

# Proyecto BALI: “Sistemas y Edificios Acústicamente Eficientes y Saludables”

## The BALI project on “Acoustically Efficient and Healthy Systems and Buildings”

M<sup>a</sup> Belén Casla Herguedas, M<sup>a</sup> Teresa Carrascal García y Amelia Romero Fernández *Instituto Eduardo Torroja Ciencias de la Construcción*  
 Javier Cerdeño del Castillo y Roberto Díaz Rubio *AITEMIN*  
 Elena Santiago Monedero, Víctor Sastre Álvarez, Ana Ribas Sangüesa y Elena Gracia Iguacel *Hispalyt*

### INTRODUCCIÓN

El proyecto BALI, Sistemas y Edificios Acústicamente Eficientes y Saludables, se engloba dentro de los proyectos científico tecnológicos singulares y de carácter estratégico del Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e innovación tecnológica (I+D+i 2008-2011). El objetivo común del proyecto es la investigación y desarrollo de nuevos productos y sistemas de altas prestaciones acústicas que tengan aplicación directa y específica en la construcción de edificios, así como en su diseño integral. El confort acústico en el interior de los edificios se constituye así en el objetivo general del proyecto, teniendo en cuenta los constatados efectos nocivos para la salud que tiene el ruido.

En el proyecto BALI se han definido una serie de objetivos específicos que se agrupan en subproyectos, dentro de los cuales Hispalyt ha participado con las siguientes iniciativas:

Iniciativa dentro del subproyecto SP2: “I+D de Materiales, Productos y Sistemas para Envolventes Opacas de Edificios Acústicamente Saludables”: “Análisis y mejora del comportamiento acústico del sistema constructivo de fachada de ladrillo cara vista de Structura”, desarrollada con el centro tecnológico Instituto Eduardo Torroja Ciencias de la Construcción.

Iniciativa del subproyecto SP5: “I+D de Materiales, Productos y Sistemas Arquitectónicos de Interiores para Reducir la Transmisión Aérea y de Impacto”: “Diseño y validación de nuevos productos cerámicos, para reducir la transmisión de ruido en el interior de los edificios”, desarrollada con el centro tecnológico AITEMIN.

### “ANÁLISIS Y MEJORA DEL COMPORTAMIENTO ACÚSTICO DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO DE FACHADA DE LADRILLO CARA VISTA STRUCTURA”

*Agradecimiento especial a Concepción del Río Vega, del departamento técnico de Geohidrol por su ayuda para la realización de este proyecto*

El trabajo de la iniciativa Structura se ha centrado en el desarrollo de una fachada ventilada cerámica de dos hojas desvinculadas, que además de incrementar notablemente sus prestaciones higrométricas, tiene un aislamiento acústico más elevado que el de una solución de fachada tradicional de ladrillo, lo que permite su utilización en aquellas zonas más contaminadas acústicamente, donde la exigencia acústica es mayor debido a un índice de ruido día elevado (Ld).

### Descripción del sistema y ventajas

El Sistema Structura se fundamenta en el aprovechamiento del potencial que tienen los muros de fábrica para ser utilizados como elementos estructurales. La innovación fundamental del sistema es la recuperación del carácter tradicional de las fábricas de material cerámico como elementos portantes de sí mismos. El resultado final es una propuesta que concilia la tradición milenaria de las piezas de ladrillo con la innovación y modernidad de una solución que goza de las máximas prestaciones técnicas y funcionales.

El tipo constructivo que desarrolla el Sistema “Structura” es el cerramiento autoportante, denominado así porque el principal elemento de sustentación lo constituye el propio muro de ladrillo. La solución constructiva consiste en separar la hoja exterior del cerramiento de la estructura del edificio para permitir el paso de una cámara continua con aislamiento. Las prestaciones estructurales que requiere el cerramiento se consiguen con el proceso constructivo G.H.A.S., que aporta los elementos de retención adecuados para conseguir las condiciones de estabilidad, resistencia y control de fisuración exigidas por la normativa.

La posibilidad de disponer aislamiento continuo supone una importante mejora en la eficiencia energética del cerramiento respecto de los sistemas convencionales. El Sistema “Structura” permite, además, dotar de ventilación a la cámara interpuesta entre la hoja exterior del cerramiento y el edificio, lo que incrementa notablemente las prestaciones higrométricas, incorporando a la fachada de ladrillo cara vista

todas las prestaciones de las fachadas ventiladas. Esta cámara continua, que puede ser ventilada o no, se consigue si la hoja exterior se separa convenientemente de la estructura del edificio.

Desde el punto de vista del aislamiento acústico, la fachada Structura está formada por dos hojas separadas por una cámara que son independientes. Sólo están conectadas puntualmente por los anclajes, el prececeo de las carpinterías de los huecos y en la coronación y arranque de la fachada (fig 1).

El campo de aplicación del Sistema “Structura” es muy amplio. Con los procedimientos del análisis disponibles en la normativa y los recursos auxiliares disponibles en el mercado, ofrece soluciones viables para una amplia gama de edificios que abarca, desde los destinados a uso residencial o de oficina, con paños de fachada de proporciones geométricas relativamente modestas, hasta los edificios de uso industrial o superficies comerciales, con grandes lienzos de fachada, pasando por obras de carácter singular como revestimiento de túneles o trabajos de rehabilitación.

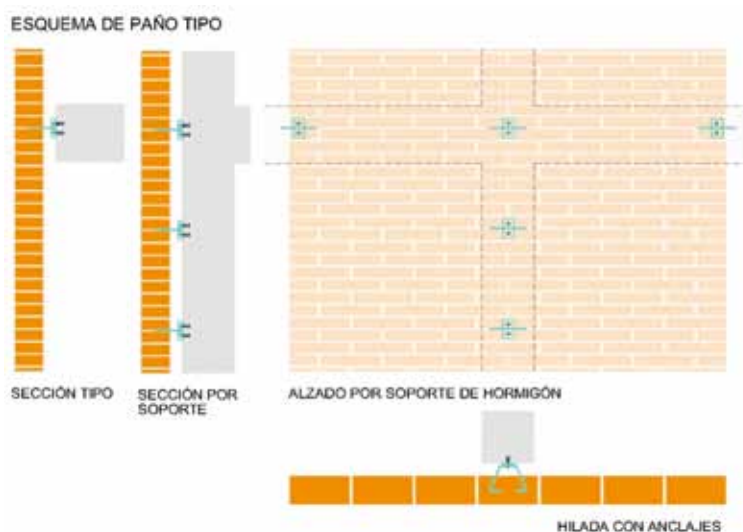


Figura 1. Esquema Structura.

Con esta solución se consiguen tres objetivos fundamentales: aprovechar el peso de toda la hoja exterior en el análisis frente a acciones horizontales; mejorar el comportamiento higrotérmico y acústico del cerramiento; y eliminar el conflicto constructivo que supone su confinamiento entre los elementos estructurales del edificio.

### Materiales empleados:

Los materiales empleados son en el sistema Structura (fig 2 y 3) son:

**Ladrillo caravista:** perforado o macizo, con cazoleta continua para poder alojar la armadura de tendel.

**Armadura de tendel:** Es una armadura prefabricada consistente en dos alambres paralelos unidos mediante puntos de soldadura a un alambre central continuo en zig-zag, en un mismo plano. Esta armadura aumenta la resistencia a compresión y la rigidez de la construcción. Tiene un espesor mínimo y se coloca fácilmente entre las juntas de mortero.

**Anclaje para juntas de movimiento.**

**Aislante térmico.**

**Anclaje de la hoja exterior a la estructura:** Los anclajes cumplen dos misiones fundamentales: garantizan la estabilidad de la hoja exterior, suministrando la totalidad de la reacción correspondiente a las acciones horizontales; y limitan la esbeltez del paño frente al fenómeno del pandeo, que constituye, en este caso, una de las principales restricciones de su comportamiento mecánico en edificios de altura. Los dispositivos de anclaje pueden fijarse, por consiguiente, a soportes, frentes de forjado o a un muro perimetral exterior.

**Ladrillo para revestir:** Pueden ser según su configuración ladrillos perforados, huecos o macizos.

**Montaje:**

El sistema de montaje se desarrolla con las 2 hojas desvinculadas entre sí, de cualquiera de las dos siguientes formas, según el orden de montaje: (Ver tabla y fig. 4 a 7)

Desde el exterior al interior
Colocación de anclajes
Colocación de aislamiento en pilares y frentes de forjado
Ejecución de la hoja exterior de la fachada de ladrillo cara vista
Limpieza de la cara interior de la fachada y colocación del aislamiento de la hoja interior de la fachada.
Ejecución de la hoja interior de la fachada

Desde el interior al exterior
1. Ejecución de la hoja interior de la fachada
2. Colocación de anclajes
3. Colocación de aislamiento en la hoja interior de la fachada, frentes de forjado y pilares.
4. Ejecución de la hoja exterior de la fachada de ladrillo cara vista

**Caracterización acústica del Sistema Structura**

Para una primera caracterización acústica del sistema se procedió a ensayar el Sistema Structura en Junio de 2010. (Ensayo de aislamiento acústico en el laboratorio de Control de Calidad de la Edificación del País Vasco – Ensayo nº 91.2220.0-IN-CT-10/22)

La muestra ensayada consistió en un cerramiento vertical de doble pieza de arcilla cocida (ladrillo caravista y gran formato), con hojas en marcos diferentes para asegurar la nula transmisión por flancos, simulando el Sistema Structura para fachada de ladrillo caravista.

En el ensayo de aislamiento se obtuvieron los siguientes datos (fig 8)

RA = 55,2 dBA  
 R<sub>Atr</sub> = 50,0 dBA  
 RW (C; C<sub>tr</sub>) = 56 (-2; -6) dB

En la figura 08 muestra los resultados y la curva de aislamiento acústico obtenidos en el ensayo.

**Análisis puentes acústicos causados por el marco de las carpinterías**

Las ventajas del sistema Structura se basan en que las dos hojas de ladrillo que forman la fachada son independientes permitiendo la existencia de una cámara continua, de tal forma que sus prestaciones acústicas son mayores que las de una fachada convencional. Sin embargo, en los edificios, la cámara de aire se ve interrumpida puntualmente en los huecos de la carpintería, lo que puede suponer un puente acústico.

Para estudiar este tema, se plantearon varios montajes con sus correspondientes ensayos en laboratorio con el objetivo de encontrar, por comparación, las pautas o elementos que influyen en el aislamiento y de qué forma lo hacen, de manera que pudiera comprobarse la influencia de la unión con la carpintería.

En las cámaras acústicas del IETCC se realizaron los ensayos con los diferentes diseños de fijaciones de la carpintería: Rígido y elástico (fig 9 y 10).

La carpintería y vidrios utilizados en ambos ensayos fue la siguiente:

Carpintería metálica con RPT lacada en blanco, practicable- abatible con microventilación. Serie Expral A-94-R con 3 juntas de estanqueidad.

Vidrio doble climalit 6/12/5

El tamaño del hueco es de 1,25 x 1,50m



Figura 2. Componentes fachada Structura

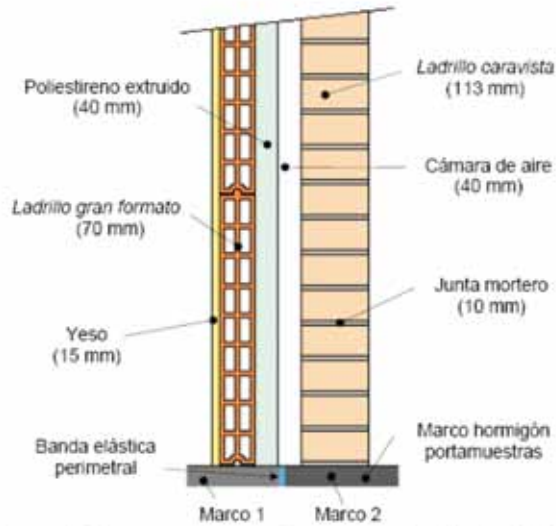


Figura 3. Detalle fachada Structura.



Figura 4. Montaje hoja cara vista en marco 2.  
 Figuras 5 y 6. Montaje hoja de LHGFen marco 1.  
 Figura 7. Aplicación del enyesado en cara exterior de la hoja de LHGF.

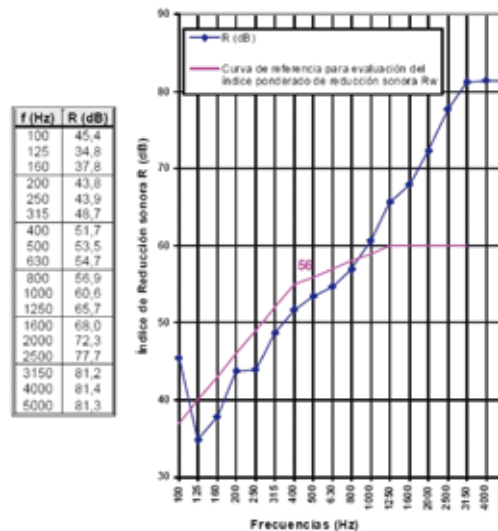


Figura 8. Resultados de ensayo en laboratorio de la fachada Structura.

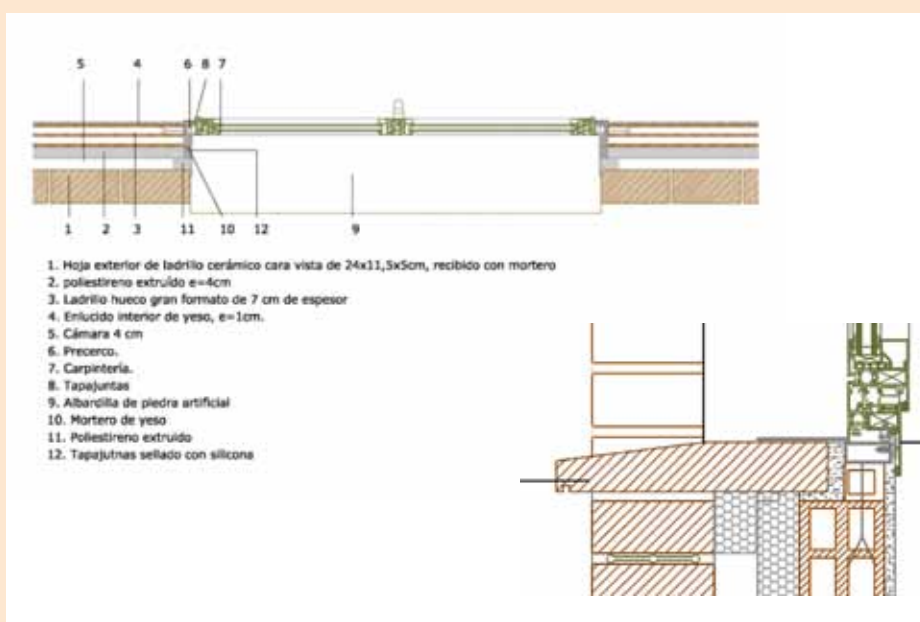
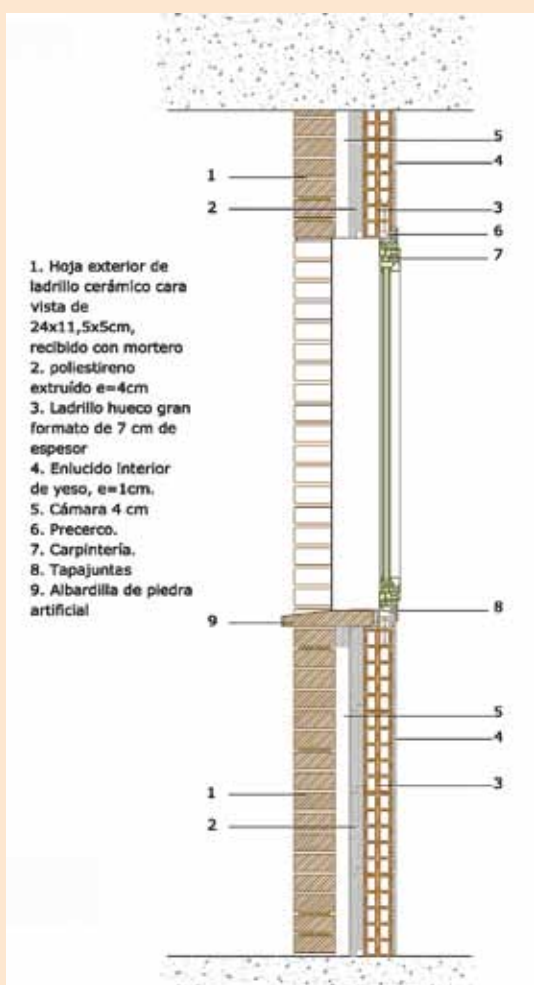


Figura 9. Detalles montaje 1.

**MONTAJE 1: Montaje convencional del hueco (rígido)**

Se reprodujo una muestra del Sistema Structura con una ventana instalada de manera tradicional (prearco instalado en la hoja interior de la fachada y albardilla apoyada rígidamente en las 2 hojas de la fachada, véase figura 09) y se realizaron nuevos ensayos en las cámaras de ensayos acústicos del IETCC: Un ensayo de aislamiento acústico y otro de intensidad.

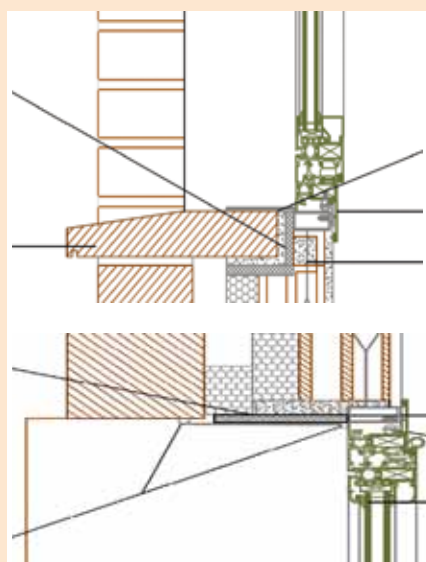
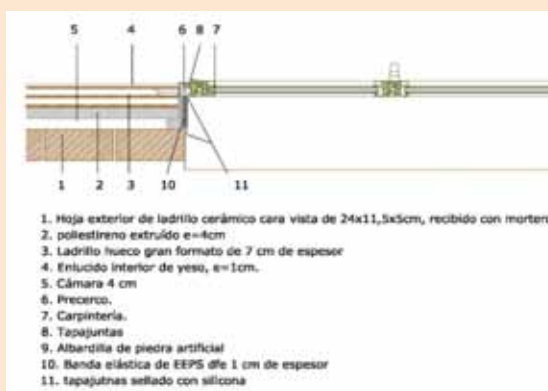
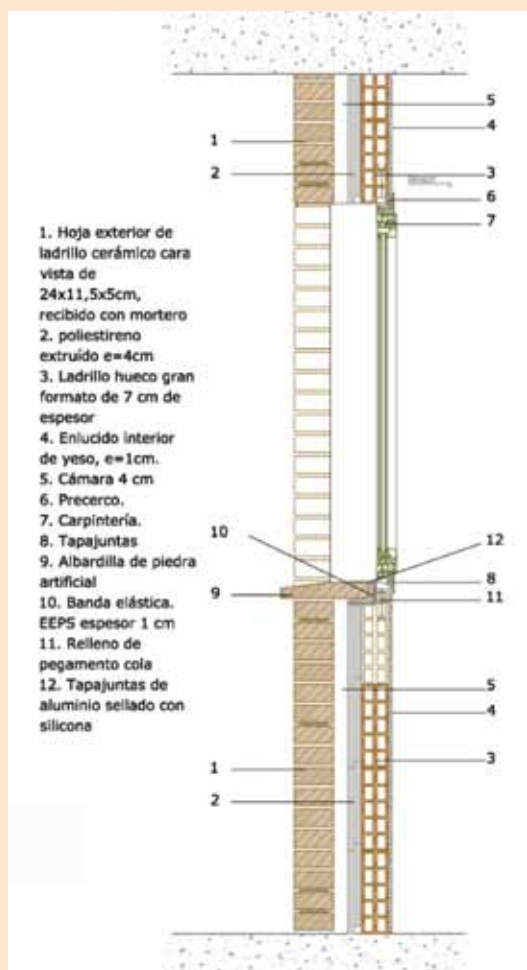


Figura 10. Detalles montaje 2.

**MONTAJE 2: Montaje de la carpintería del hueco de forma elástica**

Con el fin de comprobar la influencia de la unión rígida de la albardilla y la carpintería se reprodujo una nueva muestra del Sistema Structura con una ventana instalada que estuviera montada sobre bandas elásticas de EEPS de 1 cm de espesor, en el apoyo de la albardilla en la hoja interior de la fachada en su encuentro con la carpintería y bajo las chapas metálicas laterales que cierran la cámara (tapajuntas o embocadura metálica).



**Resultados ensayos**

La tabla 1 muestra los resultados de aislamiento obtenidos en los dos montajes. También se realizaron ensayos de aislamiento con una muestra de Sistema Structura completamente ciega.

La gráfica (fig 12) muestra la comparativa de los ensayos de aislamiento realizados. También se muestran las gráficas de los ensayos de intensidad realizados (fig 13 y 14).

Como resultado de estos ensayos se puede concluir que no se aprecia un efecto acústico claro de la fijación elástica del elemento, habiendo obtenido curvas de aislamiento muy similares con dicha fijación y en ausencia de ella. Los ensayos de intensidad muestran también que no existen diferencias entre ambos montajes. Sin embargo, lo que puede apreciarse es que la conexión producida por los marcos de la carpintería no supone una merma de aislamiento acústico significativa. Se aprecia que la parte acústicamente más debilitada es la propia carpintería, en concreto los marcos superiores, donde se encuentra el sistema de apertura para microventilación y el cierre de las hojas en el centro de la ventana.

**Ensayos de aislamiento acústico in situ**

Otro de los aspectos analizados en el proyecto ha sido la influencia de la cámara vertical continua de la fachada Structura en la transmisión de ruido entre recintos colindantes.

Para analizar esta transmisión se han realizado ensayos de aislamiento acústico a ruido aéreo y de impacto en las cámaras in situ del laboratorio de Acusttel, reproduciendo las condiciones que se darían en un edificio con una fachada Structura de ladrillo caravista colocado a 1/2 pie, con cámara de aire de 4cm, capa de poliestireno extruido de 4cm y hoja interior de la fachada de ladrillo hueco gran formato de 7cm enlucida con 1 cm de yeso.

El montaje realizado se describe en la figura 15:

Los resultados de las mediciones realizadas se muestran en la tabla 2.

Comparando dichos resultados con los esperados al modelizar los recintos ensayados, se concluyó que la existencia de la cámara ventilada continua no tiene una incidencia notable en la transmisión de ruido entre recintos.

**RESULTADOS DEL PROYECTO. CONCLUSIONES.**

La fachada Structura tiene unas prestaciones superiores a las fachadas de dos hojas de ladrillo tradicionales debido a que las dos hojas que la forman están desconectadas.

De los ensayos de aislamiento acústico del sistema se ha obtenido un valor de RA, tr de 50 dBA, 3 decibelios más que las fachadas convencionales, lo que permite su uso en lugares más expuestos a la contaminación acústica.

La desconexión entre las hojas se rompe en los huecos, donde las carpinterías conectan inevitablemente las dos hojas de la fachada. Tras los ensayos de intensidad acústica realizados se puede concluir que es indiferente el sistema de fijación de la carpintería + albardilla + remates laterales (ya sea mediante unión rígida de las 2 hojas o mediante unión elástica de las mismas) puesto que no influye en las prestaciones acústicas finales del conjunto. Se aprecia que la parte acústicamente más debilitada es la propia carpintería, en concreto los marcos superiores, donde se encuentra el sistema de apertura para microventilación y el cierre de las hojas en el centro de la ventana.

La transmisión aérea indirecta a través de la cámara no afecta significativamente al aislamiento acústico a ruido aéreo y de impactos de los recintos colindantes.

La fachada Structura es la evolución lógica de las fachadas de dos hojas de fábrica, con ventajas desde el punto de vista mecánico, constructivas, higrotérmicas, estéticas y acústicas.

Valores de aislamiento a ruido aéreo	UNE EN ISO 717-1:1997	DB-HR (2009)
Parámetro evaluado	DnTW (100-5000)	DnTA
Fachada con elemento. Fijación estándar. Ventana cerrada	44 (0 ; -4) dB	43,5 dBA
Fachada con elemento. Fijación elástica. Ventana cerrada	44 (-1; -4) dB	43,2 dBA
Fachada sin elemento (ciega)	52 (0 ; -4) dB	52,1 dBA

Tabla 1. Valores obtenidos en los ensayos de aislamiento acústico

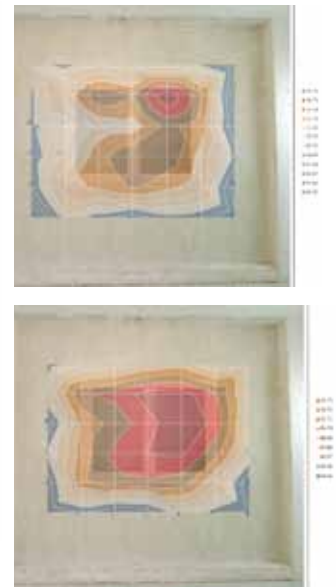


Figura 12. Comparativa curvas de aislamiento acústico en los montajes 1, 2 y fachada ciega  
 Figura 13. Mapa por intensimetría del ensayo del Montaje 1. Apoyo rígido (estándar) Resultado total  
 Figura 14. Mapa por intensimetría del ensayo del Montaje 2 : Apoyo elástico. Resultado total

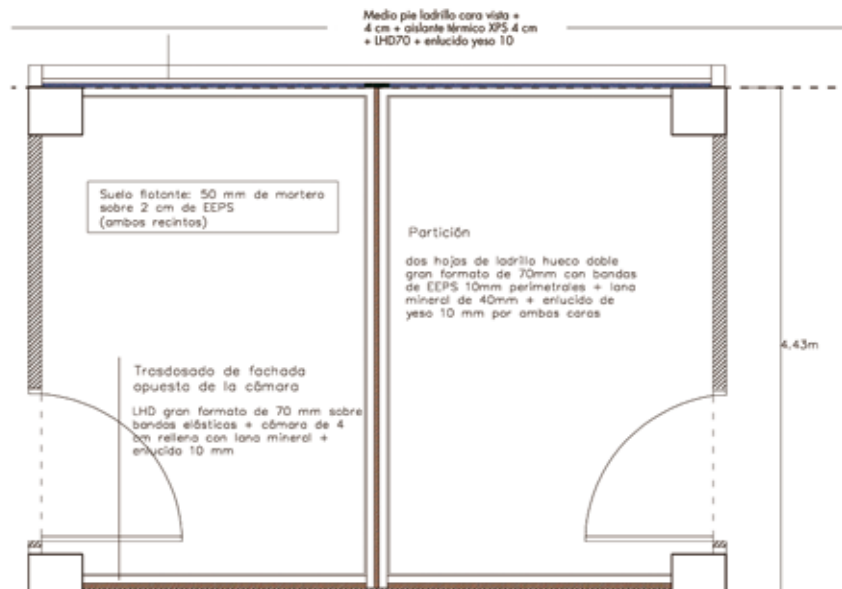


Figura 15. Vista en planta de los recintos ensayados.

Recintos colindantes horizontalmente	Recintos colindantes verticalmente	
Ruido aéreo	Ruido aéreo	Ruido de impactos
D <sub>nT,A</sub> = 53 dBA D <sub>nT,w</sub> (C,Ctr)=53,6 (-1,-5)	D <sub>nT,A</sub> = 58,6 dBA D <sub>nT,w</sub> (C,Ctr)=59,2 (0,-4)	L' <sub>nT,w</sub> =49,3 dB

Tabla 2. Valores obtenidos en los ensayos de aislamiento acústico

**“DISEÑO Y VALIDACIÓN DE NUEVOS PRODUCTOS CERÁMICOS, PARA REDUCIR LA TRANSMISIÓN DE RUIDO EN EL INTERIOR DE LOS EDIFICIOS”**

El proyecto se ha basado en la aplicación del efecto Helmholtz sobre una fábrica de piezas cerámicas de una sola hoja. En un modelo típico de aislamiento acústico de una fábrica, la curva de aislamiento acústico según las frecuencias sigue un patrón similar al que se observa en la figura siguiente.

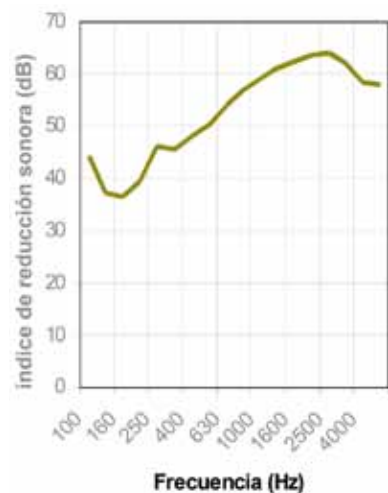
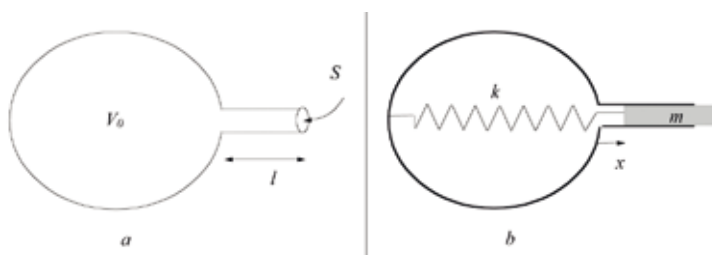


Gráfico típico de aislamiento

Este patrón tiene un punto mínimo alrededor de las frecuencias 160-250 Hz, llamado punto crítico. El objetivo del proyecto es aumentar el aislamiento acústico en esta zona. La zona del aislamiento acústico del punto crítico tiene especial importancia, por lo que unido al hecho de que resulta el aislamiento más bajo, la mejora en este punto resulta crucial para obtener un progreso cierto en el aislamiento general. Por tanto, los estudios preliminares se centran en obtener una curva tan uniforme como fuera posible.

**Concepto físico**

El resonador de Helmholtz, calculando los valores del sistema mecánico análogo, se basa en el movimiento interno que se produce en cada ciclo de la frecuencia objetivo. En este ciclo una cantidad de masa de aire entra por la perforación encontrando que el aire del interior actúa como amortiguador de la onda. Cuando la frecuencia de la onda que incide coincide con la onda del resonador, entonces se produce la anulación de esta.



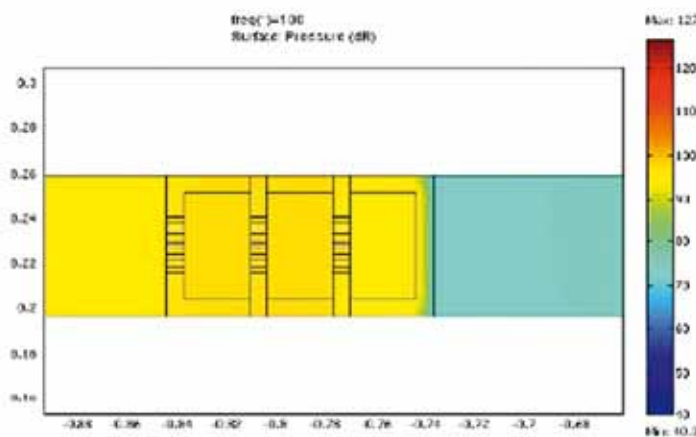
Oscilador acústico

Se decidió diseñar una nueva pieza cerámica para tabiquería interior del tipo ladrillo de gran formato que incorporara en su diseño de perforaciones estructuras tipo Resonador de Helmholtz. El filtro de cavidad, con su capacidad de absorber vibraciones de bajas frecuencias, en un rango de frecuencia muy selectivo, y utilizado en varias aplicaciones arquitectónicas, constituye, sin embargo, una novedosa línea de trabajo para la optimización de las propiedades acústicas de piezas de fábrica.

Haciendo un resumen sucinto, en nuestro planteamiento el uso del concepto del resonador de Helmholtz se basa en hacer coincidir la frecuencia de resonancia con la frecuencia crítica de estudio, situada en torno a los 200 Hz.

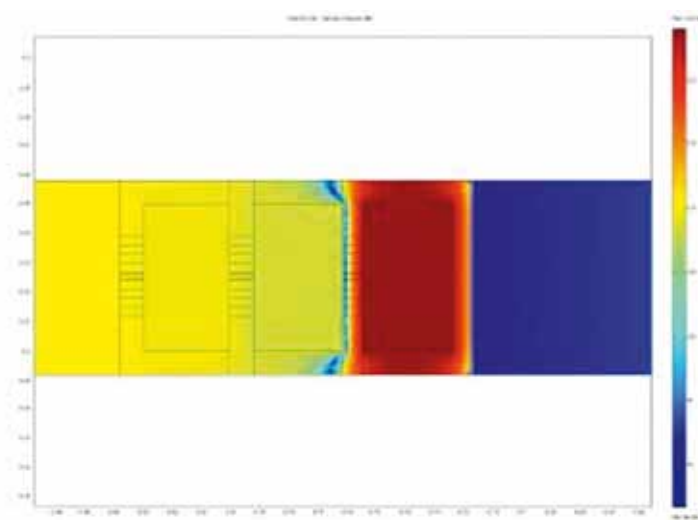
**Primer análisis con elementos finitos**

Cuando se realizan perforaciones físicas sobre una pieza real, las dimensiones no son exactas, sin embargo las simulaciones previas estudiadas incluyen una casuística muy amplia sobre formas de cavidades, y diámetros y posiciones de las perforaciones. Estas simulaciones están basadas en cálculos mediante elementos finitos, siguiendo la ley física de cambios de presión.



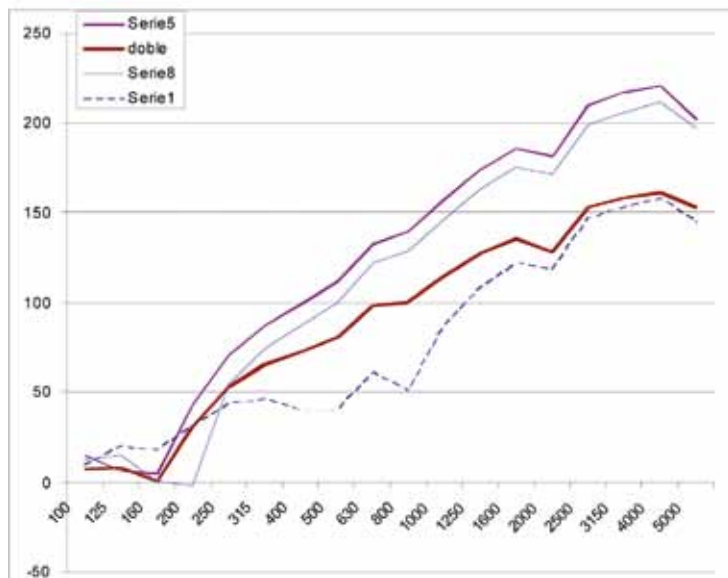
Análisis por elementos finitos

En la imagen superior se observa una disminución de la presión acústica relativamente gradual. Sin embargo cuando surge algún fenómeno de resonancia, como en el caso de la imagen inferior a 160 Hz, se produce un aumento inusitado de la presión en alguna de las cavidades, con el consiguiente aumento relativo de presión exterior.



Disminución de la presión acústica

La segunda dificultad es concerniente al plano teórico. El efecto Helmholtz planteado sobre una frecuencia en particular puede tener efectos no deseados en otras franjas. Es decir, las aperturas que mejoran el aislamiento en un punto en particular pueden empeorarlo en otro.



Efecto del resonador a diferentes frecuencias

De hecho, como se observa en la figura superior, según que configuraciones se utilice puede ser un efecto positivo en una zona, pero negativo para muchas otras, y puede que el resultado global no sea favorable. Esto obliga a un análisis en todo el rango de frecuencias para comprobar que la ponderación final mejora la misma situación sin perforaciones. En cualquier caso, las conclusiones que se sacaron de estos estudios solo tienen el objetivo de establecer la base de los ensayos físicos posteriores, porque hay que hacer hincapié en que el modelo simulado no coincidirá plenamente con la fabricación real.

#### Experimentos previos

En base a las consideraciones teóricas antes expuestas y considerando las dimensiones para la pieza, que en las primeras fases del proceso creativo se definieron como de 40 x 20 x 16 cm. Se efectuaron ciertas mediciones de comportamiento acústico en base a un ladrillo de gran formato existente en el mercado con dimensiones similares a las indicadas, en las que se analizó la influencia de un amplio rango de variables tales como diámetro y número de perforaciones en las cavidades resonantes. Se optó por el empleo de una minicámara, que aunque no estaba normalizada, permitió efectuar múltiples medidas de aislamiento acústico en probetas de dimensiones en torno a 80 x 80 cm de una manera mucho más rápida que en ensayos normalizados.

En las siguientes fotografías se muestran tanto la minicámara como las probetas que se midieron.



Distintos aspectos de la minicámara de ensayo y una de las probetas ensayadas

#### Formato de la nueva pieza

En base a los resultados de los experimentos previos y los fundamentos teóricos expuestos, el grupo de trabajo definió la sección longitudinal de la pieza, para proceder a la fabricación de la boquilla de extrusión, que se emplearía en la fase semiindustrial.



Pieza fabricada

Con respecto a las perforaciones, que actúan como cuello del resonador, se realizaron 10 perforaciones de 10 mm de diámetro, igualmente espaciadas a una distancia entre ellas de 30 mm y a 50 mm de los extremos, en el eje central longitudinal de cada una de las cuatro perforaciones externas, que son las que actúan como cavidad resonante.



Dispositivos para el perforado lateral de piezas y pieza final

La fabricación se llevó a cabo con las condiciones de moldeo, secado y cocción que se han indicado anteriormente. La única circunstancia digna de mención durante la producción, fue la asociada a la dificultad en el secado de unas piezas tan grandes como las que se fabricaron. Esta contingencia fue solventada adaptando las condiciones de secado hasta la obtención de resultados satisfactorios.

#### Caracterización acústica del material fabricado

Finalmente, se construyeron muros para realizar un total de seis ensayos de aislamiento acústico al ruido aéreo.

Se estudiaron tres tipos de muros:

- Pieza sin perforaciones laterales
- Pieza con perforaciones laterales
- Pieza con aditivos para aumentar la masa de la pieza

En los tres casos se estudió el aislamiento acústico con un enlucido por una cara y por las dos caras. A continuación, se muestran los gráficos y tablas de los respectivos ensayos.

**Pieza sin perforaciones**

**Enlucido a una cara**

Frecuencia (Hz)	R' (dB)
100	34,7
125	35,3
160	38,0
200	38,1
250	38,2
315	36,8
400	38,8
500	39,1
630	39,6
800	39,8
1000	38,9
1250	40,2
1600	40,3
2000	40,3
2500	39,1
3150	42,0
4000	47,1
5000	51,1
R <sub>w</sub>	40
R <sub>A</sub>	40,5

**Enlucido a dos caras**

Frecuencia (Hz)	R' (dB)
125	35,7
160	36,7
200	38,8
250	38,5
315	36,4
400	38,8
500	39,2
630	40,2
800	42,1
1000	40,1
1250	41,0
1600	42,9
2000	47,3
2500	46,5
3150	46,7
4000	52,5
5000	57,4
R <sub>w</sub>	42
R <sub>A</sub>	42,8

**Pieza con perforaciones**

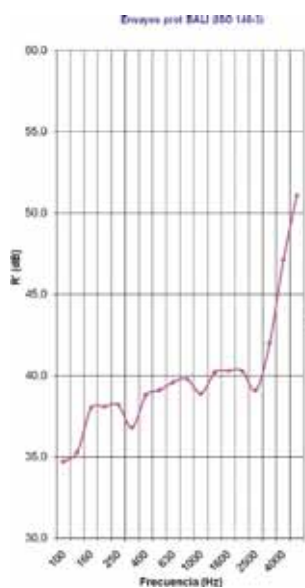
**Enlucido a una cara**

Frecuencia (Hz)	R' (dB)
100	37,0
125	35,7
160	36,7
200	38,8
250	38,5
315	36,4
400	38,8
500	39,2
630	40,2
800	42,1
1000	40,1
1250	41,0
1600	42,9
2000	47,3
2500	46,5
3150	46,7
4000	52,5
5000	57,4
R <sub>w</sub>	42
R <sub>A</sub>	42,8

**Enlucido a dos caras**

Frecuencia (Hz)	R' (dB)
100	35,4
125	34,5
160	38,6
200	39,4
250	37,7
315	37,6
400	38,8
500	39,7
630	40,6
800	41,7
1000	42,8
1250	43,4
1600	45,3
2000	47,3
2500	46,3
3150	50,4
4000	55,4
5000	58,7
R <sub>w</sub>	43
R <sub>A</sub>	43,9

Aislamiento pieza Sin perf 1C



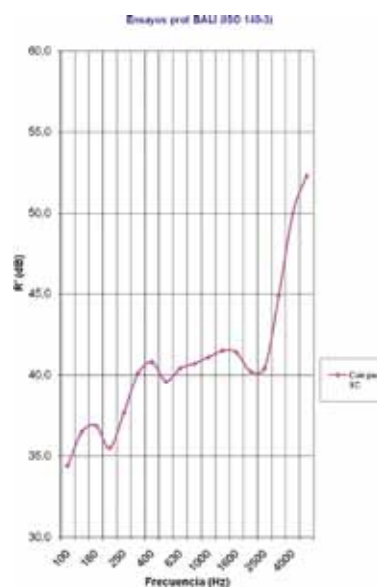
Espectro pieza Sin perf 1C

Aislamiento pieza Sin perf 2C



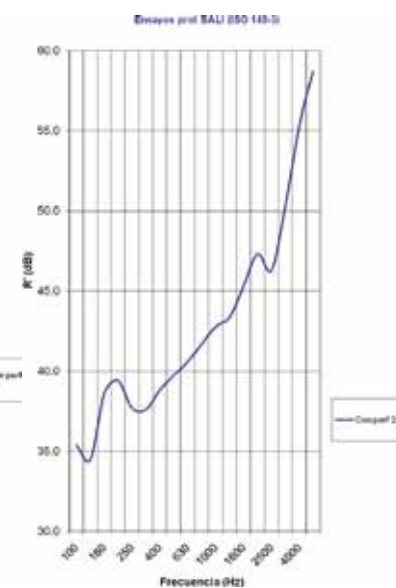
Espectro pieza Sin perf 2C

Aislamiento pieza Sin perf 1C



Espectro pieza Sin perf 1C

Aislamiento pieza Sin perf 2C



Espectro pieza Sin perf 2C



## Ladrillo denso

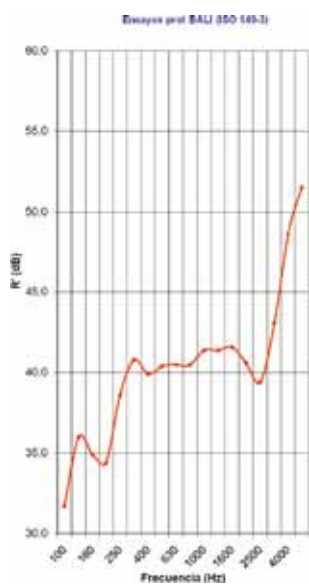
### Enlucido a una cara

Frecuencia (Hz)	R' (dB)	Frecuencia (Hz)	R' (dB)
100	31,7	100	33,1
125	36,0	125	35,8
160	34,9	160	36,6
200	34,4	200	38,2
250	38,6	250	39,5
315	40,8	315	38,0
400	39,9	400	39,4
500	40,4	500	38,6
630	40,5	630	40,2
800	40,5	800	41,8
1000	41,4	1000	42,4
1250	41,4	1250	43,8
1600	41,6	1600	45,3
2000	40,6	2000	47,6
2500	39,4	2500	45,9
3150	43,1		
4000	48,6	4000	53,5
5000	51,5	5000	58,0
R <sub>w</sub>	41	R <sub>w</sub>	43,7
R <sub>A</sub>	41,4	R <sub>A</sub>	43,7

Aislamiento pieza Sin perf 1C

### Enlucido a dos caras

Aislamiento pieza Sin perf 2C



Espectro pieza Sin perf 1C



Espectro pieza Sin perf 2C

## RESUMEN

En la siguiente tabla se muestran global y resumidamente los resultados obtenidos.

Parámetro	Sin perforaciones Enlucido a 1 cara	Sin perforaciones Enlucido a 2 caras	Con perforaciones Enlucido a 1 cara	Con perforaciones Enlucido a 2 caras	Denso 1C	Denso 2C
R <sub>w</sub>	40	42	41	43	41	43
R <sub>A</sub>	40,5	42,8	41,7	43,9	41,4	43,7

## RESUMEN DE RESULTADOS

En primer lugar se ha comprobado que el diseño de los huecos interiores influye de manera notable en el aislamiento acústico de la fábrica. Se ha obtenido una gráfica inusualmente plana de aislamiento en los diversos tipos de frecuencias, dando a lugar a un aislamiento similar en un amplio margen de frecuencias. El aislamiento de la fábrica sin perforaciones ha sido sensiblemente más alto que una de similares características.

En segundo lugar, se ha comprobado que el uso de efecto Helmholtz, incluso con la entrada tapada de yeso, tiene una influencia aprovechable.

En tercer lugar, es bastante llamativo comprobar que estos efectos pueden tener una influencia mayor que un aumento notable de masa de la propia fábrica. Queda por averiguar el alcance de estas medidas en muros de doble hoja, lo cual no estaba contemplado como objetivo en el proyecto.

The BALI project on Acoustically Efficient and Healthy Systems and Buildings is one of the unique strategic projects in the National Scientific Research, Development and Technological Innovation Plan (R+D+i 2008-2011). The objective of the project is the research and development of new high-performance acoustic products and systems for direct and specific application in building construction and design. Achieving acoustic comfort in building interiors is the overall objective of the project, given the proven harmful effects of noise on our health.

The BALI project has defined a number of specific objectives which have been divided into subprojects and in which Hispalyt participated with the following initiatives:

Subproject SP2: "R+D of Materials, Products and Systems for the Opaque Envelope of Acoustically Healthy Buildings": "Analysis and improvement of the acoustic behaviour of the Structura fair-faced brick construction system" developed with the Eduardo Torroja Institute for Construction Science.

When studying this subject, different assemblies were tested in the laboratory in order to discover, through comparison, what patterns or elements affect insulation, and how, so that the influence of their union with the carpentry could be determined.

Results of the project. Conclusions.

The Structura façade is superior in performance to traditional double brick façades because the two brick frames or not connected.

Acoustic insulation tests of the system yielded a R<sub>A</sub> of 50 dBA, 3 decibels higher than in conventional façades, which enables its use in areas that are more exposed to noise pollution.

The brick frames are connected in the cavities, where the joinery will inevitably unite the two walls of the façade. After conducting acoustic intensity tests, it can be concluded that the joinery + capstone + end cap mounting system (whether the two frames are joined using rigid or elastic joints) is irrelevant as it does not influence the final acoustic performance of the whole. Indirect airborne transmission through the cavity does not significantly affect the performance of acoustic insulation when exposed to airborne noise or impacts from neighbouring grounds.

Subproject SP5: "R+D of Interior Architectural Materials, Products and Systems with the aim of reducing Airborne Transmission and Impact": "Design and validation of new ceramic products to reduce the transmission of noise inside buildings", developed with the AITEMIN technology centre.

The project was based on the application of the Helmholtz effect to a single layer of ceramic pieces. The acoustic insulation pattern of a brick has a trough somewhere between a frequency of 160-250 Hz, called the critical point. The objective of the project is to increase the acoustic insulation in this area. The acoustic insulation area of the critical point is of particular importance because, being the lowest insulation, any improvements in this point will enable some progress in the enhancement of the overall insulation.

Results summary

Firstly, it was found that the design of the interior cavities has a considerable impact on the acoustic insulation of the brickwork. In the graph, the insulation line was unusually flat at different types of frequencies, giving rise to similar insulation at a wide range of frequencies. The insulation of non-perforated brick was appreciably higher than bricks of similar characteristics.

Secondly, it was found that the use of the Helmholtz effect, even when the entrance is covered with plaster, has an exploitable influence. Thirdly, to our surprise, we found that these effects can have a greater impact than substantially increasing the mass of the brickwork.

