

## NUEVAS SOLUCIONES CERÁMICAS DE ALTAS PRESTACIONES ACÚSTICAS

Autores: Arines, S.; Esteban, A.; Cortés, A.; Fuente, M.; Fernández, F.

LABEIN Centro Tecnológico

En el presente texto se resumen los resultados más importantes obtenidos en el trabajo de investigación que LABEIN Centro Tecnológico ha realizado para Hispalyt y la para la Asociación Española de Fabricantes de Tabiques y Muros Cerámicos desde el año 2.005, con el objetivo de desarrollar sistemas constructivos con altas prestaciones acústicas con materiales cerámicos.

### RESUMEN

El cambio normativo en materia de acústica que va a suponer el paso de la actual Norma Básica de Edificación (NBE-CA88) al nuevo Código Técnico de la Edificación (CTE) es de gran importancia, al conllevar no sólo un aumento de las exigencias sino también un cambio de mentalidad al considerar el edificio completo como un producto que debe cumplir las prestaciones establecidas.

Dentro del compromiso que el sector cerámico mantiene con la calidad en la edificación, está incluida la protección contra el ruido, por lo que se han realizado diversos proyectos de investigación orientados a obtener soluciones cerámicas con mejor comportamiento acústico.

La presente comunicación recoge los resultados de un proyecto sobre paredes dobles cerámicas de altas prestaciones acústicas, donde se muestran las ventajas del uso de bandas elásticas perimetrales.

### INTRODUCCIÓN

En marzo de 1999 el Gobierno aprobó el proyecto de Ley de Ordenación de la Edificación -LOE 38/1999- en la que se regulan las actividades y responsabilidades de los agentes que intervienen en la edificación. El desarrollo técnico de este marco normativo, que establece las exigencias básicas de calidad de los edificios y de sus instalaciones, es el denominado Código Técnico de la Edificación CTE [1]. Dentro de los requisitos básicos que enuncia la Ley, se hace referencia a aquellos referidos a la habitabilidad recogidos en la Directiva Europea de productos de construcción 89/106/EEC, en la cual se enmarca la protección contra el ruido como uno de los seis requisitos esenciales a cumplir por una vivienda, de tal forma que "el ruido percibido no ponga en peligro la salud de las personas y les permita realizar satisfactoriamente sus actividades".

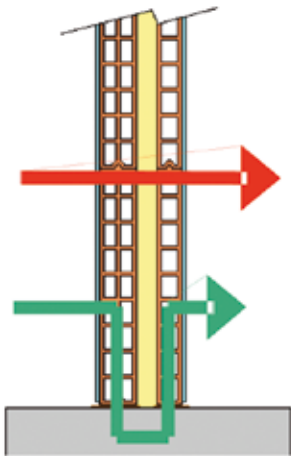
La futura reglamentación, actualmente un borrador cuya aprobación se prevé a corto plazo, introducirá un cambio importante en la cultura acústica del sector. Se sigue la tendencia actual consistente en basar las Normativas de Edificación en la verificación in situ de las prestaciones de los edificios, en lugar de verificar el confort acústico a partir del cumplimiento de requisitos de los elementos de construcción. El nuevo CTE aplicará los requisitos de aislamiento al edificio terminado, considerando al mismo como el producto final a controlar. Por ello, ya no es únicamente necesario el controlar los aislamientos en laboratorio de los diferentes elementos constructivos (tal y como se recogía en la NBE-CA 88), sino que la influencia de la geometría de los recintos, la combinación de los elementos constructivos o la ejecución han de ser tenidos en cuenta.

Adicionalmente, estos nuevos requisitos incluyen un incremento notable en la mejora del aislamiento acústico entre recintos adyacentes tanto para ruido aéreo, como para ruido de impacto o para el aislamiento de las fachadas contra el ruido exterior.

De los análisis realizados a partir de bases de datos del comportamiento acústico de los materiales, se ha llegado a la siguiente conclusión: es necesario avanzar en la mejora de las prestaciones de los productos de construcción para el cumplimiento del futuro Código Técnico de la Edificación, así como en el control de montaje e incorporación de instalaciones.

Esta necesidad de cambio es común a múltiples elementos. Un ejemplo de ello serían los forjados, que van a precisar de capas adicionales para poder llegar a los requisitos de ruido de impactos. Otros elementos constructivos que van a requerir una mejora de sus prestaciones son las paredes de albañilería tradicionalmente empleadas, tanto de las paredes de una hoja como de dos hojas, que presentan aislamientos en laboratorio que varían entre los 46 – 54 dBA. Pueden encontrarse ejemplos en esta línea en [2,3] o en cualquier bibliografía que recopile datos del comportamiento acústico en laboratorio de elementos de construcción.

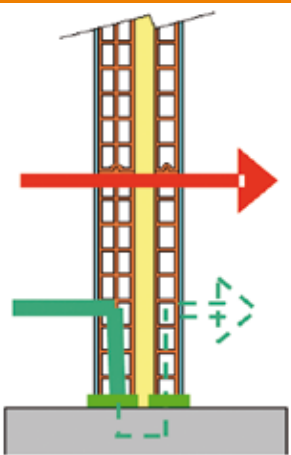
Es necesario recordar que para garantizar el cumplimiento del CTE DB-HR no sólo es necesario contar con unas mínimas prestaciones en laboratorio, sino que el resto de elementos del edificio, la geometría de las habitaciones o la correcta instalación de los elementos pueden tener influencia sobre el resultado final.



Camino 1:  
hoja 1 – cámara – hoja 2

Camino 2:  
hoja 1 – borde – hoja 2

Figura 1: Caminos de transmisión del sonido en paredes de doble hoja.



Camino 1:  
hoja 1 – cámara – hoja 2

Camino 2:  
hoja 1 – borde – hoja 2

Figura 2: Caminos de transmisión del sonido en paredes de doble hoja con bandas elásticas perimetrales. El camino 2 se debilita con el uso de bandas perimetrales.

Por todo ello, desde el sector de cerámica estructural se han venido desarrollando diversas investigaciones orientadas a la mejora de las prestaciones termo-acústicas de sus productos, y al desarrollo de un sistema integral de montaje que cumpliera con todas las exigencias del CTE (u otras normativas futuras más exigentes), garantizando una suficiente fiabilidad y robustez en obra. Dicho sistema permitirá a los técnicos la definición del proyecto y el control en obra de la ejecución del sistema, al definir no sólo las soluciones constructivas a nivel de proyecto, sino describir además puntos singulares y errores de ejecución de tal modo que el técnico pueda controlar correctamente su ejecución en la obra.

## NUEVAS SOLUCIONES CERÁMICAS: BASE TEÓRICA

Con estos antecedentes el sector de la cerámica inició una línea de investigación en el año 2003 con objeto de buscar soluciones constructivas de altas prestaciones acústicas que no supusieran un encarecimiento de la construcción ni una sobrecarga a las estructuras de los edificios, a la par que se mantuvieran otras cualidades inherentes a la construcción con ladrillo cerámico, como son la seguridad ante el intrusismo, la inercia térmica de las paredes o la ausencia de problemas acústicos debidos a las rozas o conductos de instalaciones [3].

El análisis en profundidad de los fenómenos que se ven implicados en la transmisión del sonido a través de una pared de dos hojas de albañilería, mostró que el principal flujo de transmisión de ruido se forma a través de la unión de las hojas con los elementos de flanco (forjados, paredes laterales y fachadas en el caso de obras reales; el propio marco de hormigón que recomienda la norma UNE-EN ISO 140-1 para el caso de laboratorios). Este camino de transmisión, llamado 'puente acústico estructural', es inherente a las paredes de doble hoja, ya que se produce a través del contacto de los bordes de ambas hojas en su unión con otros elementos de flanco.

Es preciso resaltar que, lógicamente, este fenómeno mencionado para las paredes de albañilería, existe también en otro tipo de divisorios como por ejemplo, los de cartón-yeso con entramado metálico, limitando igualmente su aislamiento [5].

En base a estos estudios, puede decirse que en una pared doble, el sonido se transmite de un recinto al otro a través de dos caminos simultáneamente, tal y como se refleja en la siguiente figura:

Es decir, la energía acústica logra pasar de un recinto a otro gracias a las vibraciones que se transmiten entre ambas hojas a través de los elementos que circundan al paramento.

En la mayoría de las situaciones comunes, el camino 2 - Hoja 1-borde-Hoja 2- se convierte en el dominante. Ello explica las escasas diferencias encontradas habitualmente en los ensayos en laboratorio al variar la cámara entre hojas o el material colocado en su interior, ya que el camino 1 -Hoja 1 – cámara – Hoja 2- no es la principal vía de transmisión. Aunque esta última afirmación pueda parecer contraria a las bibliografías habitualmente aceptadas, es preciso recalcar que éstas, en general, se basan en consideraciones teóricas que no tienen en cuenta el citado puente estructural, y que han sido en muchos casos aceptadas ante la ausencia de datos de ensayos que las invalidaran o interpretadas incorrectamente por el sector.

Por lo tanto, para lograr paredes dobles de altas prestaciones acústicas, capaces de cumplir los requisitos del futuro CTE sin la obligación de recurrir a masas superficiales ni espesores excesivamente elevados, que supongan una sobrecarga para las estructuras, es necesario eliminar de algún modo la transmisión de energía acústica entre ambas hojas a través de los bordes. La forma ideal de hacerlo sería interrumpir los forjados y paredes laterales. Este es precisamente el caso de las juntas de dilatación, que como bien se sabe, presentan aislamientos medidos in situ muy elevados. Desafortunadamente desde el punto de vista constructivo, no siempre es posible ejecutar una junta de dilatación entre dos viviendas adyacentes, por lo cual se deben valorar otras alternativas, como es el uso de bandas perimetrales resilientes o viscoelásticas.

Estas bandas resilientes pueden estar constituidas por diversos materiales, como muestran las experiencias llevadas a cabo en diversos países europeos, como Francia y Bélgica, en los cuales es común el uso de bandas de caucho para la desolidarización de los tabiques cerámicos [6]. También otros materiales como algunos tipos de corcho han sido probados con éxito.

En la investigación española se optó inicialmente por el EPS elastificado (EEPS), al ser un material económico y de fácil utilización que cumple con todas las prestaciones exigidas (tanto acústicas como de estabilidad mecánica, etc.). Además el EPS es un material que ya se coloca habitualmente en la base de los tabiques de ladrillo de gran formato, por lo que su aceptación en el sector de la construcción será inmediata. En todo caso, otros materiales viscoelásticos pueden ser admisibles, como los utilizados actualmente en el perímetro de los tabiques de bloques de yeso para evitar la aparición de fisuras [7]. Actualmente se están estudiando junto con el Département Acoustique et Eclairage del CSTB Centre Scientifique et Technique du Bâtiment distintas alternativas de materiales para ser utilizados con este fin.

## RESULTADOS EN LABORATORIO

Las prestaciones acústicas del sistema de paredes dobles cerámicas con banda resilientes perimetrales tanto de pequeño como de gran formato son mucho más elevadas que las del sistema tradicional de paredes dobles cerámicas apoyadas. La mejora del aislamiento acústico de estas soluciones es debida a la desconexión mediante bandas resilientes de las hojas del resto de los elementos.

Por poner un ejemplo, una misma pared de ladrillo gran formato de 7 cm con 4 cm de lana de roca y otro ladrillo gran formato de 7 cm (ambos enlucido con 1 cm de yeso) presenta un aislamiento en laboratorio de aproximadamente  $R_w = 45$  dB, mientras que mediante la utilización de bandas en el perímetro de las paredes de ladrillo, el valor medido asciende a  $R_w = 56$  dB. Múltiples ensayos han sido realizados en diversos laboratorios (Área de Acústica del Gobierno Vasco, Instituto de Acústica del CSIC, Audiotec, Applus,...) mostrando aislamientos entre 53 y 64 dB, en función del tipo de ladrillo, espesor de la cámara, material aislante, etc. A continuación se resumen algunos resultados obtenidos en los ensayos realizados.

Descripción	Material banda elástica	Fecha ensayo	Laboratorio	Nº informe	Resultado	
					$R_w$	$R_A$
Paredes de doble hoja con bandas perimetrales						
LHD 7 + 4 cm LM + LHD 7	EEPS	3-may-05	LCCE GV	B0103-IN-CT-3 I	55 dB	54,3 dBA
LHD 8 + 6 cm LM + LHD 8	EEPS	16-may-05	LCCE GV	B0103-IN-CT-3 III	56 dB	56,1 dBA
LGF 7 + 4 cm LM + LGF 5	EEPS	27-may-05	LCCE GV	B0103-IN-CT-6 I	54 dB	53,2 dBA
LGF 9 + 6 cm LM + LGF 9	EEPS	8-jun-05	LCCE GV	B0103-IN-CT-6 II	63 dB	62,9 dBA
LGF 9 + 4 cm LM + LGF 9	EEPS	17-jun-05	LCCE GV	B0103-IN-CT-6 III	57 dB	56,6 dBA
LGF 7 + 4 cm LM + LGF 7	Polietileno	2-jun-05	AUDIOTEC	IN 139/05/AER-2	55 dB	55,1 dBA
LGF 7 + MC + LGF 7	Isolgoma (caucho)	18-ago-05	AUDIOTEC	IN 211/05/aer-1	56 dB	56,6 dBA
LHD 8 + 4 cm LM + LHD 8	EEPS	13-dic-05	LCCE GV	B0103-IN-CT-07 I	56 dB	56,1 dBA
Trasdosados cerámicos con bandas perimetrales						
LHS 5 + 5 cm LM sobre LP 11,5	EEPS	5-may-05	LCCE GV	B0103-IN-CT-3 II	63 dB	61,9 dBA
LHS 5 + 4 cm LM sobre TA 14	EEPS	24-may-05	LCCE GV	B0103-IN-CT-3 IV	64 dB	63,1 dBA

## VENTAJAS ACÚSTICAS ADICIONALES DEL SISTEMA

Las ventajas del sistema no se reducen únicamente a la mejora del aislamiento entre dos recintos adyacentes horizontalmente. También el aislamiento en vertical (es decir, recintos separados por forjados) se ve notablemente incrementada. Aplicando los modelos de predicción UNE-EN ISO 12354 [8] recogidos en el CTE, a un caso común como el reflejado en la siguiente figura se comprueba que el camino de flanco a través de los tabiques interiores es de gran importancia. Esto explica múltiples casos reales, en los que pese a haber colocado un elemento separador de elevado aislamiento (cerámico o no cerámico) las mediciones in situ obtenidas que presentan valores de aislamiento muy inferiores a lo esperado. Es importante por tanto desterrar la idea de que las pérdidas in situ son del orden de 5dB respecto al valor del elemento separador medido en laboratorio, ya que se pueden alcanzar pérdidas de incluso 20 dB o superiores.

La utilización de bandas elásticas en la parte inferior de los tabiques, interrumpe la transmisión de ruido a través de este camino, permitiendo una mejora de la calidad acústica de los edificios y una optimización de elementos constructivos como las láminas anti-impacto, ya que al minimizarse las pérdidas a través de los tabiques, es posible utilizar una lámina de menores prestaciones para lograr el mismo valor global de aislamiento. Asimismo se evita la necesidad de utilizar tabiques interiores de masas y espesores elevados que suponen una sobrecarga innecesaria en los forjados, logrando prestaciones superiores a las soluciones sin bandas perimetrales.

## VALIDACIÓN DEL SISTEMA EN OBRAS REALES

Hasta el momento se ha presentado el desarrollo teórico y las pruebas en laboratorio del sistema, pero no se debe olvidar que los requisitos del CTE son in situ, y por lo tanto la solución constructiva debe funcionar s entre elementos, presencia de pilares, shunts, patinillos, etc.

Es por ello que se han realizado diversas experiencias en obras reales con objeto de validar las prestaciones del sistema en situaciones reales, además de evaluar su robustez ante los inevitables errores de ejecución.

Figura 3: Ensayos en laboratorios.

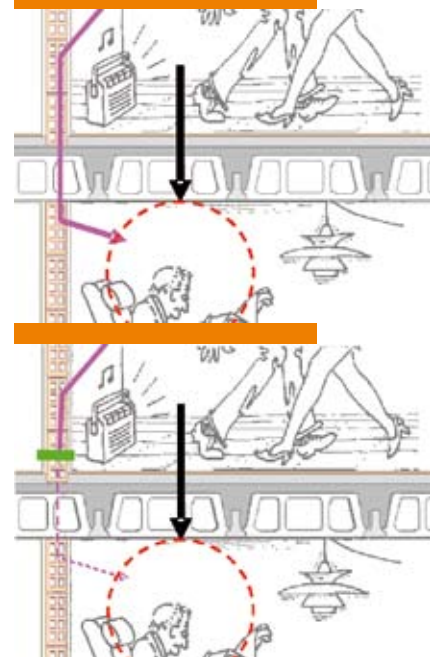


Figura 4: Eliminación de posibles transmisiones indirectas mediante el uso de bandas elásticas en la base de los tabiques.

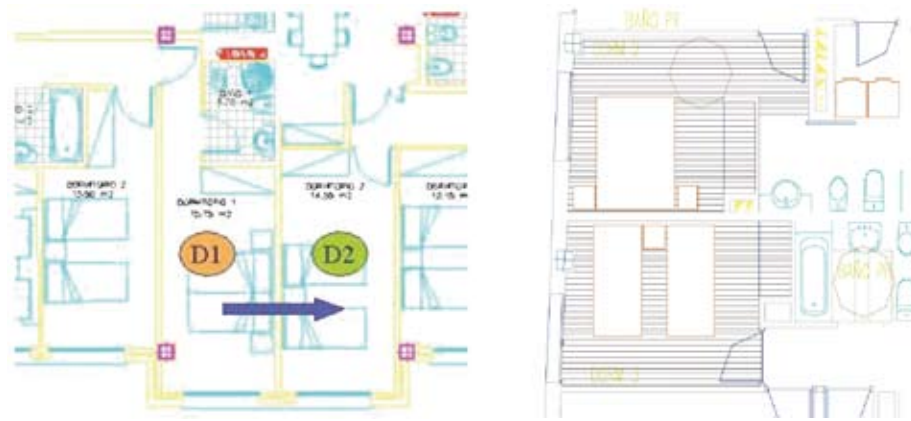


Figura 5: Ejemplo de recintos seleccionados en una vivienda.

Este punto es de especial importancia, ya que soluciones constructivas con buenas prestaciones pero muy sensibles a los errores de ejecución puede ser causa de patologías acústicas dentro del marco del CTE.

En cada promoción de viviendas se han seleccionado los recintos geoméricamente más desfavorables (generalmente dormitorios de alrededor de 2,5m de profundidad respecto a la pared medianera) para su ensayo in situ según UNE-EN ISO 140 y bajo acreditación ENAC. Igualmente, se ha tomado como criterio el causar la menor interferencia posible respecto al proyecto constructivo original, buscando siempre lograr el cumplimiento de los requisitos del CTE con el menor sobrecoste o dilatación de los plazos de obra.

De esta forma se ha estudiado en detalle desde la fase de proyecto la transmisión de ruido entre los recintos más desfavorables, calculando la combinación óptima de soluciones constructivas y evaluando qué elementos más críticos era necesario modificar (habitualmente, la adición de suelos flotantes). Lógicamente se ha buscado el cumplimiento de todos los requisitos acústicos del CTE (aislamiento a ruido aéreo en horizontal y vertical y aislamiento a ruido de impactos) pese a que el estudio está centrado en paredes separadoras de viviendas. Una vez más hay que hacer hincapié en la necesidad de pensar en el edificio como conjunto y no sólo en las prestaciones individuales de cada elemento constructivo.

Los encuentros entre elementos (medianera con fachada, suelos, pilares, patinillos, etc...) también han sido resueltos para evitar la conexión mecánica entre hojas.

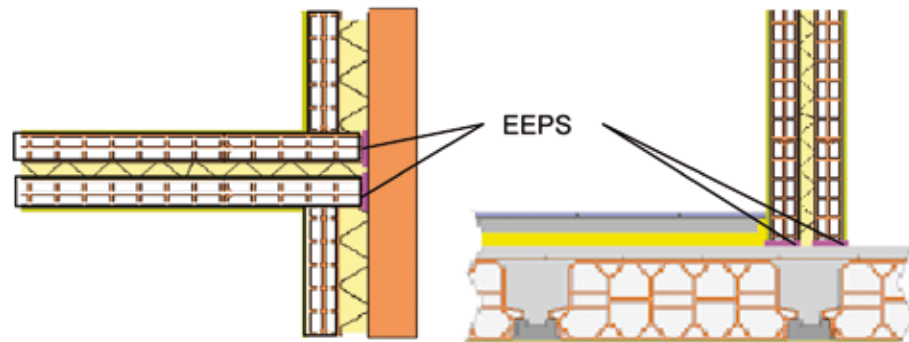


Figura 6: Ejemplos de encuentros con fachada y

En la figura 7 se reflejan las soluciones constructivas que han sido ensayadas in situ y las promociones utilizadas para ello. Una vez finalizada la ejecución de las promociones de viviendas, se ha ido procediendo a su validación final mediante medidas acreditadas ENAC según las normas UNE-EN ISO 140-4 y 7, comparando los resultados frente a los exigidos por el CTE (50 dBA entre recintos protegidos de viviendas).

Los buenos resultados previos de estas experiencias muestran la viabilidad de cumplir con los requisitos de protección frente al ruido del CTE (o superiores) utilizando materiales cerámicos habituales hoy en día en viviendas y sin suponer un sobrecoste ni una pérdida de superficie útil significativa respecto a la situación actual.

Elemento separador	Prestaciones en laboratorio R(A) (dBA)	Población / Provincia	Fecha de ensayo	Resultado
				DnT <sub>w</sub> + C <sub>100-5k</sub> (dBA)
LGF 7 + 4 cm LR + LGF 5 (desconect. EEPS 1,5 cm)	53.2	Amurrio (Alava)	feb-04	50
LHD 8 + 4 cm LR + LHD 8 (desconect. EEPS 1,5 cm)	56.1	Mérida (Badajoz)	ene-06	54
LGF 7 + 4 cm LR + LGF 7 (desconect. Isolgamma 0,6 cm)	55.1	Berriozar (Navarra)	may-06	50 / 51
LGF 8 + 4 cm LR + LGF 8 (desconect. EEPS 1-1,5 cm)	55.1	Vigo	ago-06	51 / 55
1/2 pie perforado 11,5 + 4 cm LR + LHS 5 (desconect. EEPS 1-1,5 cm)	61.9	Vigo	ago-06	54 / 55
1/2 pie perforado 11,5 + 4 cm LR + LHS 5 (desconect. EEPS 1 cm)	61.9	La Coruña	ago-06	56 / 56
LGF7 + 3 cm Tecsound + LGF7 (desconect. EEPS 1 cm)	56	Soria	sep-06	50
Panel prefabricado de cerámica y yeso 6 + 6 cm LR + Panel prefabricado de cerámica y yeso 6	56.4	Logroño	may-06	51 / 52
LGF 7 + Lana mineral (5cm) + LGF10 (desconect. EEPS 1 cm)	—	Alzira (Valencia)	ene-07	53 / 55
LGF 7 + Lana de roca (4cm) + LGF7 (desconect. EEPS 1 cm)	55.1	Andoain (Guipúzcoa)	feb-07	53

## OTROS ASPECTOS CONSTRUCTIVOS DEL SISTEMA

Es importante destacar igualmente que no sólo los aspectos acústicos han sido tenidos en cuenta durante el desarrollo del proyecto. También otras cuestiones técnicas -de mayor importancia que la protección contra el ruido- han sido estudiadas en profundidad con resultados satisfactorios.

En lo referente a la estabilidad estructural, se ha acreditado mediante ensayos su adecuación a la categoría de cargas "a" y uso "III" según los criterios de la guía DITE 003 (EOTA)/ Edición Diciembre 1998 para elementos de división interior usados como muros no portantes. Los ensayos realizados han sido los correspondientes a daños funcionales y daños estructurales, para impacto de cuerpo duro, de cuerpo blando y carga excéntrica.

En el aspecto de seguridad frente a incendios, se ha acreditado también mediante ensayo bajo norma EN 1364-1 un correcto comportamiento al fuego, cumpliendo las soluciones constructivas presentadas las exigencias de la normativa vigente.

A continuación se muestran una serie de imágenes correspondientes al montaje del sistema en las obras considerando formatos tradicionales (promoción en Mérida) y LGF (promociones en Andoain y Alzira)



Figura 7: Soluciones constructivas que han sido ensayadas in situ y promociones utilizadas para ello.



## CONCLUSIONES

- La transmisión del sonido a través de una pared doble de albañilería está dominada por la transmisión de sonido que va directamente de hoja a hoja a través de los elementos de borde. La eliminación de dicho camino mejora sustancialmente las prestaciones acústicas.
- El uso de bandas resilientes perimetrales permite lograr este efecto, habiéndose comprobado aislamientos en laboratorio de hasta 64 dBA con soluciones y espesores tradicionales, sin un sobrecoste significativo y sin especiales complicaciones en el montaje.
- Asimismo, el uso de dichas bandas mejora el aislamiento entre recintos en vertical, al eliminar uno de los principales caminos de transmisión de ruido aéreo.
- Las soluciones de doble hoja de albañilería con bandas han demostrado su funcionamiento en obra real, del mismo que venían haciendo en otros países como por ejemplo Francia, tanto desde el punto de vista acústico como de estabilidad estructural, resistencia al fuego, etc.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] [www.codigotecnico.org](http://www.codigotecnico.org)
- [2] Análisis de la situación actual y futura sobre el confort acústico en los edificios. XXXII Congreso Nacional de Acústica Tecniacústica 2001. Esteban A.; Cortés A.; De Rozas M.J. ; Tellado N.; De Lorenzo A.
- [3] Tópicos de Acústica a prueba y otras curiosidades sobre el comportamiento acústico de materiales en laboratorio. XXX Jornadas Nacionales de Acústica, Tecniacústica 99. A. Esteban, G. Castelruiz, A. Cortés e I. Álvarez.
- [4] UNE EN ISO 140-1: 1998. Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 1: Requisitos de las instalaciones del laboratorio sin transmisiones indirectas.
- [5] Modeling of sound transmission through lightweight element with stiffeners. Building Acoustics, Volume 10, Number 3, 1 September 2003, pp. 193-209(17). Guigou-Carter C.; Villot M.
- [6] CSTB: Avis technique 98-652 Double paroi en briques à hautes performances acoustiques, y similares.
- [7] Manual de ejecución de tabiques con paneles de yeso o escayola. Asociación Técnica y Empresarial del Yeso ATEDY.
- [8] UNE EN 12354. Acústica de la edificación. Estimación de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos.