

# Diseño de forjados cerámicos según el CTE y su empleo en la arquitectura moderna

Elena Santiago Monedero, Ana Ribas Sangüesa, Begoña Prisco Martínez - Hispalyt

## Resumen

Los productos cerámicos siempre han estado ligados a la cultura arquitectónica sencilla, austera y sincera de nuestro país. En los últimos años existe una nueva corriente arquitectónica que ha rescatado los valores originales de los materiales cerámicos realizando obras de excelente calidad.

El forjado de bovedilla cerámica es un sistema constructivo con una larga trayectoria en España debido a la sencillez de ejecución y cálculo, así como a la disponibilidad del material cerámico como elemento de entrevigado, tan arraigado en la tradición constructiva de nuestro país.

Los forjados cerámicos son escogidos por sus excelentes prestaciones técnicas y por su alto valor estético y su aptitud como elemento visto. Las bovedillas cerámicas se emplean como piezas de entrevigado en la construcción de forjados unidireccionales y reticulares. Su misión es servir de encofrado perdido, actuando como elemento aligerante y, en algunos casos, colaborar también como elemento resistente.

La utilización de bovedillas cerámicas en los forjados proporciona grandes ventajas por el ahorro que supone en la estructura debido a su menor peso propio, ahorro en mano de obra debido a su facilidad de montaje, mayor seguridad de uso gracias a su resistencia mecánica, ahorro en costes de mantenimiento como consecuencia de su elevada durabilidad, posibilidad de utilización como elemento resistente, gran adherencia con el yeso, mortero y hormigón, etc. Además, los forjados de bovedilla cerámica tienen unas buenas prestaciones de aislamiento térmico y acústico, así como un excelente comportamiento frente al fuego.

Los forjados de bovedilla cerámica se adaptan perfectamente al cumplimiento de las exigencias reglamentarias recogidas en el Código Técnico de la Edificación, existiendo diferentes herramientas de ayuda al proyectista para el diseño de los forjados cerámicos.

Su durabilidad, reacción al fuego y gran valor estético, hacen que la bovedilla cerámica pueda utilizarse como elemento visto. El forjado cerámico visto se suele emplear en viviendas unifamiliares y locales inspirados en la arquitectura tradicional, pero también es un elemento muy valorado en edificios de diseño vanguardista. Por todo ello, la bovedilla cerámica constituye la solución idónea para su uso como pieza de entrevigado en la construcción de forjados.

La información incluida en este artículo se ha extraído de la página web [www.bovedillaceramica.es](http://www.bovedillaceramica.es) y de la Presentación "Nueva arquitectura y diseño de forjados cerámicos", que puede descargarse en el apartado "Documentación técnica > Publicaciones" de la página web [www.hispalyt.es](http://www.hispalyt.es).

## 1.- Bovedilla cerámica

### Definición

Las bovedillas cerámicas son piezas con forma normalmente trapezoidal y gran volumen de huecos en su sección, obtenidas mediante moldeado, secado y cocción de una pasta arcillosa. Se emplean como piezas de entrevigado en la construcción de forjados unidireccionales y reticulares y su misión es servir de encofrado perdido al hormigón del forjado, actuando como pieza aligerante de los mismos y, en algunos casos, colaborando también como elemento resistente.



Figura 1 Bovedilla cerámica

### Tipos de forjados cerámicos

Los forjados de bovedilla cerámica pueden ser:

- Unidireccionales.
- Bidireccionales (reticulares).

A su vez los forjados unidireccionales, en función del tipo de nervio, pueden ser:

- Forjados con vigueta prefabricada (pretensada o armada).
- Forjados con nervios hormigonados "in situ".

### Tipos y formatos de bovedilla cerámica

Según su función, la norma UNE-EN 15037-3 distingue los tipos siguientes:

- Bovedilla aligerante (LNR) y no resistente (NR): Su única función mecánica es servir de encofrado perdido durante la construcción del forjado. Los sistemas de forjado contruidos con bovedillas aligerantes siempre deben incorporar la capa estructural de hormigón vertido "in situ" en su cara superior. Actualmente en España, sólo se fabrican este tipo de bovedillas.
- Bovedilla semi-resistente (SR) y resistente (RR): Estas bovedillas participan en la transmisión de las cargas a las viguetas. En el caso de las resistentes (RR), sus alas superiores pueden llegar a hacer la función de losa de compresión, no siendo necesaria la capa superior de hormigón estructural.

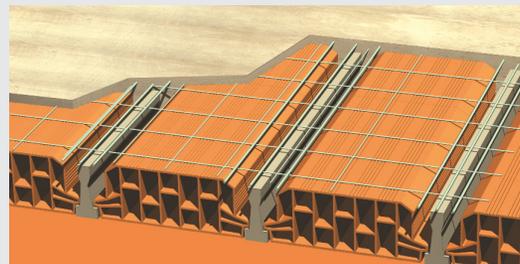


Figura 2 Forjado unidireccional con vigueta pretensada

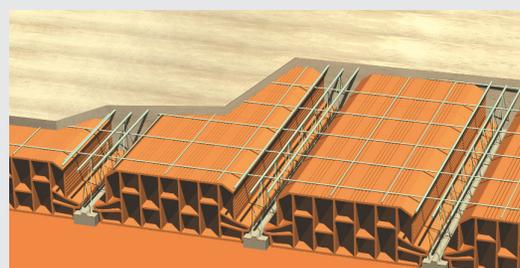


Figura 3 Forjado unidireccional con vigueta armada

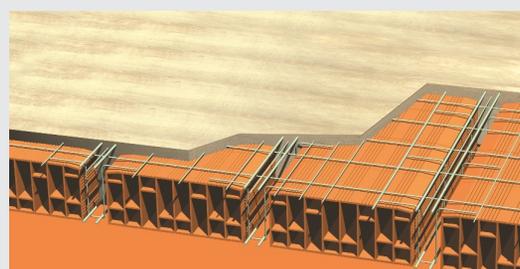


Figura 4 Forjado unidireccional con nervios hormigonados "in situ"

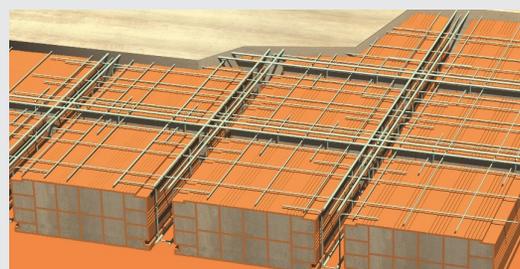


Figura 5 Forjado reticular con nervios hormigonados "in situ"

Dependiendo de la tipología de forjado, la bovedilla cerámica adopta diferentes formas:

- **Bovedilla con aletas:** Para forjados unidireccionales con viguetas prefabricadas (pretensadas o armadas), donde la bovedilla apoya en la vigueta. Las aletas de apoyo también reciben el nombre de calces.
- **Casetón o bovedilla sin aletas:** Para forjados unidireccionales donde las viguetas se hormigonan "in situ". La bovedilla sin aletas recibe el nombre de casetón.
- **Casetón o bovedilla sin aletas y cegada:** Para forjados reticulares en los que el casetón debe ir cegado para evitar que el hormigón de los nervios transversales se introduzcan en su interior.

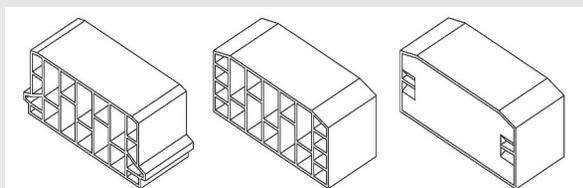


Figura 6 Bovedilla con aletas    Figura 7 Casetón    Figura 8 Casetón cegado

Dentro de las bovedillas cerámicas con aletas de apoyo o calces, hay dos tipos dependiendo de si la vigueta del forjado es de hormigón o metálica. En el caso de vigueta de hormigón, la distancia entre la base de la bovedilla y la aleta es mayor y cuando la vigueta es metálica, esta distancia es menor para mejorar el encaje entre vigueta y bovedilla.



Figura 9 Bovedilla para vigueta de hormigón



Figura 10 Bovedilla para vigueta metálica

Independientemente del resto de elementos del forjado, la bovedilla cerámica puede adoptar gran variedad de formas y acabados. Además de los aquí expuestos, los fabricantes de bovedillas cerámicas disponen de un amplio abanico de posibilidades, que se recomienda consultar con los mismos.

Según su forma y acabado, existen múltiples acabados en función del tipo de hombro y de la forma o tipo de acabado de la base de la bovedilla cerámica, tal y como puede verse a continuación:

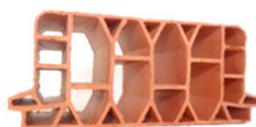


Figura 11 Hombro recto

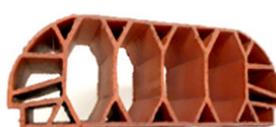


Figura 12 Hombro curvo



Figura 13 Hombro plano



Figura 14 Plana



Figura 15 Curva



Figura 16 Invertida



Figura 17 Lobulada



Figura 18 Lisa



Figura 19 Raspada



Figura 20 Rayada



Figura 21 Decorada

En lo que a dimensiones se refiere, las bovedillas más convencionales tienen una longitud (L) de 60 ó 70 cm y una anchura (A) y altura (H) de 25 cm. No obstante, los fabricantes ofrecen muchas posibilidades en este aspecto, existiendo bovedillas a partir de 50 cm de longitud y 22 cm de anchura, variando las alturas entre los 10 y 30 cm.

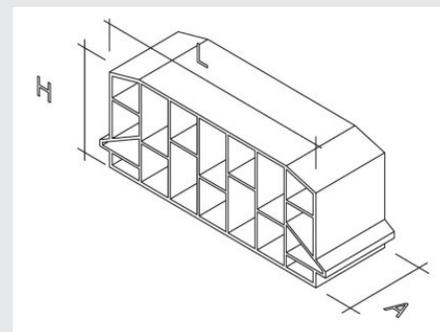


Figura 22 Dimensiones de la bovedilla cerámica

### Características de las bovedillas cerámicas

La norma UNE-EN 15037-3 *Productos prefabricados de hormigón. Sistemas de forjado de vigueta y bovedilla. Parte 3: Bovedillas de arcilla cocida* define las características esenciales y los métodos de ensayo para poder emitir la Declaración de prestaciones (DoP) y el marcado CE de las bovedillas cerámicas. En la siguiente tabla se incluyen las **características aplicables a las bovedillas aligerantes y no resistentes (LNR y NR)**, ya que son las únicas que actualmente se fabrican en España.

Entre las características declaradas en la UNE-EN 15037-3, cabe destacar la expansión por humedad y la resistencia mecánica al punzonamiento, aunque también se definen otras características, como tolerancias dimensionales, resistencia al fuego, durabilidad, etc. Así, las bovedillas cerámicas que justifiquen el cumplimiento de la UNE-EN 15037-3 garantizan una elevada calidad.

La expansión por humedad media (entre seis probetas ensayadas) deberá ser como máximo 0,6 mm/m, siendo dicho límite superior muy conservador, lo que garantiza que no se produzcan roturas o desfondes en las bovedillas por la rotura de los tabiquillos interiores de la misma, debido a deformaciones diferenciales producidas por expansión por humedad.

Igualmente, el valor mínimo exigido en la norma para la resistencia mecánica al punzonamiento está del lado de la seguridad, para garantizar que los operarios puedan trabajar con seguridad pisando encima de las bovedillas cerámicas antes del hormigonado del forjado.

En la siguiente tabla se incluyen las **características aplicables a las bovedillas aligerantes y no resistentes (LNR y NR)**.

CARACTERÍSTICA DECLARADA		CRITERIO DE APLICACIÓN	MÉTODO DE ENSAYO	
Dimensiones de la bovedilla	Rango de desviación de la anchura	$\leq 2,5\%$	Apdo. 5.1.1 UNE-EN 15037-3	
	Anchura	T2 o T3 *		
	Longitud			
	Altura			
Anchura del ala de apoyo		$\pm 3$ mm	Apdo. 5.1.2 UNE-EN 15037-3	
Profundidad del ala de apoyo		$\pm 5$ mm		
Características superficiales	Desconchados	Dimensión media $< 15$ mm	UNE 67039	
	$n^\circ$ de desconchados / $dm^2 \leq 3$ con dimensión media entre 7 y 15 mm			
Resistencia mecánica (Clase R1*)	Punzonamiento	LNR	$\geq 0,7$ KN	Apdo. 5.2.1 UNE-EN 15037-3
		NR	$\geq 1,5$ KN	
Resistencia al fuego	Densidad seca aparente	Valor medio dentro de la clase	UNE-EN 772-13	
	Configuración de la pieza	De acuerdo a los valores dimensionales obtenidos	UNE-EN 15037-3	
Reacción al fuego	Materia orgánica $\leq 1\%$	Clase A1*	No necesita ensayarse	
	Materia orgánica $> 1\%$	Conformidad del resultado del ensayo con la categoría declarada por el fabricante	UNE-EN 13501-1	
Propiedades acústicas	Densidad seca aparente	Valor medio dentro de la clase	UNE-EN 772-13	
	Configuración de la pieza	De acuerdo a los valores dimensionales obtenidos	UNE-EN 15037-3	
Propiedades térmicas $(\lambda_{\text{equivalente}})$	Catálogo	Conformidad con el valor tabulado en el CEC	-	
	Densidad seca aparente y configuración	Valor medio dentro de la clase // valores dimensionales obtenidos	UNE-EN 772-13 // UNE-EN 15037-3	
Durabilidad		FO sin necesidad de ensayo	5.2.6 UNE-EN 771-1	
Expansión por humedad		$A_m^* \leq 0,6$ mm/m	UNE-EN 772-19	

**\* NOTAS:**

**Clase T2:**  $\pm 5$  mm para anchura, altura y longitud.

**Clase T3:** Longitud (-5; 0) % pero no más de (-12; 0) mm.

Anchura (-2,5; 0) % pero no más de (-12; 0) mm.

Altura (0; +5) % pero no más de (0; +12) mm.

**Características superficiales:** La norma UNE-EN 15037-3 no obliga a declarar las "Características superficiales", pero establece que las bovedillas no deben tener fisuras ni desconchados que puedan ser perjudiciales para su correcta función mecánica. Por ello, los fabricantes españoles declaran el requisito "Características superficiales" de la norma española UNE 67039.

**Resistencia mecánica:** Las bovedillas en España son Clase R1, que implica que cumplen con la resistencia a punzonamiento para cada tipo de bovedilla (0,7 y 1,5 KN para LNR y NR respectivamente).

**Durabilidad:** El uso previsto de la bovedilla, tanto si se emplea revestida como vista, proporciona una protección completa contra la penetración de agua, por lo que no se requiere referencia a la resistencia de hielo/deshielo, declarando Categoría FO (sin necesidad de ensayo).

**Expansión por humedad:** Entre las características declaradas por la actual norma UNE, cabe destacar la expansión por humedad media de seis probetas ensayadas,  $A_m$ , que será como máximo 0,6 mm/m, siendo dicho límite superior de la expansión muy conservador, lo que garantiza que debido al aumento de tamaño debida a la expansión por humedad de la bovedilla no se produzcan deformaciones diferenciales entre la cara superior en contacto con el hormigón e inferior de la bovedilla, lo que provoca la rotura por flexión de los tabiques desprendiéndose la parte inferior de la bovedilla.

Actualmente está en desarrollo la norma armonizada de los casetones cerámicos para forjados in situ.

### Propiedades de las bovedillas cerámicas

La bovedilla cerámica constituye la solución idónea para su uso como pieza de entrevigado en la construcción de forjados, ya que reúne todas las prestaciones necesarias para este tipo de piezas:

DENSIDAD APARENTE $\rho^*$	500 Kg/m <sup>3</sup>
PESO POR UNIDAD* (BOVEDILLA CONSIDERADA: 60 x 22 x 20 cm)	13,20 Kg
CONDUCTIVIDAD TÉRMICA $\lambda^*$	0,67 W/m°C
REACCIÓN AL FUEGO**	A1

\* valor extraído del Catálogo de Elementos Constructivos del Ministerio de la Vivienda.

\*\* valor extraído del RD 842/2013, anexo I: Productos de clases A1 y A1FL de reacción al fuego sin necesidad de ensayo.

Su bajo peso se traduce en un ahorro económico en la estructura, ya que se aligeran los forjados, pudiendo reducir las secciones y cuantías de acero de los soportes y jácenas. La ligereza de la bovedilla, unida a su resistencia mecánica, hace que su puesta en obra sea rápida, fácil y segura, lo que también mejora los rendimientos en el montaje de los forjados.

La elevada resistencia mecánica de la bovedilla cerámica permite, por un lado, que los operarios puedan trabajar con seguridad pisando las bovedillas cerámicas antes del hormigonado del forjado, y por otro lado, colgar objetos e instalaciones de las bovedillas. Además, gracias a su durabilidad se ahorra en costes de mantenimiento.

Tienen un comportamiento óptimo frente al fuego, al presentar la Clase A1 de reacción al fuego, la máxima posible, ya que son incombustibles y aportan a los forjados una elevada estabilidad e integridad en caso de incendio. Los forjados unidireccionales y reticulares de bovedilla cerámica y revestidos por su cara inferior, tienen una resistencia al fuego de REI 90 como mínimo, pudiendo alcanzar resistencias de hasta REI 240.

Las bovedillas cerámicas, al igual que el resto de materiales cerámicos, contribuyen al confort higrotérmico, mejorando el comportamiento térmico de los forjados y colaborando en la regulación de la humedad ambiente.

Los forjados cerámicos aportan buena adherencia con los enlucidos de yeso y morteros de cemento, mejorando la calidad y durabilidad de los revestimientos de los techos.

Además, su durabilidad, reacción al fuego y gran valor estético, hacen que la bovedilla cerámica pueda utilizarse como elemento visto. Así, encontramos edificios de diseño en la arquitectura moderna en los que se emplean forjados vistos con bovedilla cerámica.

Como el resto de materiales cerámicos, la bovedilla cerámica es un producto sostenible. La sostenibilidad de los materiales es un valor cada vez más importante en todos los sectores y en especial en el de la construcción. Los fabricantes de bovedilla cerámica asociados a Hispalyt disponen de la Declaración Ambiental de Producto (DAP) para acreditar y comunicar la excelencia ambiental de este material.



Figura 23 Seguridad en la puesta en obra por la elevada resistencia de la bovedilla cerámica



Figura 24 Posibilidad de colgar instalaciones en la bovedilla cerámico por su resistencia mecánica

Comparando las bovedillas cerámicas con las fabricadas con materiales más ligeros (hormigón ligero o poliestireno expandido-EPS), comprobamos que éstas son mucho menos resistentes y duraderas y precisan de accesorios especiales para la colocación de elementos colgados. Las bovedillas de EPS deben revestirse, debido a que el poliestireno expandido es un material combustible que contribuye al fuego, con el inconveniente de que tienen problemas de adherencia con el yeso. Además, estas bovedillas ligeras, debido a su poca masa, no tienen buen comportamiento acústico, sobre todo a ruido aéreo.

Respecto a las de hormigón, las bovedillas cerámicas son más ligeras, tienen mejor comportamiento higrotérmico y poseen unas propiedades estéticas de las que carecen las bovedillas de hormigón. Además, las bovedillas de hormigón implican una estructura más pesada y costosa, un mayor coste de mano de obra por su menor rendimiento en obra y un mayor gasto en aislamiento térmico, que las bovedillas cerámicas. Otra ventaja de las bovedillas cerámicas frente a las de hormigón es la homogeneidad y calidad de su materia prima, lo que le confiere mayor resistencia, durabilidad y ausencia de roturas.



Figura 25 Fotografías de obras con forjados cerámicos vistos de arquitectura tradicional y moderna

## 2.- Exigencias reglamentarias de los forjados cerámicos. CTE

Para las funciones que desempeñan los forjados cerámicos dentro de un edificio, los documentos del Código Técnico de la Edificación (CTE) que han de cumplir son: DB-SE Seguridad estructural, DB-SI Seguridad en caso de incendios, DB-HR Protección frente al ruido y DB-HE Ahorro de energía.

### DB-SE Seguridad estructural

Las exigencias básicas del DB-SE que debe cumplir un forjado cerámico son: resistencia y estabilidad frente a acciones e influencias previsibles durante su construcción y uso previsto, y aptitud de servicio conforme a su uso previsto, no produciéndose deformaciones, comportamiento dinámico o degradaciones inadmisibles.

Como parte del cumplimiento de estas exigencias, la EHE-08 establece las siguientes condiciones geométricas para la sección transversal de los forjados con piezas de entrevigado cerámico:

- Se dispondrá de una losa superior hormigonada en obra, cuyo espesor mínimo  $h_0$ , será de 40 mm sobre viguetas y piezas de entrevigado cerámicas.
- El perfil de la pieza de entrevigado será tal que, a cualquier distancia "c" de su eje vertical de simetría, el espesor de hormigón de la losa superior hormigonada en obra no será menor que  $c/8$  en el caso de piezas de entrevigado colaborante y  $c/6$  en el caso de piezas de entrevigado aligerantes.
- En el caso de viguetas sin armaduras transversales de conexión con el hormigón vertido en obra, el perfil de la pieza de entrevigado dejará a ambos lados de la cara superior de la vigueta un paso de 30 mm como mínimo.

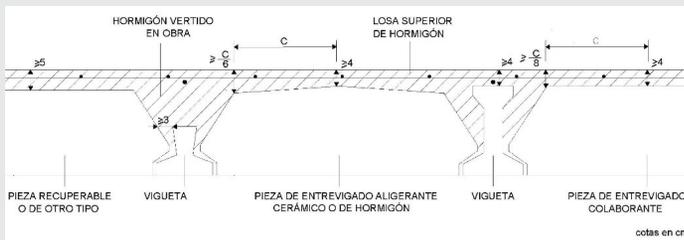


Figura 26 EHE-08: Condiciones geométricas del forjado cerámico

### DB-SI Seguridad en caso de incendio

Los requisitos de cara a la seguridad en caso de incendio para un forjado cerámico son tres: mantener su capacidad portante (R) durante un determinado tiempo, mantener su estabilidad e integridad (EI) cuando el forjado actúe como elemento de sectorización y reaccionar ante el fuego adecuadamente para no contribuir al desarrollo del mismo.

El Anejo C del DB-SI caracteriza forjados de vigueta y bovedilla cerámica para que cumplan un REI de hasta 240 minutos. La resistencia estructural de forjado (R) depende sólo de los elementos resistentes (posición de las armaduras y geometría de las viguetas), mientras que la estabilidad e integridad como elemento de sectorización (EI) depende del espesor (h) de las capas resistentes al fuego que conforman el forjado:

Resistencia al fuego	$h_{mm}$ (mm)
EI 30	60
EI 60	80
EI 90	100
EI 120	120
EI 180	150
EI 240	175

Figura 27 Espesores considerados para el EI del forjado

En los forjados, de forma general, se considera h la suma del espesor de los elementos del forjado que mantengan su función aislante durante el periodo de resistencia al fuego: espesor del solado, de la losa superior de hormigón, más el de las piezas de entrevigado y el espesor del revestimiento inferior del forjado.

En el caso de que las piezas de entrevigado sean bovedillas cerámicas (y sólo en este caso) se considera como espesor adicional de hormigón equivalente, dos veces el espesor real de la bovedilla:

$$h = e_{\text{solado}} + e_{\text{losa}} + 2 \times e_{\text{real bovedilla}} + e_{\text{revestimiento}}$$

$$e_{\text{real bovedilla}} = e_{1 \text{ bov.}} + e_{2 \text{ bov.}} + \dots + e_{n \text{ bov.}}$$

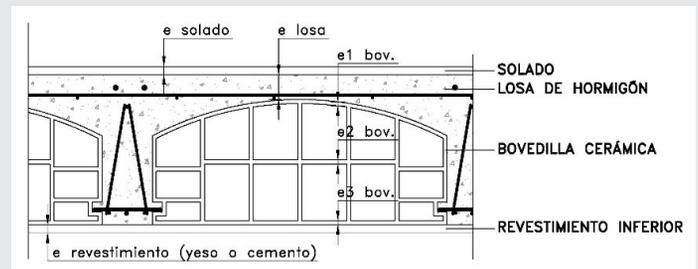


Figura 28 Espesores considerados para el EI del forjado

En el caso de que el revestimiento inferior de las piezas de entrevigado sea un guarnecido de yeso, se considera como espesor adicional de hormigón equivalente, 1,8 veces su espesor real. Esta consideración es válida para resistencias al fuego de hasta 120 minutos.

Por otro lado, debe comprobarse que el acabado del pavimento y/o techo tiene la clase de reacción al fuego exigida en función del uso de la zona en que se encuentre. La norma UNE-EN 15037-3 establece la Clase A1, para las bovedillas cerámicas que no contengan materia orgánica. Además, el Real Decreto 842/2013 incluye las piezas de arcilla cocida en su lista de productos clasificados A1 sin necesidad de ensayo.

### DB-HR Protección frente al ruido

El objetivo del DB-HR es reducir la transmisión del ruido entre recintos y procedente del exterior, así como el producido por las vibraciones de las instalaciones propias del edificio. También limita el ruido reverberante en el interior de los recintos.

La transmisión del ruido aéreo y de impactos se produce de forma directa, a través del elemento separador entre dos recintos, pero también de manera indirecta, a través de los elementos de flanco que atestan contra ese elemento separador. Los forjados actúan como elemento separador entre dos recintos colindantes verticalmente y como elementos de flanco entre recintos colindantes horizontalmente.

Al realizar el diseño acústico de un edificio hay que considerar los elementos constructivos en conjunto (paredes separadoras, forjados, tabiques y fachadas) y las uniones entre ellos.

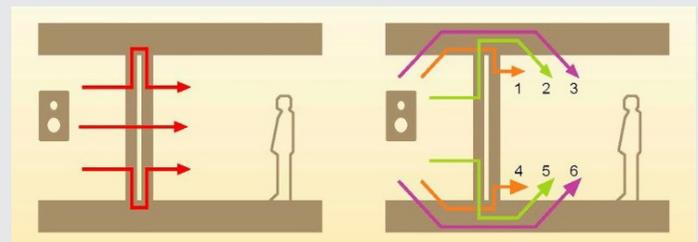


Figura 29 Transmisión del ruido entre recintos colindantes horizontalmente

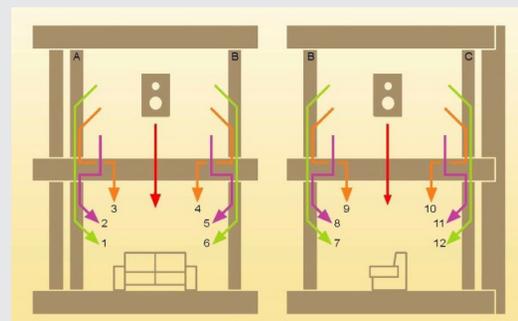


Figura 30 Transmisión del ruido entre recintos colindantes verticalmente

Los forjados cerámicos ofrecen buenas propiedades acústicas debido a su masa relativamente elevada. Esto les proporciona unos parámetros de aislamiento acústico a ruido aéreo (RA) desde los 52 dBA hasta los 57 dBA y niveles de presión a ruido de impactos (Ln,w) desde los 77 dB hasta los 72 dB, según datos del Catálogo de Elementos Constructivos del Ministerio de Fomento.

Para cumplir el DB HR y limitar la transmisión de ruido aéreo y de impactos entre recintos, todos los forjados deben disponer de un suelo flotante y, en algunos casos, de un techo suspendido. Los forjados cerámicos, respecto a otros más ligeros, permiten optimizar las láminas anti-impacto y prescindir del techo suspendido en un mayor número de casos.

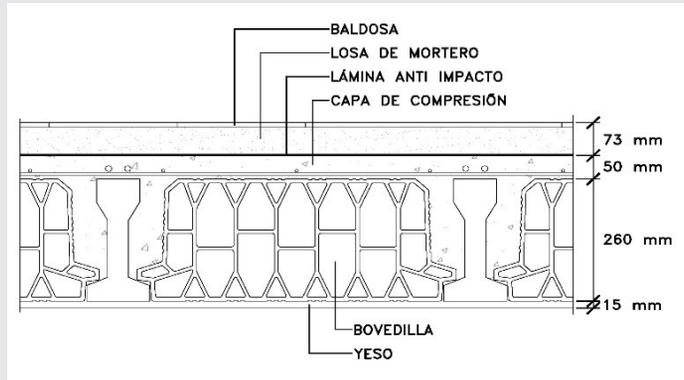


Figura 31 Forjado cerámico con suelo flotante

**DB-HE Ahorro de energía**

El objetivo del DB-HE es el uso racional de la energía en los edificios. Uno de los múltiples factores a tener en cuenta para el cumplimiento de este objetivo es la limitación de la transmitancia térmica de los elementos que conforman la envolvente del edificio.

El 40 % de las pérdidas de calor de un edificio se producen a través de los forjados que forman parte de su envolvente: cubiertas, forjados en contacto con el exterior, forjados sanitarios y forjados en contacto con el terreno. Las bovedillas cerámicas, gracias a su baja conductividad térmica, aportan buenas propiedades térmicas a los forjados, lo que se traduce en un menor espesor de los aislamientos térmicos necesarios. Por otro lado, las propiedades higrotérmicas de las bovedillas cerámicas contribuyen al confort en el interior de los edificios.

**3.- Diseño de forjados cerámicos**

El CTE define los métodos de cálculo y diseño para el cumplimiento de las exigencias de los diferentes Documentos Básicos que, junto con las aplicaciones informáticas desarrolladas por el Ministerio, facilita el correcto diseño de los edificios.

La publicación *Catálogo de Soluciones Cerámicas* para el cumplimiento del CTE y el software *Herramienta Silensis* para el diseño acústico de los edificios, desarrollados por Hispalyt con la colaboración del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc) y de Labein-Tecnalia, son herramientas muy útiles para el desarrollo del proyecto con soluciones constructivas cerámicas.

A continuación se detallan los procedimientos recogidos en ambas publicaciones para la verificación de las distintas exigencias del CTE.

**Diseño estructural**

El DB-SE y sus instrucciones complementarias EHE y EFHE incluyen métodos de cálculo para el diseño estructural de los forjados unidireccionales y bidireccionales de hormigón y piezas aligerantes de entrevigado. Como alternativa, se pueden emplear las diferentes herramientas informáticas de cálculo estructural disponibles en el mercado, que tienen caracterizados los forjados con bovedilla cerámica en sus bases de datos.

**Diseño frente al fuego**

El *Catálogo de Soluciones Cerámicas para el cumplimiento del CTE* dispone de tablas en las que se proporciona el valor de EI de cada tipología de forjado (partición interior horizontal) o cubierta.

**PH01: Particiones interiores horizontales**

Código	Canto (cm)	SI <sup>(1)</sup> (EI)	HE							
			U <sub>lim,mod</sub>							
			0,50	0,70	0,90	1,10	1,30	1,50	1,70	1,90
Resistencia térmica mínima del aislante R <sub>at</sub> (m²K/W)										
PH01.U.EC.a	20+5	EI 90 R	1,49	0,91	0,60	0,40	0,26	0,15	0,07	0,01
PH01.U.EC.b	25+5	EI 90 R	1,45	0,87	0,56	0,36	0,22	0,11	0,03	-
PH01.U.EC.c	30+5	EI 90 R	1,42	0,84	0,53	0,33	0,19	0,08	-	-
PH01.R.EC.a	20+5	EI 120	1,62	1,04	0,73	0,53	0,30	0,28	0,20	0,14
PH01.R.EC.b	25+5	EI 120	1,59	1,01	0,70	0,50	0,36	0,25	0,17	0,11
PH01.R.EC.c	30+5	EI 120	1,57	0,99	0,68	0,48	0,34	0,23	0,15	0,09

Figura 32 Tabla del Catálogo de Soluciones Cerámicas para el diseño de una partición interior horizontal

Además, debe comprobarse que la resistencia al fuego R del forjado elegido es al menos igual a la resistencia al fuego exigida, mediante la aplicación del anejo C del DB SI. La resistencia al fuego de un forjado está condicionada por:

- a<sub>m</sub>: Distancia mínima equivalente al eje de las armaduras (recubrimiento).
- b<sub>0,min</sub>: Anchura mínima del alma.
- b<sub>min</sub>: Anchura de nervio mínimo.

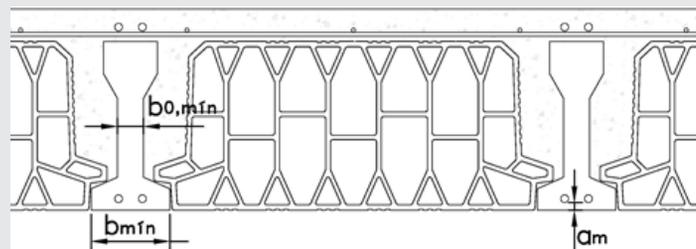


Figura 33 Parámetros que influyen en la resistencia al fuego de un forjado de bovedilla cerámica

**Diseño acústico**

El DB-HR recoge dos métodos de diseño acústico: opción general y opción simplificada. El Ministerio de Fomento ha desarrollado también la Herramienta Oficial de Cálculo del DB-HR del CTE, software informático equivalente a la opción general.

La *Herramienta SILENSIS* proporciona soluciones de aislamiento acústico formadas por combinaciones de elementos constructivos que cumplen las exigencias establecidas en el DB-HR. El diseño acústico obtenido mediante la Herramienta SILENSIS es equivalente al que resulta aplicando la opción general del DB-HR. El proceso de utilización de la *Herramienta Silensis* se divide en tres partes:

- En primer lugar se introducen los datos de proyecto, definiendo las características generales del edificio y las condiciones de ruido exterior.
- En segundo lugar se lleva a cabo la elección, de forma secuencial, de los diferentes elementos constructivos que conforman el edificio entre las soluciones incluidas en la base de datos del programa: cerramientos, particiones interiores verticales, particiones interiores horizontales y recintos de instalaciones o actividad.
- Por último, el programa crea de forma automática dos informes: uno con el formato establecido por el DB HR y otro, el *Informe Silensis*, con un formato propio. Estos informes se pueden incorporar a la memoria del proyecto como justificación del cumplimiento del DB HR.

En la página siguiente, se muestran diversas pantallas de la aplicación de la *Herramienta SILENSIS*.

**Herramienta silensis**  
Diseño acústico de edificios

---

**Flujo de la herramienta**

Datos del proyecto	Cerramientos	Particiones interiores verticales	Particiones interiores horizontales	Recintos de instalaciones o de actividad	Informes
Paso 0 Ruido exterior	Paso 2 Fachadas	Paso 7 Separadora entre viviendas en plantas intermedias	Paso 12 Forjados base sin recubrimiento	Paso 14 Recintos de instalaciones o de actividad	Paso 15 Informe del DB HR e informe Silensis
Paso 1 Tipo de edificio	Paso 3 Cubiertas	Paso 8 Separadora entre viviendas y zonas comunes en plantas intermedias	Paso 13 Recubrimientos de suelo y techo		
	Paso 4 Medianerías	Paso 9 Separadora entre viviendas bajo cubierta			
	Paso 5 Muros en contacto con el terreno	Paso 10 Separadora entre viviendas y zonas comunes bajo cubierta			
	Paso 6 Suelos en contacto con el aire exterior	Paso 11 Tabiquería			

Anterior Siguiente

Figura 34 Proceso de utilización de la Herramienta Silensis

**Herramienta silensis**  
Diseño acústico de edificios

---

**Particiones interiores horizontales: Diseño de forjados base sin recubrimientos**

Pulse sobre esta sección tipo de forjado para pasar a elegir subtipo de partición interior horizontal

Pulse aquí para elegir subtipo de forjado base sin recubrimiento

Aceptar

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15

T G Anterior Siguiente

Figura 35 Herramienta Silensis: diseño de forjados en particiones interiores

**Herramienta silensis**  
Diseño acústico de edificios

---

**Particiones interiores horizontales: Diseño de recubrimientos de suelo y techo**

Recubrimientos de SUELOS (suelo flotante) y TECHOS (falsos techos) ⓘ

Recubrimientos de particiones interiores horizontales para viviendas y zonas comunes bajo cubierta:

<span style="background-color: #ff00ff; width: 15px; height: 15px; display: inline-block;"></span>	Recubrimiento de techo: ARA	<input type="text" value="0"/>	
<span style="background-color: #0000ff; width: 15px; height: 15px; display: inline-block;"></span>	Recubrimiento de suelo: ARA	<input type="text" value="14"/>	ALw <input type="text" value="31"/>

Recubrimientos de particiones interiores horizontales para viviendas y zonas comunes en planta inmediatamente inferior a la planta bajo cubierta:

<span style="background-color: #00ff00; width: 15px; height: 15px; display: inline-block;"></span>	Recubrimiento de techo: ARA	<input type="text" value="0"/>	ALw <input type="text" value="0"/>
<span style="background-color: #ff0000; width: 15px; height: 15px; display: inline-block;"></span>	Recubrimiento de suelo: ARA	<input type="text" value="14"/>	ALw <input type="text" value="31"/>

Recubrimientos de particiones interiores horizontales para viviendas y zonas comunes en plantas intermedias:

<span style="background-color: #ffff00; width: 15px; height: 15px; display: inline-block;"></span>	Recubrimiento de techo: ARA	<input type="text" value="0"/>	ALw <input type="text" value="0"/>
<span style="background-color: #ff0000; width: 15px; height: 15px; display: inline-block;"></span>	Recubrimiento de suelo: ARA	<input type="text" value="14"/>	ALw <input type="text" value="31"/>

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15

T G Anterior Siguiente

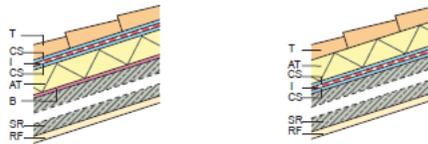
Figura 36 Herramienta Silensis: diseño de recubrimientos de suelo y techo en particiones interiores

## Diseño térmico

Para diseñar las soluciones de aislamiento térmico de los forjados cerámicos, se requiere el cálculo de la transmitancia (U) de los mismos. Para el cálculo de la U de los forjados cerámicos se pueden aplicar los métodos simplificados recogidos en el documento de apoyo DA DB-HE/1 o recurrir a las tablas del *Catálogo de Soluciones Cerámicas*.

El Catálogo de Soluciones Cerámicas recoge una serie de tablas para las distintas soluciones cerámicas de cada elemento constructivo: Partición interior horizontal, cubierta, suelos en contacto con el exterior, etc. En función de la solución de forjado cerámico y de la exigencia de transmitancia térmica que se quiera cumplir, se obtiene de cada tabla la resistencia térmica que debe aportar el aislamiento térmico.

### QB09: Inclinada, con soporte resistente inclinado, no ventilada, convencional e invertida, con tejado



Código	Canto (cm)	SI <sup>(1)</sup>	HE										
			U <sub>lim,mod</sub>										
			0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	E 0,35	D 0,38	0,4	C 0,41	B 0,45	A 0,5
<b>Resistencia térmica mínima del aislante R<sub>AT</sub> (m<sup>2</sup>K/W)</b>													
QB09.U.EC.a	20+5	El 30 <sup>(2)</sup>	9,60	6,27	4,60	3,60	2,94	2,46	2,23	2,10	2,04	1,82	1,60
QB09.U.EC.b	25+5		9,56	6,23	4,56	3,56	2,90	2,42	2,19	2,06	2,00	1,78	1,56
QB09.U.EC.c	30+5		9,53	6,20	4,53	3,53	2,87	2,39	2,16	2,03	1,97	1,75	1,53

Figura 37 Tabla del Catálogo de Soluciones Cerámicas para el diseño de una cubierta

## 4.- Nueva arquitectura con forjados cerámicos

Los productos cerámicos siempre han estado ligados a la cultura arquitectónica sencilla, austera y sincera de nuestro país. En los últimos años existe una nueva corriente arquitectónica que ha rescatado los valores originales de los materiales cerámicos realizando obras de excelente calidad.

El forjado de bovedilla cerámica es un sistema constructivo con una larga trayectoria en España debido a la sencillez de ejecución y cálculo, así como a la disponibilidad del material cerámico como elemento de entrevigado, tan arraigado en la tradición constructiva de nuestro país.

La función básica de los forjados en un edificio es la de formar parte de su estructura. Sin embargo, los forjados cerámicos son escogidos, además de por ser la solución estructural más adecuada y prestacional para un proyecto determinado, por su valor estético y su aptitud para utilizarlo como elemento visto.

El forjado cerámico visto se suele escoger para viviendas unifamiliares y locales inspirados en la arquitectura tradicional, pero también es un elemento muy valorado en edificios de diseño vanguardista.



Figura 38 Obras con forjados cerámicos vistos inspirados en la arquitectura tradicional

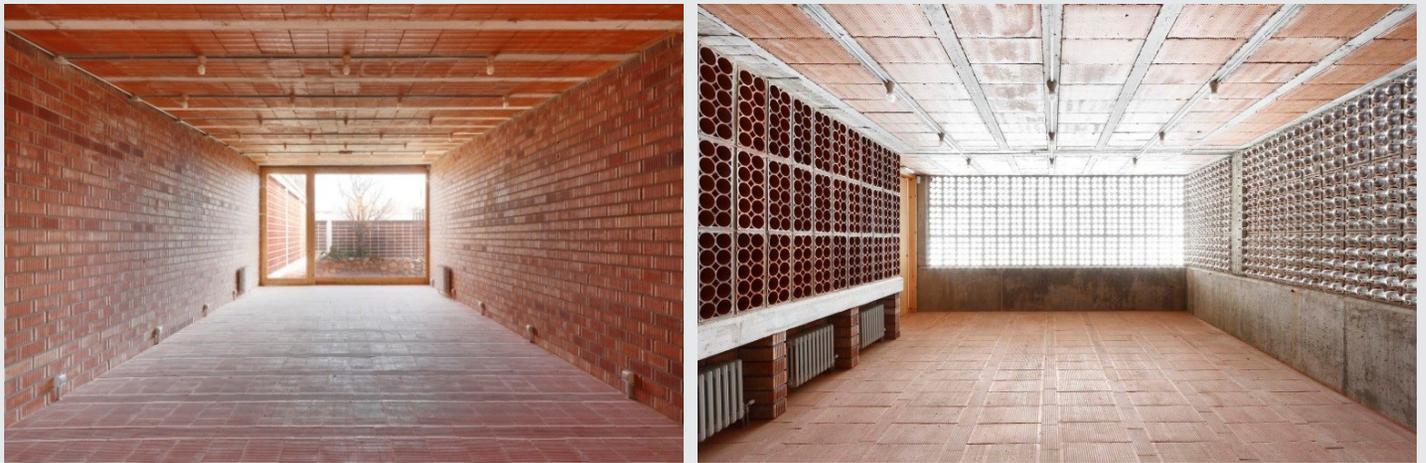


Figura 39 Obras con forjado cerámico visto en la arquitectura moderna. Espacio transmisor del Túmulo / Dolmen megalítico 2800 A.C. Seró - Artesa de Segre, Lleida. Toni Gironés Saderra



Figura 40 Obras con forjado cerámico visto en la arquitectura moderna. Casa Anoro. Sant Esteve de Palautordera, Barcelona. Anna & Eugeni Bach



Figura 41 Obras con forjado cerámico visto en la arquitectura moderna. Vivienda unifamiliar "Como una nave agrícola". Camallera, Girona. Anna & Eugeni Bach



Figuras 42 y 43 Obras con forjado cerámico revestido en la arquitectura moderna. Casa Perea Borobio. Sevilla. Canales&Lombardero / Vivienda unifamiliar IA. Pozuelo de Alarcón. Landínez+Rey | eL2Gaa



Figura 44 Obras con forjado cerámico revestido en la arquitectura moderna. Centro de Visitantes y Museo Interactivo P.N. de Cabañeros. Horcajo de los Montes, Ciudad Real. Álvaro Planchuelo



Figura 45 Obras con forjado cerámico revestido en la arquitectura moderna. Centro social polivalente. Lancha del Genil, Granada. Elisa Valero Ramos

[+ en www.conarquitectura.com](http://www.conarquitectura.com)

Producto: Bovedilla cerámica

Dirigido a: Projectista

Contenidos: Diseño



Los artículos técnicos son facilitados por Hispalyt (asociación española de fabricantes de ladrillos y tejas de arcilla cocida) y forman parte de los programas de investigación que desarrolla sobre los distintos materiales cerámicos y su aplicación.