

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 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.

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.

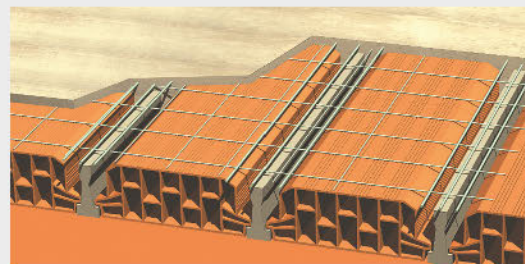


Figura 2 Forjado unidireccional con vigueta pretensada

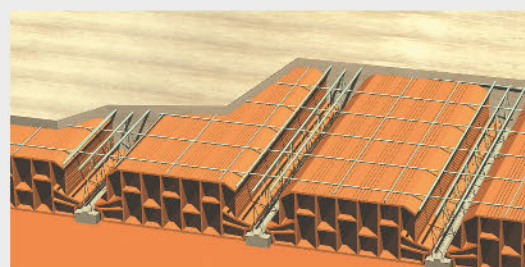


Figura 3 Forjado unidireccional con vigueta armada

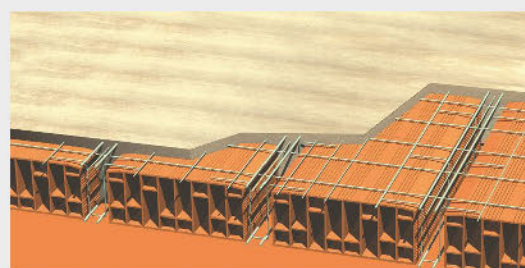


Figura 4 Forjado unidireccional con nervios hormigonados "in situ"

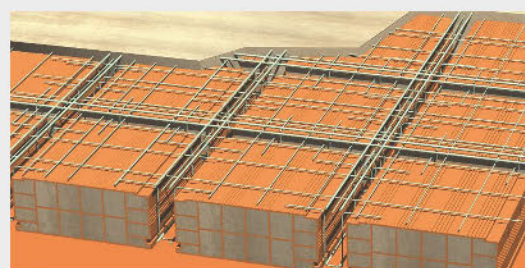


Figura 5 Forjado reticular con nervios hormigonados "in situ"

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		± 3 mm	Apdo. 5.1.2 UNE-EN 15037-3	
Profundidad del ala de apoyo		± 5 mm		
Características superficiales	Desconchados	Dimensión media < 15 mm	UNE 67039	
	nº de desconchados / dm ² ≤ 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 $(\lambda_{eq, R, med})$	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		F0 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: ± 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 F0 (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.

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.

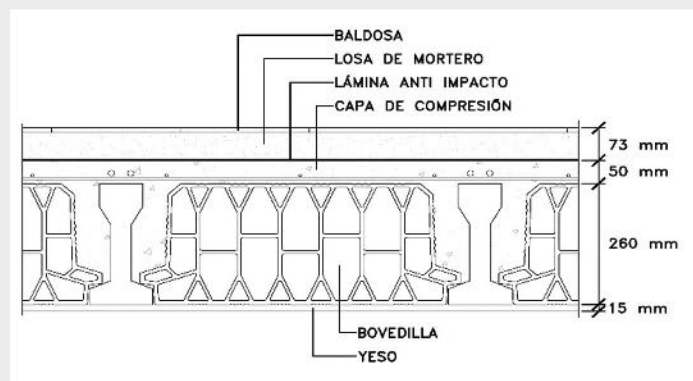


Figura 31 Forjado cerámico con suelo flotante

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 (ICTCC) 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 ⁽⁹⁾ (EI)	HE							
			U _{lim,med}							
			0,50	0,70	0,90	1,10	1,30	1,50	1,70	1,90
			Resistencia térmica mínima del aislante R _{te} (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	0,39	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_m: Distancia mínima equivalente al eje de las armaduras (recubrimiento).
- b_{0,mín}: Anchura mínima del alma.
- b_{mm}: Anchura de nervio mínimo.

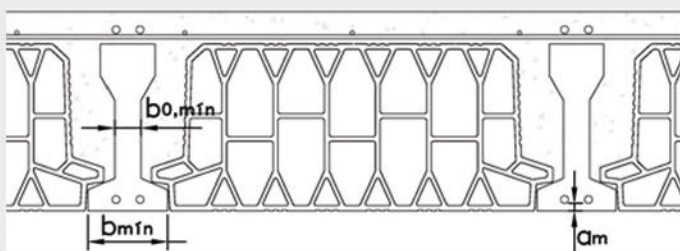


Figura 33 Parámetros que influyen en la resistencia al fuego de un forjado de bovedilla cerámica

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:

■	Recubrimiento de techo: ARA <input style="width: 50px;" type="text" value="0"/>	
■	Recubrimiento de suelo: ARA <input style="width: 50px;" type="text" value="14"/> ALw <input style="width: 50px;" type="text" value="31"/>	

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

■	Recubrimiento de techo: ARA <input style="width: 50px;" type="text" value="0"/> ALw <input style="width: 50px;" type="text" value="0"/>	
■	Recubrimiento de suelo: ARA <input style="width: 50px;" type="text" value="14"/> ALw <input style="width: 50px;" type="text" value="31"/>	

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

■	Recubrimiento de techo: ARA <input style="width: 50px;" type="text" value="0"/> ALw <input style="width: 50px;" type="text" value="0"/>	
■	Recubrimiento de suelo: ARA <input style="width: 50px;" type="text" value="14"/> ALw <input style="width: 50px;" 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

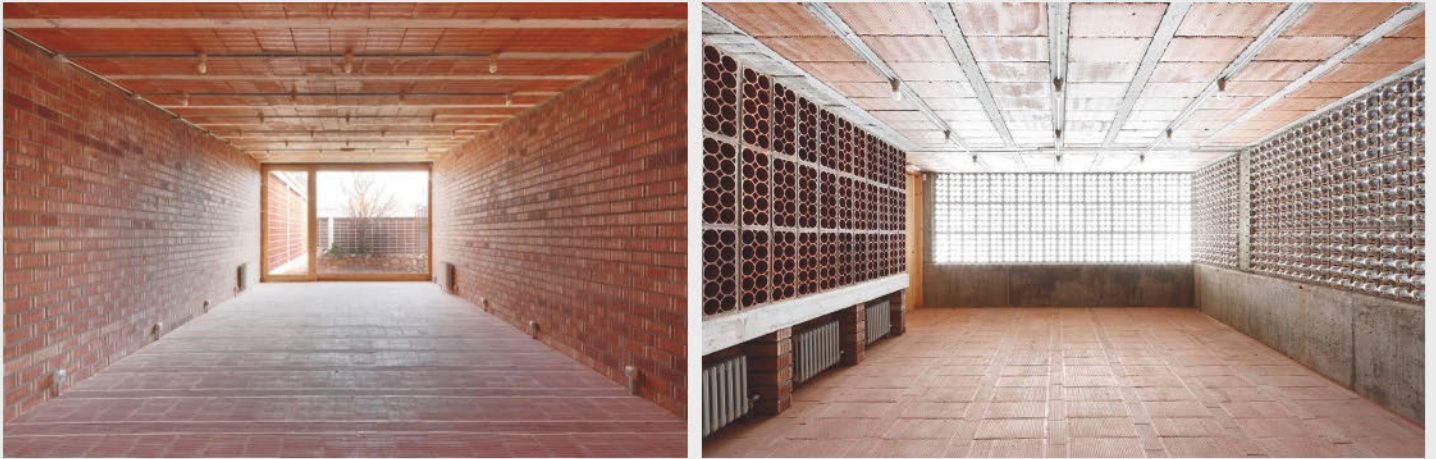


Figura 39 Obras con forjado cerámico visto en la arquitectura moderna. Espacio transmisor del Tímul / Dolmen megalítico 2800 A.C. Seró - Artesa de Segre, Lleida. Toni Gironés Saderra



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 fojado 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 fojado 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 fojado 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 Hispatyt (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.