así conjugando las visitas de obra, con las fotografías de materiales, junto con la información del registro y, en algún caso, del propio fabricante, podemos obtener la mayoría de la documentación de recepción de nuestra obra.

#### 4. CONCLUSIONES

Encarar el control de calidad de una edificación nunca es fácil, más si tenemos en cuenta que debemos documentar la parte de recepción de materiales, la parte de ejecución y la parte de obra acabada. Si bien el documentar la ejecución y obra acabada son parte directa de nuestro trabajo, documentar la recepción siempre obedece, salvo excepción concreta en algunos materiales, a la comprobación que lleguen de forma correcta, que son los adecuados para nuestra obra y que aportan la documentación necesaria que nos lo asegure.

Es por ello que, después de muchos años de “*experimentación*”, hemos establecido un sistema de trabajo que nos ayuda a recabar la información necesaria al respecto, cuya metodología nos funciona perfectamente como procedimiento, y que puede servirnos de guía a la hora de encontrarla:

- Una primera reunión con el constructor de la obra para saber quién será su suministrador y si ya ha definido los materiales que utilizará. En esta reunión es cuando se le informará de la necesidad de conservar la documentación sobre cada suministro, y cuál debe ser.
- Visitas de periódicas de control, que serán las mismas del control de ejecución, en las cuales se generará un archivo fotográfico de las diferentes etiquetas de producto donde, a menudo, aparecerán las marcas y sellos de calidad que el material ostenta.
- Comprobación en el Registro de Materiales Itec si aparecen nuestros productos de obra. En caso afirmativo guardar la ficha técnica y la ficha del marcado CE que genera el programa.
- En caso negativo, comprobación en la página electrónica del fabricante si hay acceso directo a certificados de sus productos. Si es así, se deben guardar los que sean necesarios. En ocasiones, hay fabricantes que establecen la solicitud de dichos certificados mediante correo electrónico.
- En los casos que tengamos materiales a los cuales hay que hacer ensayos, como el hormigón preparado, debemos conseguir que quien pide el material (hormigón por ejemplo), nos ponga como receptores directos de las actas de ensayo, así no tendremos que solicitarlas, sino que el propio laboratorio nos hará llegar una copia directamente.

Con esta metodología se consigue el 90% de la documentación de recepción casi al instante, de tal forma que, entendemos, cumplimos con la obligación de comprobar los materiales al inicio, y no al final de la obra.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS (Y CITAS EN EL TEXTO)

- [1] CTE Parte I (junio 2013) – Ministerio de Fomento. *Código Técnico de la Edificación. Parte I. Versión con modificaciones señaladas*. Madrid.
- [2] REGLAMENTO (UE) N o 305/2011 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 9 de marzo de 2011, por el que se establecen condiciones armonizadas para la comercialización de productos de construcción y se deroga la Directiva 89/106/CEE del Consejo. Estrasburgo.
- [3] DIT. Accedido el 26 de enero, 2018, desde <http://www.ietcc.csic.es>.
- [4] DAU y Registro de Materiales. Accedido el 26 de enero, 2018, desde <http://www.itec.es> y <https://registrodemateriales.com/>.
- [5] *Marcado CE de los productos de construcción. Paso a Paso* (2013) - Ministerio de Economía, Industria y Competitividad. Secretaría General de Industria y de la Pequeña y Mediana Empresa. Madrid.
- [6] *Productos de construcción (Reglamento (UE) N° 305/2011). Mercado CE ¿Cómo se comprueba? Versión 13. Septiembre* – Ministerio de Economía, Industria y Competitividad. Secretaría General de Industria y de la Pequeña y Mediana Empresa. Madrid.

## **ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE INCIDENCIAS TRAS EL CAMBIO DE CALDERA INDIVIDUAL A CALDERA CENTRALIZADA**

RAMÍREZ PASCUAL, MANUEL

*Universidad Del País Vasco, Vitoria-Gasteiz, España*

*E-mail: manuel.ramirez@ehu.eus*

**PALABRAS CLAVE:** Vivienda de calidad; Caldera individual; Caldera colectiva; Incidencias.

### **RESUMEN**

El análisis estadístico de las incidencias, que ocurren en la fase de revisión y una vez entregadas, es fundamental para la obtención de viviendas de calidad con la finalidad de mejorar todo el proceso constructivo [1]. La utilización de la metodología BIM permite la utilización de la información del estudio de las incidencias que se aporta a la base de datos compartida.

En este trabajo se realiza el estudio de las incidencias que se producen en el sistema de calefacción y agua caliente sanitaria, obtenidas de promociones de protección pública de los tres Territorios Históricos de la Comunidad Autónoma del País Vasco, en dos periodos 2005-2009 y 2010-2015, y en las fases de revisión de sus acabados antes del fin de obra y posteriormente tras la escrituración. El total de viviendas analizadas en este periodo de 11 años es de 13.854. En una primera parte se realiza un diagnóstico a partir de las incidencias del primer periodo, tras lo cual se propone una modificación en cuanto al tipo de caldera, eligiendo caldera centralizada frente a la caldera individual. En la segunda parte se analizan los resultados producidos tras este cambio.

Las decisiones del cambio se realizaron en el equipo de producto de la promotora de modo que la información de la que los proyectistas dispondrán para realizar los proyectos,

utilizando la metodología BIM [2], será la que provenga del análisis del estudio estadístico de las incidencias que alimentará la base de datos. Los resultados del cambio planteados han sido positivos al reducirse el número de incidencias por vivienda en la fase tras escrituración. Así mismo tras el análisis en fase de revisión de viviendas antes de su entrega y en fase tras escrituración, se propone como mejora la realización de una prueba de servicio poco antes de la entrega de la vivienda [3].

## 1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de cualquier sistema de calidad [4] es el de la mejora continua y en este caso se trata de determinar soluciones para minimizar el número de incidencias (vicios o defectos de construcción) que se producen en el proceso constructivo. Si los datos de incidencias se quedan solo en el departamento de Postventa y no se trasladan al resto de departamentos de la promotora será difícil poder adoptar soluciones que permitan conseguir el objetivo de “cero defectos” [5]. La aplicación de una base de datos compartida permitirá que se puedan tomar decisiones para modificar cualquier unidad de obra o tomar medidas para una correcta ejecución en aquellos apartados que se considere necesarios.

Esta base de datos, que se utilizará en la metodología BIM [6], servirá para la definición de los proyectos de acuerdo a las opciones que la promotora considere que debe incluir, sabiendo que son soluciones contrastadas con la realidad de la valoración de las incidencias que se han producido en anteriores promociones. La experiencia de los errores sirve para mejorar y evitarlos en el futuro, por eso la fuente de información de las incidencias de Postventa es básica para la realización de nuevos proyectos que contengan menos errores en su redacción y en su ejecución.

El caso aquí planteado corresponde al cambio de un sistema individual de calderas para calefacción y agua caliente sanitaria por un sistema de caldera colectiva centralizada [7].

## 2. METODOLOGÍA

El estudio se ha realizado en la Comunidad Autónoma del País Vasco en sus tres Territorios Históricos, Araba-Álava, Bizkaia y Gipuzkoa. La toma de datos corresponde a dos periodos, el primero para el análisis y toma de decisiones en los años 2005 a 2009 (5 años) y el segundo para el estudio de los resultados tras la aplicación del cambio adoptado por el Equipo de Producto, en los años 2010 a 2015 (6 años).

Todos los datos corresponden a incidencias detectadas por técnicos competentes en edificación, que en este caso han sido arquitectos técnicos y titulados en grados superiores de edificación y obra civil y provienen de promociones de viviendas de protección pública. Las incidencias son siempre aceptadas por los mismos técnicos y en los periodos anteriormente reflejados y corresponden a promociones que están en las fases siguientes:

- **Revisión**, correspondiendo a aquellas incidencias que existen en las viviendas, elementos comunes y urbanización y que se localizan en el periodo previo al fin de obra. Deberán estar reparadas antes de que la dirección facultativa firme el fin de obra.
- **Tras la escrituración**, corresponden a aquellas incidencias que aparecen, una vez entregado el edificio y detectadas por el cliente o usuario, que comunicará de forma fehaciente a la promotora para que un técnico postventa valore su aceptación.

Los datos que se han utilizado para el análisis en la primera fase, que corresponden al total de promociones, número de viviendas y número de incidencias, queda reflejado en la tabla 1:

Tabla 1: Total promociones, viviendas e incidencias (2005-2009).

	Nº Promociones	Nº Viviendas	Nº Incidencias
Revisión	28	3.526	42.621
Entrega	32	3.879	28.312
Total	35	4.241	70.933

El análisis de los datos de incidencias por vivienda se hizo mediante la utilización del programa IBM SPSS Statistics V 24.0.0.0. Para la correlación entre la fase de revisión y tras la escrituración se han utilizado los coeficientes de correlación de Pearson y de Spearman.

Debido a la aparición de un importante número de incidencias en la fase tras la escrituración en el apartado de instalaciones de calefacción y agua caliente sanitaria, el Equipo de Producto decide realizar el cambio de sistema de calefacción con caldera individual por caldera colectiva. La decisión de este cambio venía avalada por los resultados del análisis en este periodo, ya que existían promociones con ambos sistemas. Así mismo otra serie de aspectos incidieron en esta decisión [8] tales como el ahorro energético, menor coste para el usuario y eliminación de canalizaciones de gas y calderas en las viviendas, entre otras.

### 3. RESULTADOS

Las incidencias [9] que se incluyen para la obtención de los resultados corresponden a las referentes a la instalación completa tanto de calderas como de todas las canalizaciones individuales y colectivas, así como los radiadores. Los datos totales utilizados para el análisis de la unidad de obra calefacción y agua caliente sanitaria, teniendo en cuenta los dos periodos analizados, 2005-2009 y 2010-2015, es decir analizando todo el periodo de 11 años, 2005-2015, son que aparecen en la tabla 2:

Tabla 2: Total viviendas analizadas con caldera y tipo de caldera.

	Nº Viviendas total	Nº Viviendas revisión	Nº Viviendas tras escritura
Caldera individual	3.523	1.333	2.190
Caldera colectiva	10.331	5.173	5.158
<b>Total caldera (2005-2015)</b>	13.854	6.506	7.348

En cada fase en número de viviendas es diferente ya que una misma promoción puede estar en una de las fases o en ambas. El número de incidencias totales se distribuyen según aparece en la tabla 3:

Tabla 3: Total incidencias en instalación de calefacción y agua caliente sanitaria.

	Nº Incidencias total	Nº Incidencias revisión	Nº Incidencias tras escritura
<b>Caldera individual</b>	2.764	514	2.250
<b>Caldera colectiva</b>	7.052	2.701	4.351
<b>Total incidencias caldera</b>	9.816	3.215	6.601

El indicador utilizado para el estudio estadístico de este trabajo corresponde al número de incidencias por vivienda. Los valores resultantes del estudio se pueden observar en la figura 1:



Figura 1: Distribución incidencias por vivienda en ambas fases.

La distribución del indicador de incidencias por vivienda para valores que incluyen las dos fases de análisis, revisión y tras escrituración, aporta globalmente el resultado de que dicho indicador es menor en un 12,82%, para el caso de instalaciones de calefacción y agua caliente sanitaria con caldera colectiva. Sin embargo, en fase de revisión, las incidencias son mayores en un 33,33%, pero una vez corregidas antes de la entrega de las viviendas, se obtiene un mejor resultado tras la escritura disminuyendo en un 18,45% el nº de incidencias por vivienda, debido sobre todo a este importante trabajo de revisión previo.

### 3.1 Comparativa en fase de revisión

Los datos del número de viviendas utilizadas para el análisis de la fase de revisión, por periodos, se pueden ver en la tabla 4.

Tabla 4: Total viviendas analizadas en fase de revisión con caldera y tipo de caldera en los dos periodos.

	Nº Viviendas total	Nº Viviendas revisión (2005-2009)	Nº Viviendas revisión (2010-2015)
<b>Caldera individual</b>	1.333	1.116	217
<b>Caldera colectiva</b>	5.173	2.410	2.763
<b>Total caldera (2005-2015)</b>	6.506	3.526	2.980

En la tabla 5 se puede ver el número de incidencias en fase de revisión de los dos periodos analizados:

Tabla 5: Número de incidencias en fase de revisión en los dos periodos.

	Nº Incidencias total	Nº Incidencias revisión (2005-2009)	Nº Incidencias revisión (2010-2015)
<b>Caldera individual</b>	514	340	174
<b>Caldera colectiva</b>	2.701	424	2.277
<b>Total incidencias caldera</b>	3.215	764	2.451

La distribución de los resultados del indicador de incidencias por vivienda en los dos periodos correspondientes a la fase de revisión, se puede apreciar en la figura 2.

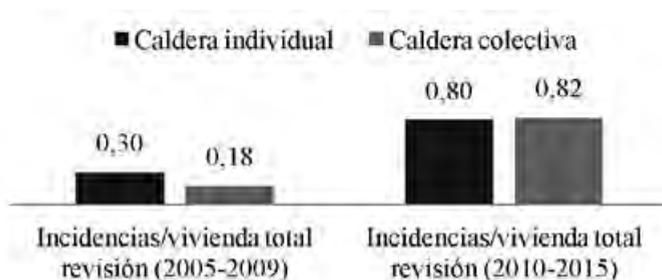


Figura 2: Comparativo en fase de revisión incidencias por vivienda en calderas en los dos periodos.

Tras la decisión del cambio el indicador de número de incidencias por vivienda ha aumentado en el periodo 2010-2015 con respecto al periodo 2005-2009 en ambos tipos de instalación en un 267% y 456% respectivamente. Sin embargo, en el último periodo, ambos valores están prácticamente igualados, con un ligero aumento del 2,5% en el caso de caldera colectiva.

Esto quiere decir que los instaladores de ambos sistemas de calefacción mantienen un mismo nivel de fallos en cualquiera de los dos tipos de instalación, pero peor que en el primer periodo. Esto también es debido a una mejor revisión por parte de los técnicos postventa que detectan más fallos que se pueden subsanar antes de la entrega. Se deberá comprobar si esta mejor revisión se traduce en menos incidencias tras la escritura.

### Resultados en Araba-Álava

En el primer periodo el indicador de incidencias por vivienda en el sistema de caldera colectiva es menor que para el caso de caldera individual. Sin embargo el incremento experimentado del primer periodo al segundo es importante en el caso de la caldera colectiva. Al no existir promociones que tuvieran caldera individual en el segundo periodo, no se puede definir cuál es la mejor opción en ese periodo. En cualquier caso en fase de revisión en Araba-Álava el indicador se ha incrementado en el caso de caldera colectiva, tal y como se aprecia en la figura 3.

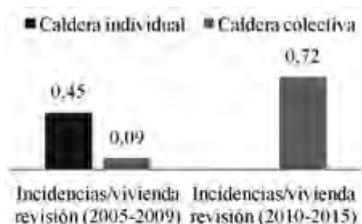


Figura 3 Comparativo en fase de revisión incidencias por vivienda en calderas en los dos periodos en Araba-Álava.

### Resultados en Bizkaia

El incremento experimentado en el segundo periodo con respecto al primer periodo, en la fase de revisión, es importante en ambos sistemas de calefacción y agua caliente sanitaria.

En ambos periodos el indicador tiene un valor mayor para la caldera colectiva siendo en el primer periodo un 25,92% mayor, corrigiéndose este aumento en el segundo periodo a un 10%. Esto significa que en fase de revisión se mejora la proporción entre ambos sistemas. Aun así, como se ve en la figura 4, en esta fase para el sistema de caldera colectiva, el indicador se ha incrementado en Bizkaia.

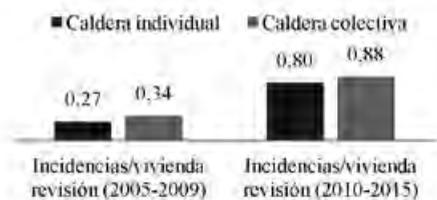


Figura 4 Comparativo en fase de revisión incidencias por vivienda en calderas en los dos periodos en Bizkaia.

### Resultados en Gipuzkoa

En la figura 5 se observa que en el primer periodo el indicador es mayor para la caldera colectiva sufriendo un importante incremento en el segundo periodo. Al no existir promociones que tuvieran caldera individual en el segundo periodo, no se puede definir cuál es la mejor opción en la fase de revisión. En cualquier caso en fase de revisión en Gipuzkoa el indicador se ha incrementado en el caso de caldera colectiva.

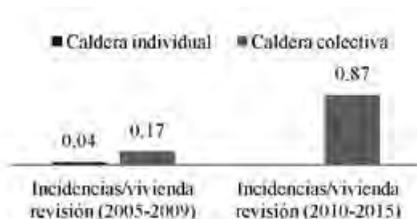


Figura 5 Comparativo en fase de revisión incidencias por vivienda en calderas en los dos periodos en Gipuzkoa

### 3.2 Comparativa en fase tras escrituración

Los datos del número de viviendas para el análisis de la fase tras escrituración se pueden ver en la tabla 6:

Tabla 6 Total viviendas analizadas en fase tras la escrituración con caldera y tipo de caldera en los dos periodos.

	Nº Viviendas total	Nº Viviendas revisión (2005-2009)	Nº Viviendas revisión (2010-2015)
<b>Caldera individual</b>	2.250	1.610	640
<b>Caldera colectiva</b>	4.351	2.055	2.296
<b>Total caldera (2005-2015)</b>	6.601	3.665	2.936

En la tabla 7 se puede ver el número de incidencias en fase tras escrituración de los dos periodos analizados:

Tabla 7 Número de incidencias en fase de revisión en los dos periodos.

	Nº Incidencias total	Nº Incidencias revisión (2005-2009)	Nº Incidencias revisión (2010-2015)
<b>Caldera individual</b>	2.190	1.746	444
<b>Caldera colectiva</b>	5.158	2.133	3.025
<b>Total incidencias caldera</b>	7.348	3.879	3.469

La distribución de los resultados del indicador de incidencias por vivienda en los dos periodos correspondientes a la fase tras la escrituración, se pueden apreciar en la figura 6:

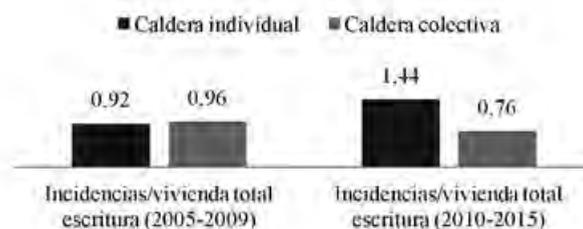


Figura 6 Comparativo en fase tras escrituración de incidencias por vivienda en calderas en los dos periodos.

La comparación del indicador de incidencias por vivienda entre los dos periodos analizados de la fase tras la escrituración, indica que tras la decisión de cambiar a caldera colectiva, en el periodo 2010-2015 no solo se reduce el valor de este indicador, comparado entre ambos sistemas, para caldera colectiva en un 47,22%, sino que además es inferior al valor del periodo anterior en un 20,83%.

El hecho de que aumentaran las incidencias en fase de revisión, en este caso, ha supuesto, que tras su reparación, el número de incidencias por vivienda en fase tras la escrituración haya disminuido de forma considerable. Por lo que el comportamiento del sistema de caldera colectiva es mejor que el de caldera individual. Sin embargo en las instalaciones con caldera individual aumenta este indicador considerablemente, en un 56,52%, ratificando que la mejor solución una vez entregado el edificio es la de caldera colectiva.

El resultado del indicador de incidencias por vivienda, en fase tras escrituración, para instalaciones de calefacción y agua caliente sanitaria, tras el cambio de caldera individual a caldera colectiva, obtiene la disminución del nº de incidencias por vivienda.

La mejora propuesta para mejorar este ratio es la realización de una prueba de servicio poco antes de la entrega de la vivienda, de modo que se minimizarían aún más las incidencias una vez entregado el edificio.

Los resultados por territorios históricos presentan cierta homogeneidad en el resultado ya que en fase de revisión todos los valores del indicador de incidencias por vivienda es peor en todos los casos en la segunda fase con respecto a la primera.

### Resultados en Araba-Álava

En el primer periodo el indicador de incidencias por vivienda en el sistema de caldera colectiva es menor que para el caso de caldera individual. Sin embargo en el segundo periodo éste indicador sufre un ligero incremento. Al no existir promociones que tuvieran caldera individual en el segundo periodo, no se puede definir cuál es la mejor opción en ese periodo. En cualquier caso en fase tras escrituración en Araba-Álava el indicador se ha incrementado en el caso de caldera colectiva como se aprecia en la figura 7.



Figura 7 Comparativo en fase tras escrituración de incidencias por vivienda en calderas en los dos periodos en Araba-Álava.

### Resultados en Bizkaia

A pesar de que en el primer periodo el indicador tiene un valor mayor para la caldera colectiva la evolución, en este caso, ha sido muy positiva de modo que este indicador se ha reducido considerablemente, un 55,97%, mientras que el indicador para caldera individual ha aumentado un 253%. En la figura 8 se puede ver como este indicador ha mejorado en la fase tras escrituración para el caso de caldera colectiva en Bizkaia.

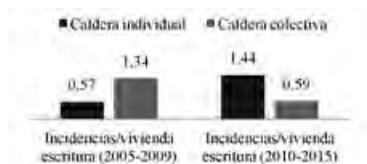


Figura 8 Comparativo en fase tras escrituración de incidencias por vivienda en calderas en los dos periodos en Bizkaia

### Resultados en Gipuzkoa

En el primer periodo el indicador es menor para la caldera colectiva sufriendo un importante descenso, 39,60%, en el segundo periodo. Al no existir promociones que tuvieran caldera individual en el segundo periodo, no se puede definir cuál es la mejor opción en ese periodo. En fase tras la escrituración en Gipuzkoa el indicador de incidencias por vivienda ha disminuido en el caso de caldera colectiva tal y como se ve en la figura 9.



Figura 9 Comparativo en fase tras escrituración de incidencias por vivienda en calderas en los dos periodos en Gipuzkoa.

## 4. CONCLUSIONES

Tras el análisis total del histórico de incidencias por vivienda de la unidad de obra instalaciones de calefacción y agua caliente sanitaria, se puede decir que el cambio, decidido en el Equipo de producto, de caldera individual a caldera colectiva, ha sido positivo al reducirse el número de incidencias por vivienda en la fase tras la escrituración.

El resultado del indicador de incidencias por vivienda en fase de revisión para el caso de instalaciones de calefacción y agua caliente sanitaria con caldera colectiva es mucho peor tras la decisión del cambio, no atribuyéndose a la decisión del cambio este aumento, al tener un valor muy similar para los dos tipos de instalación, sino que se debe, sobre todo a una mejor revisión por parte de los técnicos postventa al aumentarse el número de técnicos en este segundo periodo.

El resultado del indicador de incidencias por vivienda, en fase tras escrituración, para instalaciones de calefacción y agua caliente sanitaria, tras el cambio de caldera individual a caldera colectiva, obtiene la disminución del nº de incidencias por vivienda, cumpliéndose el objetivo de reducir el número de incidencias por vivienda con el cambio de caldera.

La mejora propuesta para mejorar este indicador, es la realización de una prueba de servicio poco antes de la entrega de la vivienda, además de las pruebas necesarias durante la fase de ejecución de cada una de las unidades de obra que componen esta instalación. Esta prueba de servicio podría aumentar las incidencias en la fase de revisión, pero haría que disminuirían de forma drástica una vez que el edificio está en funcionamiento. Este el objetivo de “cero defectos” para esta instalación.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ramírez, M. (2016). *Gestión de la calidad en la promoción de viviendas de protección pública en el País Vasco. Objetivo "Cero defectos"*. En CONTART 2016. La convención de la edificación (pp. 79-88). Granada: Universidad de Granada.
- [2] Fuentes, B. (2014) *Impacto de BIM en el Proceso constructivo español*. España, Servicios y Comunicación IGV S.L.
- [3] Arter, D.R. (2004) *Auditorías de la calidad para mejorar su comportamiento*. España, Ediciones Díaz Santos, S.A.
- [4] Escalante, E. J. (2006) *Análisis y mejoramiento de la calidad*. España: Limusa.
- [5] Ramírez, M. (2016). *Quality management in promotion of public housing in Basque Country. "Zero defects" goal*. En AEIPRO 2016 (Asociación Española de Dirección e Ingeniería de Proyectos) 20th International Congress on Project Management and Engineering. (pp. 224-234) Cartagena: Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de la Universidad Politécnica de Cartagena.
- [6] Hernández, J. (2017) *Salto al BIM: Estrategias BIM de calidad para empresas punteras del sector*. España, AEC. JHGUADALUPE.
- [7] Mateos de Vicente, M. (2000) *Errores, observaciones y anécdotas en instalaciones de conducciones: analicemos casos reales para no cometerlos*. España. Editorial Bellisco
- [8] Talero, D.C. (2016) *Servicio al cliente como ventaja competitiva en el sector construcción: El servicio, una combinación de calidad y actitud*. España, EAE.
- [9] Ramírez, M. (2017). *Gestión de la Calidad en la promoción de viviendas de protección pública en la C.A.P.V.. Preventiva en fase de proyecto y ejecución y garantía de calidad en fase postventa*. (Tesis no publicada). Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibersitatea, España.

## ANÁLISIS DE LA REVISIÓN DE LOS PROYECTOS DE EDIFICACIÓN, EN LA PARTE ESTRUCTURAL

ESTÉVEZ RUIZ, DANIEL<sup>1</sup>; CENALMOR SÁEZ, MARÍA DEL MAR<sup>2</sup>; GONZÁLEZ GASCA, MARÍA DEL CARMEN<sup>3</sup>

<sup>1</sup> IES Miralbueno, Zaragoza, España

*E-mail: daniel.estevez@td-management.es, Web: www.td-management.es*

<sup>2</sup> CPIFP Corona De Aragon, Zaragoza, España

*E-mail: mariadelmar.cenalmor@gmail.com, Web: http://www.cpicorona.es/*

<sup>3</sup> Universidad Europea, Madrid, España

*E-mail: mcarmen.gonzalez@universidadeuropea.es, Web: https://universidadeuropea.es/*

**PALABRAS CLAVE:** “Revisión de proyecto”, “control de calidad”, “normativa”, “seguro decenal de daños”.

### RESUMEN

Se estudia en este análisis las deficiencias encontradas y descritas en los informes de revisión de los proyectos de edificación en su segmento estructural. La investigación se clasifica en dos partes significativas, la primera en el análisis de la falta de documentación en proyectos o información incompleta o poco definida, y por otra parte los incumplimientos de normativa o errores de cálculo que puedan afectar a la estabilidad de la edificación, analizando expedientes durante el periodo con mayores números de visados en España (Burbuja inmobiliaria) desde el año 2003 hasta el año 2010, y englobando todo el territorio nacional. Estos informes están realizados por distintas empresas del sector del control de la calidad (Organismos de control Técnico), obteniéndose desde un punto de vista estadístico sus resultados.

Lograr un beneficio para la sociedad, coincidiendo en estos momentos de crisis inter-

nacional es la meta prioritaria de este trabajo, así como alcanzar beneficios económicos al evitar posibles sobrecostos, ya sean con precios contradictorios, reformados, ampliaciones de medición, etc..., como las patologías posteriores con su coste en reparaciones e incluso en posibles ruinas de edificios, derivados de la no existencia de una revisión previa de los proyectos de ejecución. La novedad de este trabajo, actualmente, está basado en la gestión de la calidad y la introducción de sistemas de control, siendo una oportunidad única la posibilidad de analizar los datos existentes en materia de revisiones de proyecto, evitando causas antes de su aparición, resaltando el valor de ser preventivo en el estudio del proyecto, y no en la ejecución.

## **1. INTRODUCCIÓN**

El interés técnico reseñado de este trabajo se complementa con el interés mediático, y social como el que muestra el artículo publicado en un diario nacional (PAIS de Luis Docel 27/08/2011)<sup>1</sup>, y diversas noticias siempre relacionado con contratos del estado, en él, el autor destaca: “El Gobierno cambia las normas de contratación para obligar a las constructoras a ajustarse al presupuesto inicial – El 98% de las obras licitadas desde 1996 se han encarecido por los ‘modificados’”.

La novedad de este trabajo, actualmente, está basado en la gestión de la calidad y la introducción de sistemas de control, siendo una oportunidad única la posibilidad de analizar los datos existentes en materia de revisiones de proyecto, resaltando el valor de ser preventivo en el estudio del proyecto, y no en la ejecución.

## **2. OBJETIVO**

El objetivo general de esta comunicación es el análisis de la documentación y normativa española relacionada con la revisión de proyectos referidos a estructura. Para ello se analizan minuciosamente los resultados de distintos informes de revisión de estructura en proyectos de edificación, extrayendo datos de los informes facilitados por empresas de control de calidad.

Para ello se cuantifican y estudian los porcentajes de errores más repetidos en las revisiones de proyecto.

## **3. CONTENIDO**

### **3.1 Alcance**

Para la realización del estudio, se extraen datos de informes desde el año 2003 al 2010, teniendo como población posible los proyectos visados en estos años (tabla 1).

---

<sup>1</sup> [http://economia.elpais.com/economia/2015/10/20/actualidad/1445359564\\_057964.html](http://economia.elpais.com/economia/2015/10/20/actualidad/1445359564_057964.html)



Tabla 1 Visados en España durante los años 2003 al 2010, fuente Consejo Superior de Arquitectos de España.

El número de visados no corresponde con el número de viviendas construidas, que se estima entre un 10 y un 15% menor <sup>2</sup>, por tanto, estamos hablando de una población aproximada de 3.700.00 edificaciones realizadas en el periodo indicado.

Para el estudio se analizaron 320 expedientes en el periodo 2003 y 2010, en las empresas de control indicadas en la ilustración nº 1.

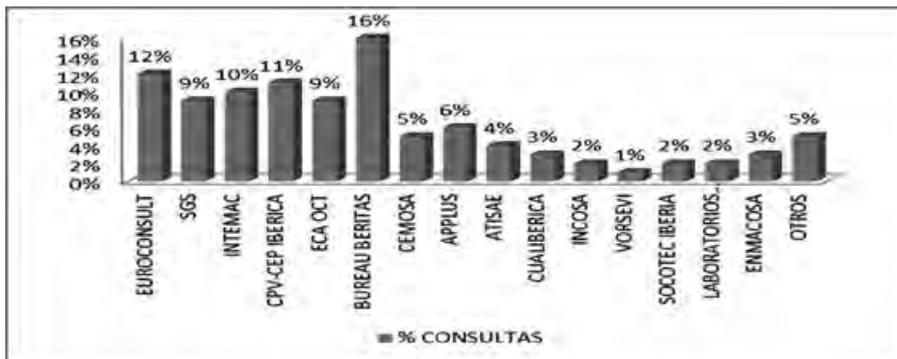


Ilustración 1 Datos del nº de expedientes revisados, diferenciado por la empresa de control de calidad que los realiza.

La tipología de informes analizados son los formatos normalizados y adoptados por las empresas de control de calidad contratadas OCTI (Organismos de control técnicos independientes) a tal efecto para el control técnico [1] tanto en revisión de proyectos, como en ejecución, para la contratación del seguro decenal de daños, redactados los creados por UNESPA y CEPREVEN, al tratarse de un estudio relativo y acotado a los proyectos de estructura. Los informes analizados son los denominados como:

D0: Informes de definición de riesgos generales del proyecto.

D01: Informe de Revisión del proyecto de estructura referido a su estabilidad.

D1.1: Informe de unidades de obras especiales (Cimentación).

D1.2: Informe de unidades de obras especiales (Estructuras prefabricadas).

<sup>2</sup> Datos INE (Instituto nacional de estadística)

### 3.2 Análisis de los resultados

En estudio se analiza por un lado la falta de documentación en el proyecto[2], o documentación incompleta o inexacta y por otra parte los fallos de cálculo[3] o coeficientes de seguridad por debajo de lo admisible en la norma y en la buena práctica constructiva, que después pudieran dar lugar algún tipo de siniestro en la edificación.

Los resultados se describen en las ilustraciones y gráficos siguientes (Ilustración nº 2), la clasificación se establece en familias que corresponden a los elementos estructurales más significativos, como cimentación, pilares, forjados, losas y jácenas.



Ilustración 2 Resultados estadísticos en la cimentación.

El error más repetido en la documentación es la falta de estudio geotécnico en la redacción inicial de un proyecto, En segundo lugar, la falta de definición de los pilotes (se suele dejar el cálculo definitivo a la empresa que después ejecuta los pilotes), y por último la elección de los materiales no guarda relación con la agresividad del terreno. En cuanto a cálculo o diseño de la cimentación existe deficiencia en el recubrimiento mínimo de las armaduras.

Respecto a los pilares, en documentación suelen faltar detalles constructivos para una buena ejecución de nudos y cumplimiento con la norma, y en cálculo se define un porcentaje alto por falta de armado, solapes, y cercos.

La revisión de la documentación en cuanto a jácenas y losas, arroja la misma tendencia que los anteriores elementos, los errores de cálculo, en jácenas es del orden del 14% cuando se trata de una deformabilidad excesiva, así como el incumplimiento de la separación mínima entre armaduras.



Ilustración 3 Resultados estadísticos en los forjados.

Cabe destacar como se observa en la ilustración nº 3, que existe en la documentación de los proyectos examinados. La falta de planos de forjado, así como las fichas de autorización de uso. Este Este aspecto se trata en la tesis Doctoral de Jorge Aragón Fitera [4], donde estudia la patología en forjados, indicando que estas son las que presentan mayor porcentaje en la edificación de viviendas.

#### 4. CONCLUSIONES

Las conclusiones sobre este estudio realizado, desde un punto de vista general, la podemos resumir en tres ideas:

- Anticipación a la prevención de deficiencias o lesiones en la edificación gracias a las revisiones de proyecto por entidades independientes.
- Valorar la posibilidad de estudiar la viabilidad de implantación de una normativa de obligado cumplimiento en las medidas de revisión de proyectos con independencia del autocontrol del proyectista.
- Como consecuencia de la anterior conclusión, la necesidad de implantación de un certificado de calidad, donde se revisará exhaustivamente y con rigor los proyectos.
- Concienciación de todos los participantes implicados en el proceso, cumpliendo con protocolos y normativas vigentes, para minimizar los posibles fallos en proyectos.
- El análisis de resultados[5] de las encuestas nos ha permitido, una vez analizadas, conocer las opiniones y protocolos de actuación relacionados con la calidad, de los arquitectos frente a la redacción de proyecto.
- Se observa que, en los errores de cálculo detectados, un 14% corresponde con una deformabilidad excesiva en jácenas.
- En el análisis de la documentación de forjados es superior al 75% la falta de planos definitivos de los mismos, y no disponen en este porcentaje de fichas de autorización de uso.
- Los resultados de la encuesta no concuerda con el análisis documental realizado, como se indica en la conclusión anterior, la contestación a la encuesta nos muestra que el 63% de los autores de proyecto contestan que si realizan el proyecto teniendo en cuenta las fichas de autorización de uso de los forjados y disponen de planos definitivos de los mismos.
- Como resultado de las encuestas a Arquitectos, destacamos que cuando se subcontrata el cálculo de la estructura se marcan unos hitos muy ajustados de entrega, alrededor del 92% de los encuestados.
- El 68% de los arquitectos autores del proyecto subcontratan el cálculo de la estructura.

## 5. REFERENCIAS

- [1] El Seguro de Garantía Decenal (LOE).
- [2] Control de Calidad en Obras de Construcción Available at: <http://www.canalconstruccion.com/control-calidad-obras-construccion.html>. Accessed 5/27/2011, 2011.
- [3] Código técnico de la edificación (CTE).
- [4] Abejaro Pastor CI, García Ballester LV, Universidad Politécnica de Valencia. Escuela Técnica Superior de Gestión en la Edificación. El seguro decenal. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia; 2003.
- [5] Alfaro Navarro JL, Alfaro Cortés E, Mondéjar Jiménez J, Vargas Vargas M. Control estadístico de la calidad: una breve reseña histórica. Documentos de Trabajo (Universidad de Castilla La Mancha.Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales) 2004;2(1).

## ÍNDICE

### ÁREA 1. EDIFICACIÓN 4.0, DIGITALIZACIÓN E INNOVACIÓN EN CONSTRUCCIÓN

001

INTERNET OF THINGS Y OPEN SOURCE PLATFORMS COMO HERRAMIENTAS DE APOYO PARA LA CONSTRUCCIÓN 4.0

*Martín-Garín, Alexander; Millán-García, José Antonio; Sala-Lizarraga, José María; Hidalgo-Betanzos, Juan María; Bañri, Abdherraman* .....9

002

GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN BASADA EN EL FLUJO DE RECURSOS PARA MEJORA DE LA PRODUCTIVIDAD

*Santos Fonseca, Salazar* .....19

003

ANÁLISIS COSTE-BENEFICIO DE LAS ESTRUCTURAS INTELIGENTES

*Ruiz Gorrindo, Félix; Martí Colom, Pau; Llorens Garcia, Ariadna*.....27

004

NUEVAS EXIGENCIAS DE FORMACIÓN PARA LOS FUTUROS PROFESIONALES DE LA EDIFICACIÓN: HERRAMIENTAS PARA LA GESTIÓN

*Valverde Gascueña, Nelia; Ruiz Fernández, Juan Pedro* .....40

005	APLICACIÓN DEL 8D Y DE LOS PRINCIPIOS LEAN PARA LA MEJORA DE LA SEGURIDAD Y PREVENCIÓN DE OBRAS DE EDIFICACIÓN <i>Latorre, Asier; Sánchez, Bruno; Sanz, Cristina; Vidaurre, Marina</i> .....	51
006	PROYECTO DE FABRICACIÓN: LEAN-BIM DESDE EL ESTUDIO DE VIABILIDAD HASTA EL ACTA DE REPLANTEO <i>Santos Fonseca, Salazar</i> .....	61
007	NUEVAS TECNOLOGÍAS APLICADAS A LAS CAMPAÑAS DE RECONOCIMIENTO GEOTÉCNICO: APP GEONES COMO HERRAMIENTA PARA LA IMPLANTACIÓN DE UNA NUEVA METODOLOGÍA DE TRABAJO <i>Nespereira Jato, José</i> .....	71
008	VISADO DE UN MODELO BIM <i>Bello Larroche, Guillermo</i> .....	82
009	BIOCONECTIVIDAD MULTIPOLAR 4.0. <i>Hernández López, Rafael; Turrado Domínguez, Elena; Donaire Galiano, María Dolores</i> .....	92
010	THE FLOW BUILDING® LEAN GAME: UNA DINÁMICA INNOVADORA CREADA EN ESPAÑA PARA LA ENSEÑANZA DE LEAN CONSTRUCTION <i>Pons Achell, Juan Felipe</i> .....	100
011	QUIÉN TIENE MAGIA NO NECESITA TRUCOS <i>Sardá Martín, Víctor; Cerveró Romero, Fernando; Lledó Pardo, María Jesús; Fuente Juridías, Raúl</i> .....	111
012	CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS UTILIZANDO CONTENEDORES MARÍTIMOS. EJEMPLO DE RECICLAJE Y SOSTENIBILIDAD <i>Ruiz Gorrindo, Félix; Llorens García, Ariadna</i> .....	123

013	SCAN TO BIM EN EL PROYECTO DE MEJORAS DE T123 DE ACUERDO A DISEÑO FUNCIONAL DEL AEROPUERTO ADOLFO SUÁREZ MADRID-BARAJAS <i>Quintana Romo, Mikel; Capelastegui Lasso, Abel; Pablos Andrés, Daniel; Alonso Fernández, Olga</i> .....	135
-----	---	-----

014	MÉTODO SIMPLIFICADO DE GESTIÓN DE CONSTRUCCIÓN MEDIANTE LA APLICACIÓN EN DISPOSITIVOS MÓVILES <i>Collado López, María Luisa; Sáez Pérez, María Paz</i> .....	144
-----	---	-----

015	LAST PLANNER SYSTEM YA ES UNA REALIDAD. AHORA HACIA LA TRANSFORMACIÓN LEAN DE LA EMPRESAS DE CONSTRUCCIÓN <i>Lledó Pardo, María Jesús; Cerveró Romero, Fernando</i> .....	154
-----	--	-----

## ÁREA II. CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LA EDIFICACIÓN

016	USO DEL GEORRADAR PARA LA IDENTIFICACIÓN Y DEFINICIÓN GEOMÉTRICA DE ESTRUCTURAS DE CIMENTACIÓN EN EDIFICACIONES EXISTENTES <i>López Julián, Pedro Luis; Pueyo Anchueta, Oscar; Pocoví Juan, Andrés; Pérez Benedicto, José Ángel; Sánchez Catalán, Juan Carlos</i> .....	167
-----	--	-----

017	PROPIEDADES DEL HORMIGÓN RECICLADO PARA EL USO COMO SOLERAS DE HORMIGÓN EN PAVIMENTOS INDUSTRIALES <i>Morales Arribas, Miguel Ángel; Pérez Benedicto, José Ángel; Del Río Merino, Mercedes; Sánchez Catalán, Juan Carlos; Casbas Giménez, Jesús; Gil Hernández, Daniel</i> .....	176
-----	---	-----

018	PRODUCCIÓN CIENTÍFICA Y TÉCNICA DE LOS APAREJADORES1 Y SU DIFUSIÓN. CREACIÓN DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL RIASTE <i>Durán Álvarez, Joaquín Manuel; López-Asiain Martínez, Juan</i> .....	186
-----	--	-----

019	SINGULARIDADES EN EL DISEÑO DE SOLUCIONES DE PROTECCIÓN FRENTE A GAS RADÓN <i>Frutos, Borja; Muñoz, Eduardo; Olaya, Manuel; Alonso Ruiz-Rivas, Carmen; Martín-Consuegra Ávila, Fernando</i> .....	195
-----	--	-----

020

SISTEMA INTELIGENTE, SOSTENIBLE E INTEGRADO DE GESTIÓN DE  
ESTRUCTURAS

*Muñoz Navascues, Oscar; Sánchez Catalán, Juan Carlos; Capelastegui Lasso, Abel;  
Pérez Esteras, Javier; Pérez Benedicto, José Ángel; López Julián, Pedro Luis* .....205

021

SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS DE LOS PUNTOS SINGULARES DE TRES  
FACHADAS VENTILADAS EN MADRID

*Rosell, Juan José; Ruiz, Alberto; Ortiz, José Ángel; Luque, Rafael; Olmos, Mariano;  
López, Juan Carlos* .....215

022

NUEVA ARQUITECTURA CON CUBIERTAS VENTILADAS DE TEJA

*Santiago Monedero, Elena; Ribas Sangüesa, Ana; Gracia Iguacel, Elena; Valenciano  
Estévez, José Luis* .....224

023

ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN DE LOS ÁRIDOS RECICLADOS  
PROCEDENTES DE PIEZAS PREFABRICADAS PARA LA ELABORACIÓN DE  
HORMIGÓN ESTRUCTURAL

*Cenalmor Sáez, María Del Mar; Estévez Ruiz, Daniel; González Gasca, Carmen;  
Caballero Montes, José Antonio* .....234

024

ANÁLISIS DE LA VALIDEZ DEL CTE PARA EL DISEÑO DE ELEMENTOS DE  
RECOGIDA DE AGUA DE LLUVIA EN TEJADOS SINGULARES

*Ruiz Lozano, Oscar; Russo, Beniamino* .....240

025

PROCESO DE IMPLANTACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM EN LA ESCUELA  
POLITÉCNICA DE LA ALMUNIA DE DOÑA GODINA

*Salanova Serrano, José Ángel* .....250

### ÁREA III. EDIFICACIÓN SOSTENIBLE Y EDIFICIOS DE CONSUMO DE ENERGÍA CASI NULO

026

#### CUANTIFICACIÓN DE RESIDUOS EN OBRAS DE REHABILITACIÓN ENERGÉTICA DE EDIFICIOS

*Villoria Sáez, Paola; Del Rio Merino, Mercedes; Santa Cruz Astorqui, Jaime; Rodríguez Sánchez, Antonio; Porras Amores, Cesar* .....261

027

#### METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN PARA EDIFICIOS DE CONSUMO DE ENERGÍA CASI NULO DENTRO DEL PROYECTO NEED4B

*Millán Ballesteros, Gema; Zambrana Vasquez, David Alejandro; Conserva, Andrea; Gimeno Frontera, Beatriz; Morales García, Javier* .....269

028

#### PANELES SOLARES HÍBRIDOS: ELECTRICIDAD Y CALOR EN UN SOLO PANEL

*Medrano Medrano, Isabel; Simón Allué, Raquel; Brun Gresa, Gonzalo* .....279

029

#### ANÁLISIS DE UN INTERCAMBIADOR TIERRA-AIRE (EAHX), ATENDIENDO AL COMPORTAMIENTO CÍCLICO ESTACIONAL DE LAS TEMPERATURAS DEL TERRENO QUE ENVUELVE A LOS TUBOS

*García Ballano, Claudio Javier; Monné Bailo, Carlos; Sánchez Iturbe, Manuel; García Aparicio, Eduardo* .....289

030

#### IMPLANTACIÓN DE PASSIVHAUS EN CLIMAS EXTREMOS. ARAGÓN: POLVO, NIEBLA, VIENTO Y SOL

*Navarro Gutiérrez, Carlos; Rodríguez Soria, Beatriz; Guillén Lambea, Silvia* .....299

031

#### UNA INNOVADORA MEJORA ENERGÉTICA: CAPTADOR SOLAR TÉRMICO PARA ENTORNOS TRADICIONALES Y CASCOS HISTÓRICOS

*Civantos Capella, Jorge ; Salcedo Hernández, José Carlos* .....310

032

#### CIEM. PRIMER EDIFICIO DE CONSUMO CASI NULO DE TITULARIDAD MUNICIPAL EN ZARAGOZA. ESTRATEGIA DE EJECUCIÓN Y FUNCIONAMIENTO

*García Ballano, Claudio Javier; Monne Bailo, Carlos; Sánchez Iturbe, Manuel; García Aparicio, Eduardo* .....320

033

PASSIVHAUS EN ALTURA EN BOLUETA-BILBAO. PROYECTO DE 361  
VPO, SOCIALES Y TASADAS EN DOS BLOQUES (28 Y 21 ALTURAS SOBRE  
RASANTE). CUMPLE ESTÁNDARES PASSIVHAUS  
Celada Ortiz De Apodaka, Luis Antonio; Tina Galdós, Francisco Javier;  
La Peña Irigoyen, Hugo .....331

034

REFLEXIONES SOBRE LOS PLIEGOS DE CONTRATACIÓN PÚBLICA DE  
EDIFICIOS DE ENERGÍA CASI NULA. EL CASO DE LA REFORMA DE  
FILOSOFÍA EN LA UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA  
*González Martínez, Carlos* .....340

035

CASO PRÁCTICO DE APLICACIÓN DE CERTIFICACIÓN BREEAM EN EDIFICIO  
DE 105 VIVIENDAS SEMINARIO EN ZARAGOZA  
*Castellanos Castillo, D. Antonio David; Martínez García, Pablo José;  
Gabriel Juan, Gabriel Juan; Seara Biurrún, Juan; Farinos Said, Ángel;  
Pérez Benedicto, José Ángel* .....351

036

CONSTRUCCIÓN Y MONITORIZACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA REAL  
DE UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR EECN EN ALCAÑIZ (TERUEL) - CLIMA D3  
*Higuero Artigas, Roberto* .....361

037

UP. COMPLETAR EDIFICIOS PARA MEJORAR LAS CIUDADES  
*Bailach Hernandis, José; Lostao Chueca, Diego* .....371

038

ASPECTOS PRÁCTICOS EN EL DESARROLLO DE PROYECTOS Y OBRAS CON  
ESTRUCTURAS DE MADERA  
*Lobo Parra, Manuel* .....381

#### ÁREA IV. SEGURIDAD Y SALUD

039

METODOLOGÍA PARA LA REDUCCIÓN DE RIESGOS QUÍMICOS EN LA  
INTERVENCIÓN DE ELEMENTOS ARQUITECTÓNICOS DE BRONCE  
*Candón Carrasquilla, Ana; Martín-Del-Río, Juan Jesús;  
Alejandre-Sánchez, Fco. Javier; Flores-Alés, Vicente; Pérez Fargallo, Alexis* .....393

040	MODELO PREVENTIVO EN LAS OBRAS DE CONSTRUCCIÓN <i>Manfredi Salado, Juan José</i> .....	403
041	SEGURIDAD PRL, HERRAMIENTA ON LINE PARA ORGANIZAR LA COORDINACIÓN DE ACTIVIDADES EMPRESARIALES BASADO EN UN MODELO “CLOUD COMPUTING”, GENERADOR DE INFORMES Y AGENDA DIGITAL <i>Ballester Andrés, José Francisco I; Torregrosa Najar, Vicente J.</i> .....	414
042	ENFERMEDADES PROFESIONALES MÁS FRECUENTES EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN: DESCRIPCIÓN, VALORACIÓN Y PREVENCIÓN <i>Sánchez Pi, M. Ángeles; Verdejo Suárez, Francisco; Piera Fanlo, Victoria</i> .....	424
043	NIVEL DE RIESGO EN OBRAS DE EDIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN SEGÚN DIFERENTES PARÁMETROS DE LAS MISMAS <i>Forteza Oliver, Francisco José; Carretero Gómez, José María</i> .....	432
044	PREVENCIÓN FRENTE AL RADÓN EN OBRA NUEVA Y REHABILITACIÓN <i>Cervera Monzó, Miguel</i> .....	442
045	GESTIÓN DE LA PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES EN OBRAS DE CONSTRUCCIÓN SIN PROYECTO. OBRAS EN COMUNIDADES DE PROPIETARIOS <i>Martínez Carrillo, Manuel Javier; Pérez Gázquez, Jesús; Del Pino Leruite, Juan Carlos; Sevilla Delgado, José Luis; Espínola Jiménez, Antonio; Moreno Medinilla, Fabiola</i> .....	452
046	LA INTEGRACIÓN DE LA PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES EN LAS OBRAS DE CONSTRUCCIÓN <i>Manfredi Salado, Juan José</i> .....	463
047	PARÁMETROS INDICADORES DEL AGUA POTABLE DOMÉSTICA URBANA, UMBRALES Y CONSECUENCIAS PARA LA SALUD <i>Serrano, Bárbara; Tendero, Ricardo; Del Río, Mercedes</i> .....	473

ÁREA V. ECONOMÍA DE LA CONSTRUCCIÓN. QUANTITY SURVEYING

048

METODOLOGÍA DE INTEGRACIÓN DE INFORMACIÓN PARA LA DETECCIÓN AVANZADA DE SOBRECOSTES DE OBRA. INTEGRATION OF INFORMATION ON ADVANCED DETECTION OF COST OVERRUNS (IMADO)

*Gifra Bassó, Ester; Ribera Roget, Albert* .....487

049

EL FINAL DE LAS MEDICIONES: POR QUÉ ES UNA BUENA NOTICIA

*Valderrama, Fernando* .....497

050

REPERCUSIÓN DE LOS COSTES INDIRECTOS EN LOS PRESUPUESTOS DE LOS PROYECTOS

*Aledo Guerao, Salvador; Pallares Martinez, Pedro Antonio* .....503

051

CONFECCIÓN DEL PRESUPUESTO DE LICITACIÓN ¿INFLUYE EL PLIEGO DE CONDICIONES ADMINISTRATIVAS PARTICULARES?

*Aledo Guerao, Salvador; Pallares Martinez, Pedro Antonio* .....514

052

REDIMENSIONADO COSTES DE CONSTRUCCIÓN: OBRA NUEVA Y REHABILITACIÓN RESIDENCIAL (APLICACIÓN PRÁCTICA DEL MODELO PCR.5N / TESIS DOCTORAL)

*Pina Ruiz, Pedro* .....526

053

PROYECTOS, GESTIÓN Y PARTICIPACIÓN DEL ARQUITECTO TÉCNICO

*González Grañeda, Félix J.; Mayorga Romero, Manuel;*

*Pahesa Mínguez, Natalia* .....537

054

LA GESTIÓN ECONÓMICA DEL DIRECTOR DE EJECUCIÓN DE LA OBRA DENTRO DEL MARCO DE LA NUEVA LEY DE CONTRATOS DEL SECTOR PÚBLICO

*Aledo Guerao, Salvador; Pallares Martínez, Pedro Antonio* .....546

055

PRIMERA PLATAFORMA DE CALIFICACIÓN DE ACTIVOS INMOBILIARIOS  
LA NUEVA FORMA DE ENTENDER EL SECTOR INMOBILIARIO A TRAVÉS DEL  
RIESGO SMART DATA REAL ESTATE RATING

*Antuña García, Ricardo* .....558

ÁREA VI. REHABILITACIÓN DE EDIFICIOS. EFICIENCIA ENERGÉTICA,  
ACCESIBILIDAD, CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN

056

LAS TERMAS ROMANAS DE MURA EN LLÍRIA (VALENCIA). UN DOBLE  
COMPLEJO TERMAL Y UN SANTUARIO ORACULAR ÚNICO EN LA HISPANIA  
CITERIOR

*Tormo Esteve, Santiago*.....570

057

MÁS ALLÁ DE LA REHABILITACIÓN EN UNA OBRA EMBLEMÁTICA:  
MONITORIZACIÓN DE LAS CUBIERTAS DE “EL HIPÓDROMO DE LA  
ZARZUELA”

*Martínez Sierra, Isabel; Castillo Talavera, Ángel*.....580

058

NUEVOS SISTEMAS ROBÓTICOS DE INSPECCIÓN E INTERVENCIÓN EN  
REHABILITACIÓN DE FACHADAS

*Riobó Iglesias, Jorge; Espelosiñ Ortega, Jesús; Montano Oliván, Lorenzo; Mené Roche,  
José; Díez Díez, David; Lalana Salaver, Jorge* .....590

059

EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD EN LA REHABILITACIÓN  
ENERGÉTICA DE VIVIENDA SOCIAL EN PAÍSES MEDITERRÁNEOS

*Gimeno Frontera, Beatriz; Aranda Usón, Juan; Zambrana Vasquez, David; Conserva,  
Andrea; López, Pilar; Albiac, Fernando* .....601

060

LA PERCEPCIÓN SOBRE LA CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO DE  
EDIFICIOS A TRAVÉS DE LOS MEDIOS DE COMUNICACIÓN

*Trujillo Talavera, Antonio*.....612

061

## GESTIÓN DE ACTUACIONES Y OBRAS DE MEJORA DE ACCESIBILIDAD EN EDIFICIOS DE VIVIENDAS EXISTENTES, BAJO EL RÉGIMEN DE PROPIEDAD HORIZONTAL

*Martínez Carrillo, Manuel Javier; García García, María Paz; Espínola Jiménez, Antonio; Entrena Núñez, Elisa; Del Pino Leruite, Juan Carlos; De La Higuera Barrales, Ángel J.* ..... 622

062

## ESCALA DE GRAVEDAD DE DAÑOS EN EDIFICIOS. DE LA ASIGNACIÓN DIRECTA A LA CONTRASTACIÓN ESTADÍSTICA

*Ruiz Gorrindo, Félix; Aguado De Cea, Antonio; Serrat Piè, Carles; Casas Rius, Joan Ramón*..... 635

063

## ESTUDIO DE ACCESIBILIDAD DE LOS PARQUES INFANTILES DEL ANTIGUO CAUCE DEL RÍO TURIA EN LA CIUDAD DE VALENCIA

*Martínez Portilla, Juan José*..... 645

064

## EL CARÁCTER SOCIAL DE LA REHABILITACIÓN EN LA EXPERIENCIA DE ZARAGOZA

*López, Elvira; Maorad, Ana* ..... 655

065

## ESTUDIO DEL ÓPTIMO ECONOMICO EN REHABILITACIÓN DE VIVIENDAS SOCIALES EN FUNCIÓN DEL BINOMIO AISLAMIENTO - AHORRO DE ENERGÍA

*De La Cruz Pérez, Sergio; De La Cruz Pérez, Lucio; Simón Niño, Javier Ricardo* ..... 665

066

## ANÁLISIS DE PATOLOGÍAS EXPANSIVAS MANIFESTADAS EN SOLERAS TRAS EL RECALCE DE LA CIMENTACIÓN EN LA IGLESIA DE SAN ANDRÉS (CALATAYUD)

*López Julián, Pedro Luis; Orte Ruiz, Daniel; Pérez Benedicto, José Angel; Alegre Arbués, Jesús Fernando* ..... 676

067

## INTERVENCIÓN EN PATRIMONIO NO PROTEGIDO. CONOCER PARA CONSERVAR

*Rodríguez Martín, José Antonio* ..... 685

068

INTERVENCIONES Y ACTUACIONES PARA CONSERVAR Y MEJORAR EL  
PARQUE EDIFICADO. HERRAMIENTAS Y EJEMPLOS DEL TÉCNICO DE  
CABECERA

*Marrot Tico, Jordi; Segura Labanda, Manuel*.....696

069

RESTAURACIÓN DE LA CARTUJA DE NUESTRA SEÑORA DE LAS FUENTES.  
CRITERIOS DE INTERVENCIÓN

*Boned Calvo, Jara; Puertas Miramón, Cristina; Artieda Perez, Mario;*

*Berdíel González, Marta*.....707

070

MAS DE BUROT. EJEMPLO DE BUENAS PRÁCTICAS EN ARQUITECTURA  
TRADICIONAL Y REFERENTE DEL PATRIMONIO ETNOLÓGICO DEL PN ELS  
PORTS

*Esteve Roig, Daniel; Benet Ramos, Oscar*.....717

071

CRITERIOS PARA LA REHABILITACIÓN DE EDIFICIOS DESTINADOS A  
ARCHIVOS MUNICIPALES. EL CASO DE LA PROVINCIA DE ALICANTE

*Collado López, María Luisa; Sáez Pérez, María Paz; Tolosa Robledo, Luisa* .....727

072

EL AJUSTE RAZONABLE: DE LA ACCESIBILIDAD DE CONCEPCIÓN A LA  
ACCESIBILIDAD DE CORRECCIÓN

*Martínez Carrillo, Manuel Javier; García García, María Paz; Espinola Jimenez,  
Antonio; Del Pino Leruete, Juan Carlos; Entrena Núñez, Elisa; Moreno Medinilla,  
Fabiola*.....737

073

RECONVERSIÓN DE UN RECINTO AMURALLADO ALMOHADE A UN ÁREA  
URBANA UNIVERSALMENTE ACCESIBLE: LA CIUDAD MONUMENTAL DE  
CÁCERES

*Fernández Nicolás, José Antonio*.....749

074

COMPORTAMIENTO HIGROTÉRMICO Y ACÚSTICO DE LOS EDIFICIOS  
EXISTENTES

*Monzón Chavarrias, Marta; López-Mesa, Belinda* .....759

075

## UTILIZACIÓN Y ACCESIBILIDAD, EVOLUCIÓN Y SITUACIÓN ACTUAL

*Mínguez Tolsada, Cesáreo* .....769

076

## RESTAURACIÓN DE LA FACHADA RENACENTISTA DEL COLEGIO DE SAN ILDEFONSO DE LA UNIVERSIDAD DE ALCALÁ

*Da Casa Martín, Fernando; Vega Ballesteros, Juan Manuel; Delgado García, Jorge Carlos* .....780

077

## ESTADO DE CONSERVACIÓN, COMPORTAMIENTO Y DURABILIDAD. CASO PRÁCTICO PRINCIPALES REVESTIMIENTOS EN FACHADAS MURCIA NORTE

*Rosa Roca, Nuria; González Ponce, Eloísa; Spairani Berrio, Silvia; Hernández Montalbán, Penélope* .....790

078

## UNA HISTORIA CONTADA AL REVÉS, LA BIOMASA

*Orna Carmona, Martín; Castellón García, María Del Mar; Ade Beltrán, Rafael; Calvo López, Mario; Salesa Bordanaba, Ángel; Esteban Sánchez, Ana Lucía* .....802

079

## LOS ACCESOS AL ANTIGUO CAUCE DEL RIO TURIA A SU PASO POR LA CIUDAD DE VALENCIA, EN LOS ALEDAÑOS A LOS PUENTES HISTÓRICOS

*Martínez Boquera, Juan José; Martínez Portilla, Juan José* .....813

080

## LOS REVOCOS DECORADOS Y ESGRAFIADOS. FACHADAS TRADICIONALES Y MURALES ACTUALES, FORMA EFICIENTE, ECONÓMICA Y TAMBIÉN ACTUAL DE CONSTRUIR

*Puga Oribe, Luis* .....823

081

## LA RESTAURACIÓN DEL CHAPITEL DE LA CARTUJA DE NUESTRA SEÑORA DE LAS FUENTES: DEL TRABAJO ACADÉMICO A LA EJECUCIÓN DE LA OBRA

*Puertas Miramón, Cristina; Martín Domínguez, Beatriz* .....833

082

## EL ARQUITECTO TÉCNICO Y SU PAPEL EN LA REHABILITACIÓN ENERGÉTICA BAJO EL ESTÁNDAR PASSIVE HOUSE (ENERPHIT)

*Soler Carbo, Luis Miguel* .....844

083

REHABILITACIÓN DE EDIFICIOS – LA *PANACEA* DE LA CONSTRUCCIÓN  
DIFÍCIL DE APLICAR

*Arjona Borrego, Josep M.*.....859

084

IEE DESFAVORABLE: ADECUACIÓN EFECTIVA ÓPTIMA PARA CADA  
EDIFICIO. IMPORTANCIA Y HERRAMIENTA PARA EL CRITERIO TÉCNICO DE  
PRESCRIPCIÓN

*Arias Arranz, David* .....869

085

¿CÓMO HACER SABER A UN USUARIO CUAN ACCESIBLE ES UN EDIFICIO?

*González López, Pablo José* .....878

086

FILOSOFÍA Y PATOLOGÍA: BASE TEÓRICA DE LA PATOLOGÍA DE LA  
EDIFICACIÓN

*Giner Juan, Francisco Javier* .....887

087

ESTUDIO TÉCNICO DE LAS RESTAURACIONES REALIZADAS POR EL  
ARQUITECTO MANUEL LORENTE JUNQUERA (1940 -1970). MATERIALES  
TÉCNICAS Y PATOLOGÍAS DERIVADAS

*Ruiz Bazán, Irene* .....896

088

EL ARQUITECTO TÉCNICO COMO PERITO DE SEGUROS

*Gancedo, Almudena* .....907

089

REHABILITACIÓN E IMPLANTACIÓN DE ACCESIBILIDAD EN UN EDIFICIO  
CATALOGADO E INCLUIDO EN ENTORNO BIC, PARA DESTINARLO A USO  
TURÍSTICO

*Sevilla Delgado, José Luis; Del Pino Leruite, Juan Carlos; Espínola Jiménez, Antonio;  
Moreno Medinilla, Fabiola; García García, María Paz;*

*Martínez Carrillo, Manuel Javier*.....916

090

CUBIERTAS VEGETALES EN EDIFICIOS E INFRAESTRUCTURAS. CRITERIOS  
PARA LA ELECCIÓN DE LAS ESPECIES EN ARAGÓN

*Acero Oliete, Alejandro; Lorén Zaragoza, Fco. Javier; Diago Borra,  
José Ramón; Pérez Benedicto, José Ángel* .....927

ÁREA VII. CONTROL DE CALIDAD

091

PROGRAMACIÓN Y SEGUIMIENTO DEL CONTROL DE CALIDAD DE LA OBRA  
CON METODOLOGÍA BIM

*Pérez Navarro, Julián; Pérez Egea, Adolfo* .....937

092

COORDINACIÓN Y CONTROL DE CALIDAD DE UN PROYECTO  
DE DISEÑO BIM

*Santamarta Martínez, Jaime* .....948

093

SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD PARA EL DIRECTOR DE EJECUCIÓN.  
CASOS REALES DE MEJORA

*Sáez Pérez, M<sup>a</sup> Paz; Luzón Rodríguez, Tomás* .....958

094

CONTROL DE CALIDAD: ASPECTOS PRÁCTICOS

*Arjona Borrego, Josep M.* .....968

095

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE INCIDENCIAS TRAS EL CAMBIO DE  
CALDERA INDIVIDUAL A CALDERA CENTRALIZADA

*Ramírez Pascual, Manuel* .....979

096

ANÁLISIS DE LA REVISIÓN DE LOS PROYECTOS DE EDIFICACIÓN, EN LA  
PARTE ESTRUCTURAL

*Estévez Ruiz, Daniel; Cenalmor Sáez, María Del Mar;  
González Gasca, María Del Carmen* .....989









# CONTART

ZARAGOZA 2018

30 MAYO | PALACIO DE  
01 JUNIO | CONGRESOS  
DE ZARAGOZA



CONSEJO GENERAL  
DE LA ARQUITECTURA TÉCNICA  
DE ESPAÑA