



Seminario

Rehabilitación Acústica en la Edificación

Soluciones y casos prácticos

Seminario Satélite TECNIACÚSTICA 2011 Cáceres

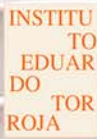
25 de Octubre de 2011

Organizan



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO



Esta publicación recoge las ponencias presentadas en el Seminario satélite al Congreso TECNIAÚSTICA 2011 CÁCERES "Rehabilitación Acústica en la Edificación. Soluciones y casos prácticos".

El seminario está organizado por la Secretaría de Estado de Vivienda y Actuaciones Urbanas del Ministerio de Fomento, la Sociedad Española de Acústica -SEA-, la Asociación Española para la Calidad Acústica -AECOR-, el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja CSIC, el Laboratorio de Acústica de la Universidad de Extremadura e INTROMAC.

COMITÉ TÉCNICO DE LA JORNADA:

Luis Vega Catalán, Ana Delgado Portela. Secretaría de Estado de Vivienda y Actuaciones Urbanas. Ministerio de Fomento

Antonio Pérez López, Antonio Calvo Manzano. Sociedad Española de Acústica.

José Antonio Tenorio Ríos, M^a Teresa Carrascal García, Amelia Romero Fernández. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja

Julián Domínguez Huerta; Juan Frías Pierrard. AECOR

Juan Miguel Barrigón Morillas, Valentín Gómez Escobar. Laboratorio de Acústica de la Universidad de Extremadura

José María Ávila Macías, Manuel Martín Castizo. INTROMAC

DIRECCIÓN Y COORDINACIÓN

Ana Delgado Portela.

Secretaría de Estado de Vivienda y Actuaciones Urbanas. Ministerio de Fomento.

Sociedad Española de Acústica.

M^a Teresa Carrascal García

Belén Casla Herguedas

Unidad de Calidad en la Edificación

Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja

Primera Edición, octubre 2011.

ISBN 978-84-87985-21-8

© de los textos: Los autores

Presentación

A raíz de la obligatoriedad de aplicación del Documento Básico de Protección frente al ruido, del Código Técnico de la Edificación, desde el 24 de abril de 2009, han sido muchas las indicaciones, en el ámbito de la edificación, sobre la importancia que supone abordar el tratamiento acústico de los edificios que van a ser sometidos a una rehabilitación o en los que van a hacerse actuaciones tendentes a mejorar su confort.

Es evidente que el conjunto inmobiliario de nuestras ciudades, además de precisar de un mantenimiento, en muchas ocasiones, necesita reparaciones, adaptaciones o reestructuraciones de cierta envergadura. En este sentido, al abordar la rehabilitación de un edificio, no se trataría de hacer una simple reposición al estado inicial del mismo, sino de repararlo introduciendo las mejoras necesarias en todos los aspectos, seguridad, habitabilidad y funcionalidad.

El objeto del seminario es presentar las modificaciones que pueden introducirse en la rehabilitación de los edificios para mejorar sus condiciones acústicas, teniendo en cuenta los puntos de vista de la Administración, los organismos y entidades colaboradoras con la misma, los técnicos implicados y el sector de la edificación.

El carácter del seminario es esencialmente didáctico y se trata de transmitir al sector en general, y particularmente a los técnicos, la idea de que, aun no siendo obligatoria la reglamentación acústica existente – DB HR – en obras de rehabilitación, excepto cuando se trata de rehabilitación integral, siempre que se realice alguna actuación en un edificio existente pueden mejorarse las condiciones acústicas de éste, proporcionándole más confort acústico tal y como está demandando la sociedad actualmente.

En primer lugar, la Administración y sus colaboradores han expuesto, de una forma generalizada, la importancia de que en la rehabilitación de los edificios se consideren todos los aspectos acústicos que influyen en la mejora de los mismos, desde la fase de proyecto hasta la de ejecución, indicando los diferentes niveles de intervención posibles y los tratamientos, tanto de los elementos constructivos, como de las uniones entre ellos, considerando las soluciones del conjunto del edificio.

Los fabricantes de productos en general y los de materiales aislantes han explicado las soluciones técnicas concretas para cumplir el objetivo perseguido, de manera que se posibilite la consecución del fin perseguido, y que se inculque, principalmente a los técnicos, la idea de que pueden hacerse bastantes cosas para optimizar las soluciones acústicas dentro de lo económicamente razonable.

Además, se han mostrado algunos de los casos prácticos que ya existen, presentados por compañeros que han explicado las diferentes situaciones que se han encontrado en edificios ya construidos y las actuaciones que se han llevado a cabo en ellos de cara a mejorar sus condiciones acústicas.

Por último, se ha celebrado una Mesa redonda, moderada por Julián Domínguez Huerta, de AECOR, en la que han participado Luis Vega, de la Secretaría de Estado de Vivienda y Actuaciones Urbanas del Ministerio de Fomento; Esther Gamero, de la Junta de Extremadura; Rocío Clemente, del Colegio Oficial de Arquitectos de Cáceres; Francisco Galán, del Colegio Oficial de Aparejadores, Arquitectos Técnicos e Ingenieros de la Edificación de Cáceres; Ana Delgado, de la Sociedad Española de Acústica; Juan Frías, de la Asociación Española para la Calidad Acústica, José Antonio Tenorio, del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, José Luis Pedrera, del Laboratorio de Acústica de la Universidad de Extremadura y Manuel Martín, de INTROMAC.

1	Intervención acústica en edificios existentes	5
	Luis Vega Catalán; Ana Delgado Portela. Secretaría de Estado de Vivienda y Actuaciones Urbanas. Ministerio de Fomento.	
2	La rehabilitación en proyecto	12
	M ^a Teresa Carrascal García; Amelia Romero Fernández; Belén Casla Herguedas. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. CSIC.	
3	Ejecución y puesta en obra en las actuaciones de rehabilitación	35
	Julián Domínguez Huerta; Juan Frías Pierrard. Aecor - Asociación Española para la Calidad Acústica.	
4	Soluciones constructivas para rehabilitación acústica	
4.1	Soluciones con productos multicapa y espumas de PE para la Rehabilitación Acústica	63
	José Angel Gamallo Pinel. AECOR – Asociación Española para la Calidad Acústica.	
4.2	Soluciones con lanas minerales	72
	Fernando Peinado Hernández; Carlos Rodero Antúnez. AFELMA - Asociación de fabricantes españoles de lanas minerales aislantes.	
4.3	Soluciones que aportan mejoras acústicas en rehabilitación	83
	Yago Massó Moreu. ANDIMAT - Asociación Nacional de Fabricantes de Materiales Aislantes.	
4.4	Criterios de mejora acústica de cerramientos de huecos en las actuaciones de rehabilitación.	91
	Inés Gómez Arroyo; Pablo Martín Hernanz; Miguel Mateos Vizuite. ASEFAVE. Asociación Española de Fabricantes de Fachadas Ligeras y Ventanas. Tecnalia Research & Innovation.	
4.5	Rehabilitación acústica de viviendas con sistemas de placa de yeso laminado	105
	Joan Recasens Cortina; Alberto Calvo Jerónimo. ATEDY – Asociación de Fabricantes de Yeso. Sección PYL.	
4.6	Soluciones cerámicas para la rehabilitación acústica	113
	Elena Santiago Monedero; Ana Ribas Sangüesa; José Luis Valenciano Estévez HISPALYT - Asociación Española de Fabricantes de Ladrillos y Tejas de Arcilla Cocida.	

5	Casos prácticos de rehabilitación de edificios	
5.1	Rehabilitación acústica a ruido exterior en vivienda social: un caso práctico	126
	Rafael Suárez Medina. Instituto Universitario de Arquitectura y Ciencias de la Construcción. Universidad de Sevilla.	
5.2	Rehabilitación acústica: mejora continua	140
	Xavier Ventura. Grupo Restaura.	
5.3	Proyecto de rehabilitación acústica de la Antigua Real Fábrica de Tabacos de Sevilla	153
	Teófilo Zamarreño; J.J. Sendra; M. Galindo; A.L. León; C. Ramírez-Balas; A. Alonso. Instituto Universitario de Arquitectura y Ciencias de la Construcción, E. T. S. de Arquitectura, Universidad de Sevilla.	

1. Intervención acústica en edificios existentes

Luís Vega Catalán; Ana Delgado Portela.
Secretaría de Estado de Vivienda y Actuaciones Urbanas. Ministerio de Fomento
lvega@fomento.es; adelgadop@fomento.es.

1. INTRODUCCIÓN

La aplicación de la reglamentación en el ámbito de la rehabilitación es una problemática difícil, que preocupa a todos los técnicos. Cómo alcanzar los niveles de prestación demandados socialmente y recogidos en la reglamentación cuando se opera sobre edificios existentes, salvaguardando la seguridad jurídica de los diferentes agentes es un problema que requiere de un amplio debate.

Se reconoce, por una parte, la imposibilidad en algunos casos de alcanzar el nivel exigencial del CTE con medidas alternativas, por ello se habla de “la mayor adecuación posible” y no de “compensación”. Por otra parte, se establece la necesidad de dejar constancia del nivel de prestación alcanzado.

En este sentido ya se han iniciado una serie actuaciones, tanto por parte del Ministerio como de otros agentes que demuestran la preocupación por este tema. Dichas iniciativas deberían tener un tratamiento homogéneo, pues en todos estos casos el problema es análogo: cómo establecer niveles de adecuación al CTE racionales cuando existen condiciones específicas que impiden alcanzar los niveles establecidos por el CTE con carácter general.

Por lo tanto, el objetivo básico en la intervención sobre edificios existentes es mejorar las prestaciones iniciales del edificio para adecuarlo en la medida de lo posible a las necesidades del usuario (individuales y colectivas), sin menoscabar en cualquier caso las condiciones preexistentes. En este tipo de intervenciones no es posible establecer una exigencia de carácter universal, pues de las características específicas de cada intervención se deriva un determinado nivel de adecuación razonable, técnica y económicamente viable, y respetuoso con el valor arquitectónico y patrimonial del edificio (véase figura 1).

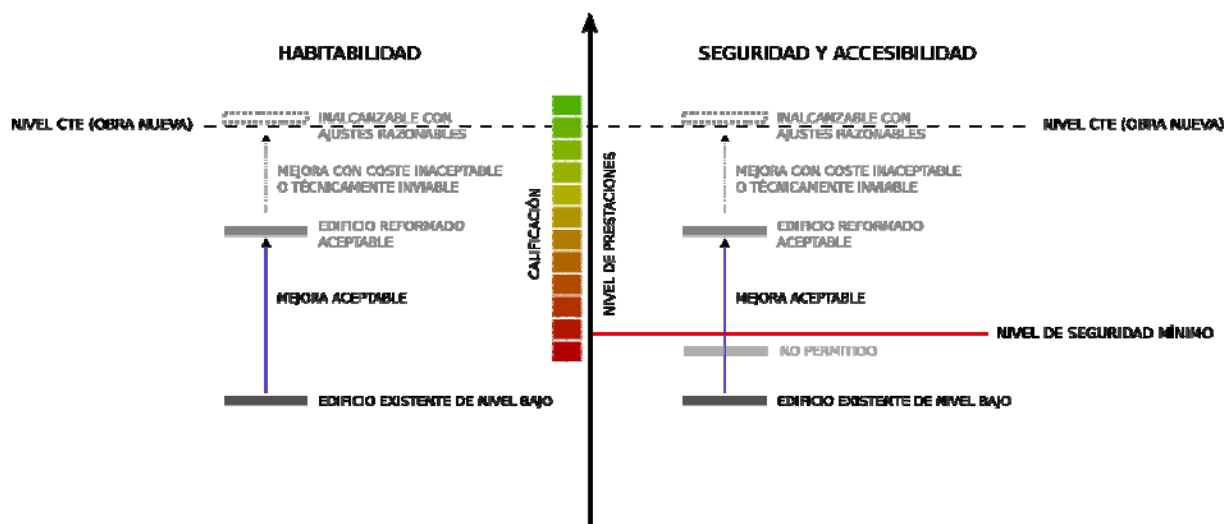
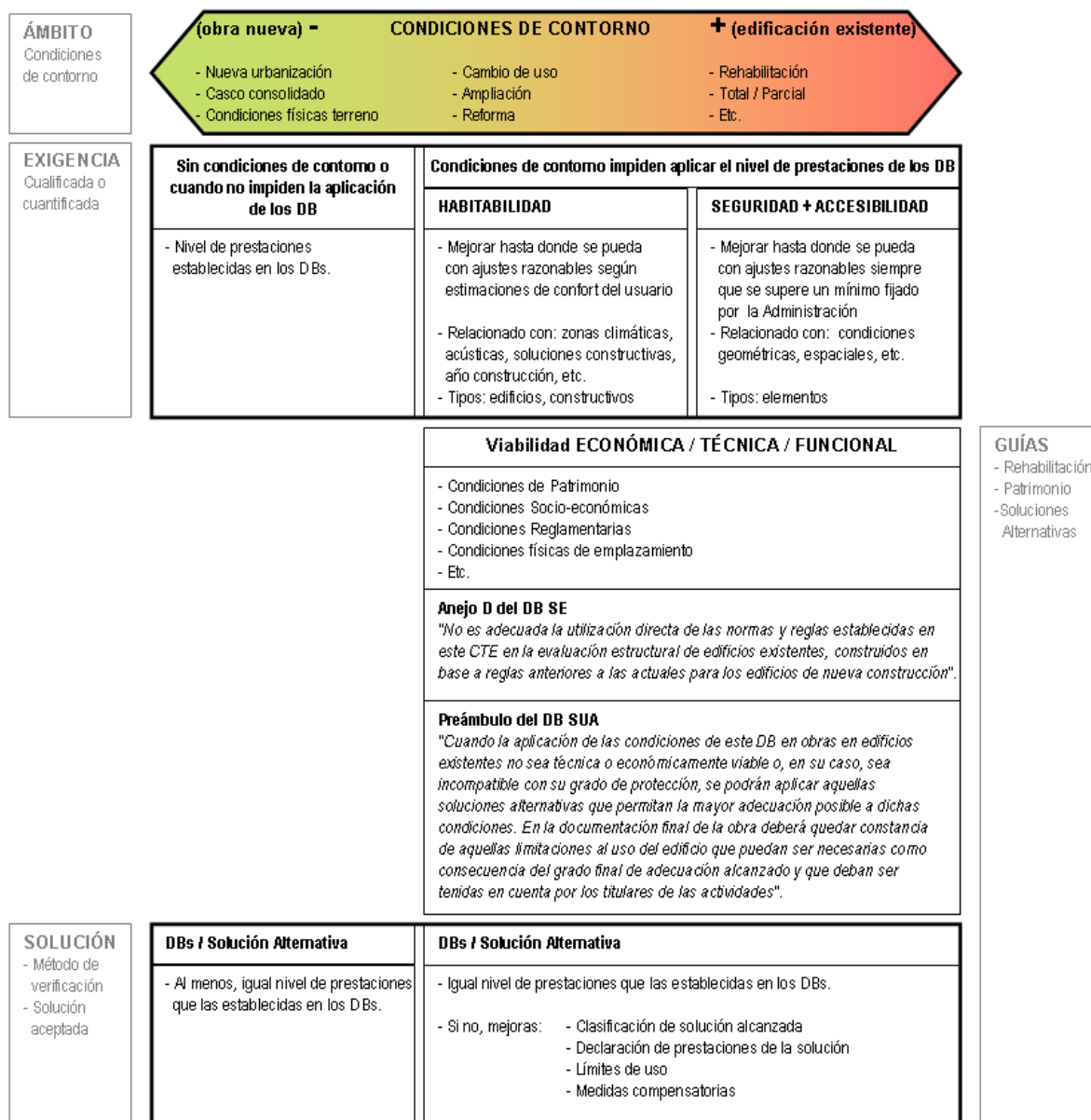


Figura 1: Concepto de mejora aceptable

2. MAYOR ADECUACIÓN POSIBLE Y PROPORCIONALIDAD AL GRADO DE LA INTERVENCIÓN

Las características del entorno sobre el que se interviene son muy diversas. Incluyen desde edificios muy protegidos donde las condiciones para la intervención están muy limitadas hasta edificios donde la aplicación del CTE no presenta graves problemas como la obra nueva, con toda una serie de situaciones intermedias posibles (véase figura 2).

**Figura 2: Características de entorno**

Si se plantea reducir los niveles de exigencia actuales para adecuarlos a las intervenciones en edificios existentes no se soluciona el problema. La falta de homogeneidad inherente a la edificación existente dificulta la definición de un nivel de exigencia único y universal. Un nivel de exigencia que puede resultar proporcionado en algunos casos, resultará inviable, por cuestiones técnicas, económicas o arquitectónicas en otros. Fijarlo en un nivel alto supondría dificultades insoslayables en algunos casos, pero fijarlo en la banda baja implicaría niveles de mejora escasos en otras tantas situaciones. Todo ello obliga a introducir criterios de flexibilidad acordes con las características específicas del edificio y tipo de intervención.

Conviene establecer un doble sistema, que fije con carácter general perseguir el nivel del CTE (pero de forma proporcionada al nivel de intervención) para la generalidad de los casos, e introducir de forma

explícita una cláusula de “salvaguarda” que permita al técnico, adecuar la mejora del edificio a las condiciones específicas del caso concreto.

Es necesario precisar y clasificar los diferentes tipos de intervención que pueden realizarse sobre edificios existentes, para poder definir con mayor criterio lo que conllevaría la aplicación del CTE en cada caso, diferenciando en qué casos o sobre qué elementos debe plantearse el objetivo de adaptación al CTE y en cuáles lo razonable (proporcionado a la intervención) es obligar exclusivamente a mantener el nivel de prestaciones preexistentes. Todo ello, sin menoscabo de que, obviamente, la intervención pueda plantearse de forma voluntaria, la mejora de prestaciones sobre lo establecido de forma obligatoria, lo que podría fomentarse con una política de ayudas dirigida adecuadamente.

Por lo tanto, la mayor adecuación posible y el grado de proporcionalidad de la intervención deben definirse en función de:

- **Las características específicas del edificio**
Uso, Valor patrimonial
- **La posibilidad técnica, económica y funcional**
- **El tipo y nivel de intervención**
Reforma, ampliación, Cambio de uso

3. ESTRUCTURA

Asimismo, es importante destacar que el criterio o criterios específicos de aplicación en cada tipo de intervención, no tiene porque ser igual y homogéneo en todos los requisitos o exigencias. Sería necesario establecer en forma piramidal los criterios particulares, sobre la base de los definidos como más generales en escalones superiores (véase figura 3).

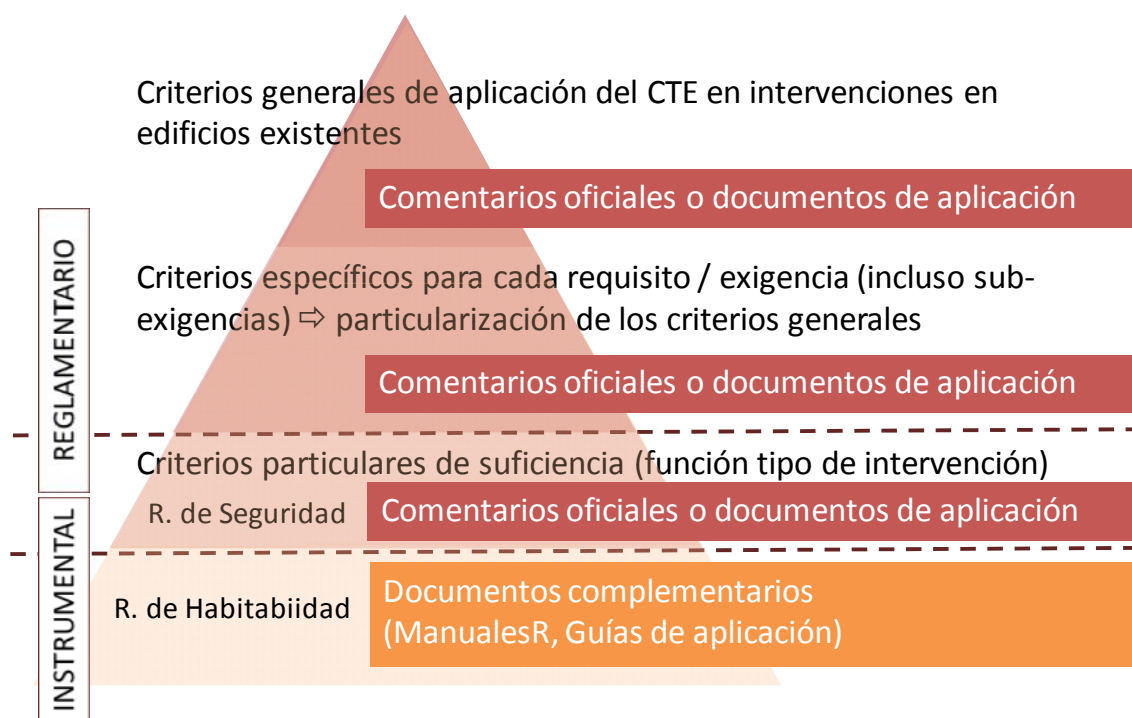


Figura 3: Estructura piramidal

4. TIPO DE INTERVENCIÓN Y CRITERIOS GENERALES DE APLICACIÓN DEL CTE A EDIFICIOS EXISTENTES

Bajo el término de rehabilitación podrían englobarse un amplio conjunto de intervenciones cuyos objetivos, características y condicionantes son sensiblemente diferentes, siendo igualmente diferentes la forma en que debe entenderse la obligatoriedad de aplicación del CTE y de las diferentes exigencias básicas.

El CTE, en su Parte I y en muchos de los DB que conforman la Parte II, utiliza una serie de términos como ampliación, modificación, reforma o rehabilitación (Parte I, art. 2. (3)), que no se definen explícitamente y que se tratan de forma conjunta, sin matices ni diferenciación, en cuanto a la obligación de aplicación del CTE:

Lo que se persigue es la mejora de los edificios, por lo que lo esencial cuando se trata de intervenir en edificios existentes es que en ningún caso se reduzcan las condiciones de seguridad y habitabilidad que el edificio aporta antes de la intervención, independientemente de si estas son menores de lo que se exige en la actualidad.

Parece lógico pensar que en ampliaciones la parte ampliada debe cumplir como si se tratara de una obra nueva. Esto puede conllevar además algunas adaptaciones de la parte existente cuando sea necesario para asegurar el cumplimiento de la ampliación, como es el caso, por ejemplo, de los recorridos de evacuación o itinerarios accesibles hasta la vía pública

Respecto al cambio de uso es necesario cambiar el concepto que se ha manejado hasta el momento. Hasta ahora se entendía por cambio de uso, fórmula heredada de los documentos de protección contra incendios, al cambio entre alguno de los usos definidos para este requisito. Sin embargo, este enfoque del riesgo ligado al incendio no resulta adecuado cuando se introducen el resto de requisitos. En este nuevo enfoque debe entenderse por cambio de uso, respecto de un requisito aquel que modifica el perfil de uso (o riesgo) de dicho requisito, lo que implica que una misma intervención puede considerarse que altera el uso respecto de algunos requisitos y no respecto a otros.

Para cambios de uso, tratados individualmente para cada requisito como ya se ha comentado, en general también debe perseguirse el cumplimiento total del CTE. Sin embargo en este caso, se podrían admitir soluciones que no alcancen el umbral del CTE cuando el cambio que se produce es a una situación menos exigente que la anterior.

Cuando hablamos de reformas, el objetivo debe ser la adecuación proporcional al nivel de intervención y la flexibilidad para alcanzar este objetivo debe ser mayor que en el resto de intervenciones. Por ejemplo, cuando la adaptación no sea técnica o económicamente viable o sea incompatible con el grado de protección puede buscarse el mayor grado de adecuación posible. Por ejemplo, está claro que los elementos o productos que se modifiquen sustancialmente, sustituyan a uno existente o se incorporen nuevos, deberían cumplir las prestaciones que aportan individualmente. Se entiende que cuando la contribución de ese elemento sea mínima o nula para alcanzar la prestación, no se le exija el cumplimiento. Por ejemplo, si se actúa sobre la parte opaca de una fachada, el incremento de aislamiento acústico que se se puede conseguir será siempre muy reducido, a menos que se mejore la ventana que es el elemento débil y por lo tanto el más influyente en el comportamiento global de la fachada.

El resto de elementos del edificio en general pueden mantenerse. Habrá lógicamente algunas excepciones, por ejemplo en los casos que la administración considere especialmente peligrosos, cuando se considere necesario por otros motivos, tales como sostenibilidad, accesibilidad u otros beneficios sociales tutelados por las administraciones, cuando la envergadura de la obra sea importante, etc.

Cuando no se alcancen los niveles de prestación establecidos en el CTE es importante que se deje constancia de ello, así como cuando esta falta de adecuación implica condicionantes de uso y mantenimiento que haya que tener en cuenta.

También será necesario considerar y validar aquellas soluciones tradicionales que hayan demostrado un comportamiento adecuado en situaciones determinadas frente a ciertas exigencias, avaladas por la práctica y que no reciben un tratamiento adecuado en los modelos de comportamiento desarrollados para otros tipos de soluciones. Por ejemplo, si un edificio no presenta humedades puede considerarse cumplida la prestación de protección frente a la humedad aunque no se haya resuelto constructivamente según el CTE.

5. NIVELES DE INTERVENCIÓN DB HR

Las intervenciones en edificios existentes comprenden un amplio conjunto de actuaciones cuyos objetivos, características y condicionantes son sensiblemente diferentes y abarcan desde las simples

operaciones de mantenimiento, hasta las ampliaciones o rehabilitaciones integrales. En este contexto, se está revisando el Código Técnico para establecer los criterios generales de aplicación del CTE y particularizar los principios generales de aplicación de cada una de las exigencias básicas.

En lo que corresponde al documento básico DB HR Protección frente al ruido, parece lógico que se distinga entre las actuaciones de reforma, ampliación y cambio de uso.

En líneas generales, cuando se trate de realizar una ampliación, la parte ampliada del edificio debe cumplir las exigencias de protección frente al ruido del DB HR como si se tratara de una obra nueva.

En el caso de un cambio de uso, en el que el nuevo uso genere unos niveles de ruido superiores al existente, parece lógico que la actuación comprenda aquellas obras de mejora cuyo fin sea proteger de los nuevos niveles generados en los recintos sensibles colindantes.

Del mismo modo, si el cambio de uso supone un paso a un nivel de exigencia análogo o menor, no se considerará cambio de uso.

El caso de las reformas es el más complejo porque abarca desde la rehabilitación integral, en las que deben aplicarse las exigencias del DB HR, a obras en las que se modifica uno o varios elementos constructivos de un edificio y cuya repercusión en las prestaciones acústicas finales puede ser escasa.

En estos casos, el objetivo básico de las reformas debe ser mejorar las prestaciones iniciales del edificio para adecuarlo en la medida de lo posible a las necesidades del usuario (individuales y colectivas), sin menoscabar en cualquier caso las condiciones preexistentes.

Por ejemplo, si se cierra una terraza y este espacio se convierte en un recinto protegido, se aplicarán las exigencias que puedan cumplir los elementos constructivos de forma individual, es decir, las ventanas tendrán unas características acústicas para cumplir, teniendo en cuenta la parte ciega de la fachada, las exigencias a ruido exterior. En la mayoría de las reformas no es necesario actuar sobre la parte ciega, si hubiera que hacerlo y fuera inviable, se debería adecuar la envolvente al mayor grado de adecuación posible.

Del mismo modo, si se realizan cambios de distribución o configuración de espacios que afecten a distintas unidades de uso, deberían ceñirse al mayor grado de adecuación posible dentro de la posibilidad técnica, económica y funcional.

A veces el cumplimiento de los niveles de aislamiento del CTE no es técnica o económicamente viable, en tales casos, es razonable que se persiga una adecuación proporcional al nivel de exigencia y se permita adoptar un criterio de flexibilidad en la intervención.

Por esta razón, cuando se trate de una intervención en la que se haya aplicado el criterio de adecuación proporcional, no sería obligatorio dejar constancia de los niveles de protección frente al ruido alcanzados y por tanto, las mediciones in situ no podrían utilizarse como método de verificación del cumplimiento de las exigencias de aislamiento acústico.

2. La rehabilitación en proyecto

M^a Teresa Carrascal García; Amelia Romero Fernández; Belén Casla Herguedas.
Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. CSIC
tcarrascal@ietcc.csic.es; aromero@ietcc.csic.es; belench@ietcc.csic.es

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de esta ponencia es dar una serie de criterios de cómo mejorar el aislamiento acústico en los edificios existentes y orientar a los proyectistas sobre los niveles de aislamiento que pueden obtenerse según el tipo de intervención.

La situación económica actual es muy desfavorable para el sector de la construcción, y en especial para el de la vivienda, ya que el stock de vivienda nueva existente y la fuerte disminución de la demanda, han provocado una actividad mínima histórica en la construcción de nuevas viviendas. En este escenario, se ha incrementado el segmento del mercado de la rehabilitación frente a la nueva edificación residencial, fundamentado en los Planes de Ayudas para la Rehabilitación de las Administraciones.

La reglamentación actual sobre condiciones acústicas, el DB HR Protección frente al ruido es de obligado cumplimiento únicamente para las obras de rehabilitación integral, lo que supone que en gran parte de las intervenciones que se realizan en edificios existentes no se adoptan soluciones encaminadas a aumentar la calidad acústica de los edificios que habitamos.

Sin embargo, cada obra de rehabilitación es una oportunidad de mejorar las deficientes condiciones acústicas de los edificios dentro de lo viable técnica y económicamente, a pesar de que puede que no se lleguen a alcanzar los niveles exigidos en el DB HR.

2. NIVELES DE INTERVENCIÓN

Las intervenciones en edificios existentes comprenden un amplio conjunto de actuaciones de distinto nivel, desde las operaciones de mantenimiento del edificio, hasta las ampliaciones o rehabilitaciones integrales.

Independientemente de lo que especifica el DB HR, que sólo es aplicable en el caso de reforma integral, parece lógico que el proyecto de arquitectura se aborde de forma diferente, según el nivel de la intervención y si es posible, es deseable la mejora de las deficientes condiciones acústicas del parque de viviendas existente.

Por nivel de intervención se entiende el tipo y alcance de la intervención arquitectónica, distinguiendo entre: Ampliación, cambio de uso y reforma.

Las ampliaciones no dejan de ser asimilables a una obra nueva, en la que se debe perseguir que la parte ampliada tenga las mismas prestaciones, incluidas las acústicas, que una construcción de obra nueva.

En el caso de un cambio de uso, en el que el nuevo uso genere unos niveles de ruido superiores al existente, la actuación tendría que comprender aquellas obras de mejora cuyo fin sea proteger los recintos sensibles de los nuevos niveles generados.

Las reformas son el caso más complejo porque abarcan obras de diversa naturaleza, desde la rehabilitación integral, en la que parece lógico que se apliquen las exigencias del DB HR, a obras en las que se modifica uno o varios elementos constructivos de un edificio y cuya repercusión en las prestaciones acústicas finales puede ser escasa. Siempre que sea técnica y económicamente viable, la reforma debería perseguir mejorar las prestaciones iniciales del edificio para adecuarlo en la medida de lo posible a las necesidades del usuario (individuales y colectivas).

3. ACTUACIONES Y GRADOS DE MEJORA

En el proyecto de rehabilitación hay tres factores importantes de cara a la obtención de unos niveles de aislamiento acústico adecuados a los usuarios.

- **La planificación de los espacios.** Es primordial la ubicación de los recintos sensibles al ruido alejados de los recintos más ruidosos como cuartos húmedos, cocinas, recintos de instalaciones o locales comerciales. Esto no siempre es posible, ya que en muchos casos la distribución de los espacios ya está determinada por el estado del edificio existente, sin embargo, cuando sea posible, esta la mejor manera de evitar quejas de los usuarios.

- **El tipo de elementos constructivos existentes.** El aislamiento acústico entre recintos depende en gran medida de los elementos constructivos de separación entre recintos, sin embargo, a veces no es suficiente con proyectar un elemento constructivo muy aislante entre dos recintos, siendo las uniones entre unos elementos y otros igualmente importantes. Por ello, deben considerarse las uniones entre los elementos constructivos que forman los recintos, especialmente la fachada y la tabiquería, ya que de esa manera se evitan transmisiones por flancos dominantes.
- **Una ejecución correcta.** No puede dejar de mencionarse que un buen diseño y una correcta elección de materiales y sistemas constructivos no son suficientes si no están acompañados de una ejecución cuidada que no menoscabe las prestaciones acústicas de los materiales.

3.1 Soluciones para una rehabilitación acústica y grados de mejora

Existen una serie de materiales comunes que pueden ser aplicados en paredes, forjados, fachadas y cubiertas y que mejoran el aislamiento acústico. Estos materiales comprenden:

- Materiales absorbentes acústicos como lanas, fieltros, mantas, etc.
- Placas de yeso laminado que pueden aplicarse de forma directa con pelladas o ancladas a una perfilera.
- Láminas elásticas para aislamiento a ruido de impactos
- Paneles multicapas formados por una lámina viscoelástica y materiales absorbentes.
- Amortiguadores.
- Bandas elásticas para apoyo de perfiles y ladrillos.
- Enlucidos, enfoscados, masillas, siliconas, que por si mismos no son considerados materiales “acústicos”, pero su uso mejora las condiciones acústicas de los edificios, ya que permiten sellar aumentando la estanquidad de las soluciones y por tanto, su aislamiento acústico.

3.2 Actuaciones en elementos de separación verticales

En general, las actuaciones en los elementos de separación verticales comprenden la aplicación de capas de yeso o mortero para aumentar la estanquidad de las soluciones existentes de fábrica, la instalación de un trasdosado ya sea de placa de yeso o de ladrillo, la inserción de materiales absorbentes en las cámaras y el sellado del perímetro de los trasdosados.

La mayoría de estas actuaciones conllevan una reducción de la superficie útil de los recintos en al menos 6 cm y hacen que sea necesario el replanteo de las instalaciones de calefacción o de las cajas para mecanismos eléctricos, tales como enchufes e interruptores. Incluso en algunos

casos pueden acarrear cambios en los acabados de los edificios, que pueden ser significativos si se trata de edificios protegidos.

Además, muchas veces los trasdosados no pueden aplicarse por las dos caras, debido a, por ejemplo, la imposibilidad, de actuar por alguno de los lados.

Este tipo de mejoras en los elementos de separación verticales, pueden ser suficientes cuando los niveles de ruido generados son los propios de la actividad vecinal (conversaciones, radio y TV con niveles moderados, etc.). En el caso de que se requiera un nivel de aislamiento acústico mayor, debido a que los recintos colindantes sean de instalaciones o de actividad, se debe proceder a realizar una solución de más aislamiento acústico en la que la mejor opción es conseguir la desconexión estructural de los recintos ruidosos, actuándose de forma conjunta en los elementos de separación vertical, horizontal y tabiquería.

De forma más concreta podemos hablar de las siguientes actuaciones en los elementos verticales de separación:

1. Trasdostar la fábrica por una sola cara con trasdosado directo o autoportante.

El trasdosado directo consiste en un panel compuesto por una placa de yeso laminado adherida a una capa de un material absorbente como la lana mineral. Este panel puede suele ir pegado a la pared mediante pelladas de yeso o anclado a una perfilería.

El trasdosado autoportante está formado por una placa de yeso laminado anclada a una perfilería autoportante y separada de la hoja de fábrica y con una cámara rellena de un material absorbente acústico. Al no existir conexión entre el trasdosado y la hoja de fábrica, este tipo de trasdosado tiene unas mejores prestaciones que el trasdosado directo.

Pueden elevarse las prestaciones de estos trasdosados añadiendo más placas de yeso, empleando bandas elásticas en el apoyo de los perfiles, utilizando paneles multicapa en la cámara o utilizando un sándwich compuesto por placas de yeso y una membrana plástica intermedia.

Ventajas de esta actuación:

- Aumenta el aislamiento acústico entre recintos tanto en la vía directa como en las vías indirectas.
- Puede usarse en casos en los que no se puede actuar en ambos lados del elemento de separación, por ejemplo, en los elementos de separación entre una vivienda y las zonas comunes.

Inconvenientes:

- Con esta actuación se da una reducción de superficie útil sólo en una unidad de uso de al menos 7 cm.
- Molestias a los ocupantes por la obra.

2. Trasdosa la fábrica por ambas caras con un trasdosado directo o autoportante.

Ventajas de esta actuación:

- Aumenta el aislamiento acústico entre recintos tanto en la vía directa como en las vías indirectas. Es una solución simétrica.
- La carga en la estructura es mínima y aumenta el aislamiento térmico.

Inconvenientes:

- No es posible si la actuación se lleva a cabo en una sola vivienda.
- Reducción de superficie útil, mínimo 7 cm por usuario.
- Molestias a los ocupantes por la obra.

3. Trasdosa la fábrica por una sola cara con un tabique de ladrillo hueco con bandas elásticas en el perímetro.

Ventajas de esta actuación:

- Aumenta el aislamiento acústico entre recintos tanto en la vía directa como en las vías indirectas.
- Puede usarse en casos en los que no se puede actuar en ambos lados del elemento de separación, por ejemplo, en los elementos de separación entre una vivienda y las zonas comunes.

Inconvenientes:

- Reducción de superficie útil en al menos 10 cm por sólo una unidad de uso.
- Molestias a los ocupantes por la obra.

4. Inyectar un material absorbente acústico en la cámara.

Existen algunos materiales con un buen coeficiente de absorción acústica que pueden inyectarse en las soluciones de dos hojas de fábrica en las que no existe un material absorbente acústico, como por ejemplo el poliuretano de celda abierta.

Ventajas de esta actuación:

- Aumenta mínimamente el aislamiento acústico en la vía directa.
- La carga en la estructura es mínima.
- No hay reducción de la superficie útil.
- Mínimas molestias a los usuarios.

Inconvenientes:

- El aumento del aislamiento acústico obtenido es inferior al obtenido con otro tipo de actuaciones.

5. Sustituir una partición por otro elemento de más aislamiento acústico.

Esta actuación sólo es posible si se trata de sustituir un elemento de separación no portante.

Se proponen dos tipos de particiones por su espesor y su escaso peso:

- Dos hojas de ladrillo hueco o gran formato de 7 cm de espesor cada una, apoyadas sobre bandas elásticas y cámara de al menos 4 cm de espesor rellena de un material absorbente acústico. Espesor total: 20 cm.
- Dos hojas de entramado autoportante formada cada una por 2 placas de yeso laminado de al menos 12,5 mm, ancladas a una perfilera de acero de 48 mm de espesor y lana mineral en la cámara. Espesor mínimo: 16,7 cm.

Ventajas de esta actuación:

- Esta actuación aumenta el aislamiento acústico entre recintos tanto en la vía directa como en las vías indirectas.
- Dependiendo de cómo sea la partición sustituida, se produce una mayor o menos pérdida de espacio libre en los recintos.

Inconvenientes:

- Molestias a los ocupantes, por la obra que suelen durar varios días.
- Se generan escombros.
- Coste elevado con respecto a otras alternativas.

Además, cuando el problema de aislamiento es el ruido provocado por el tránsito de público a través de una zona común, una de las actuaciones más indicadas es la sustitución de la puerta de acceso por una puerta con un índice de reducción acústica, R_A , mayor que 30 dBA. El aislamiento acústico in situ que se obtiene entre el recinto y la zona común ronda los 30 dBA, pero es la actuación indicada si el origen de las molestias es una zona muy transitada que comunica directamente con un recinto sensible.

3.2.1 Uniones entre los elementos de separación verticales y la fachada o tabiquería

El aislamiento acústico entre dos recintos depende de la unión entre el elemento de separación vertical y la tabiquería y fachada. En general, la recomendación es que la hoja exterior de la fachada se interrumpa, como en la figura 1, de tal forma que las transmisiones por flancos queden limitadas.

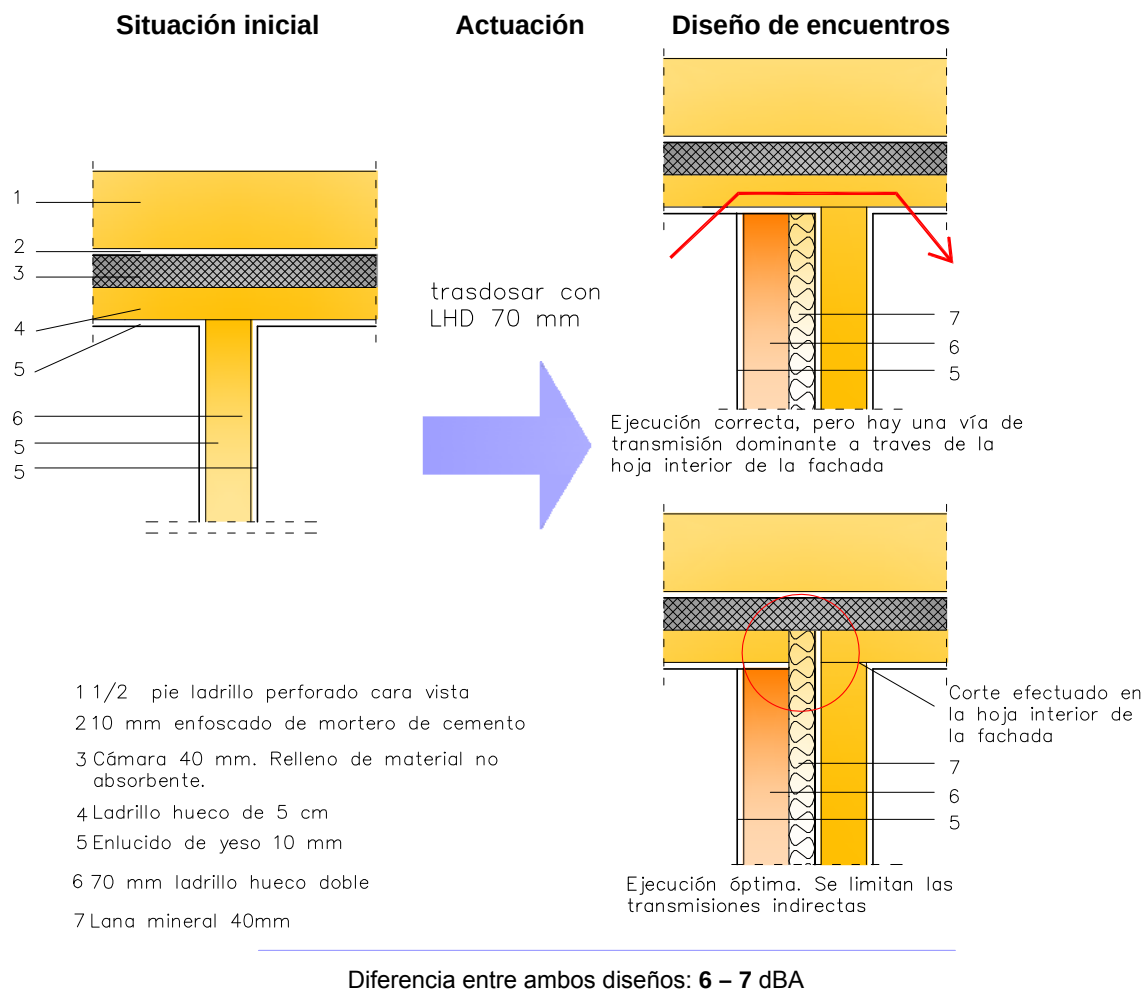


Figura 1. Detalle encuentro entre el elemento de separación vertical de dos hojas y una fachada de dos hojas.

En una obra de rehabilitación, la casuística de materiales encontrada es muy variada y dependiendo del alcance de la misma, podrán llevarse a cabo pequeñas obras en la fachada que contribuyan a mejorar el aislamiento acústico.

3.2.2 Las instalaciones y los elementos de separación verticales.

En general, cualquier trasdosado que se instale sobre una partición existente, conlleva algún trabajo de replanteo de las redes de instalaciones que estaban en los elementos constructivos iniciales (electricidad, teléfono, calefacción, etc.). Hay una serie de recomendaciones que deben seguirse en rehabilitaciones, así como en obra nueva, que son:

- Colocación de las cajas para mecanismos eléctricos no pasantes, si es posible, que no sean coincidentes a menos que entre ellas exista una placa de yeso o un elemento de fábrica interpuestos.

- El trazado independiente de redes de instalaciones en los recintos que se quiere aislar, es decir, es recomendable que las redes de instalaciones (saneamiento descolgado, climatización, etc.) no atraviesen los elementos de separación verticales en los que se está proyectando una mejora del aislamiento acústico.

3.2.3 Mejoras obtenidas al actuar en los elementos de separación verticales

La tabla 1 muestra las mejoras en términos de incremento de aislamiento acústico $D_{nT,A}$ obtenidas al efectuar cada una de las diferentes actuaciones comentadas en el apartado anterior.

En la columna bajo el término “pared base”, se recogen una serie de elementos de separación verticales tradicionales y muy comunes en los edificios existentes. Estos elementos están caracterizados mediante su índice de reducción acústica, R_A^1 , y el valor de diferencia de niveles estandarizada ponderada A, $D_{nT,A}$, que puede obtenerse en un edificio con forjados de hormigón.

En la primera fila, podemos ver un esquema de las diferentes actuaciones que pueden darse

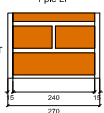
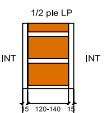
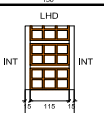
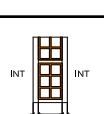
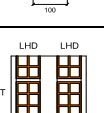
- Actuación 0. No se lleva a cabo ninguna actuación.
- Actuación 1. Instalación de un trasdosado autoportante formado por una placa de yeso laminado anclada a una perfilería de 48 mm por una cara y cámara rellena de lana mineral, espesor 40 mm.
- Actuación 2. Instalación de dos trasdosados autoportantes formados por una placa de yeso laminado anclada a una perfilería de 48 mm por ambas caras y cámaras rellenas de lana mineral, espesor 40 mm.
- Actuación 3. Trasdoso a una cara con un ladrillo hueco de 5 cm, con bandas elásticas en su perímetro de 1 cm de espesor de poliestireno elastificado, EEPS, y cámara de 40 mm rellena de lana mineral.
- Actuación 4. Sustitución de la partición existente por una solución de dos hojas de ladrillo hueco doble de 70 mm de espesor como mínimo, apoyadas sobre bandas elásticas y separadas por una cámara de 40 mm rellena de lana mineral.
- Actuación 5. Sustitución de la partición existente por una solución de dos hojas de entramado autoportante, formada por una doble estructura metálica de 48 mm, a la que se anclan dos placas de yeso laminado 12,5 mm de espesor cada una. Las dos cámaras están rellenas de lana mineral.

¹ La diferencia entre los índices de aislamiento acústico obtenidos en laboratorio, R_A y los índices de aislamiento acústico obtenidos en la edificación, $D_{nT,A}$, puede consultarse el apartado 1.3.1.1 de la Guía de aplicación del DB HR Protección frente al ruido.

http://www.codigotecnico.org/cte/export/sites/default/web/galerias/archivos/GUIADB_HR.pdf

Los valores de esta tabla deben tomarse de forma orientativa ya que el aislamiento acústico entre recintos depende de otros factores, como son los elementos de flancos, sus uniones y la ejecución de cada una de las soluciones. Cuando se ha indicado un rango de aislamiento acústico, el valor inferior corresponde a valores de aislamiento obtenidos cuando no se ha modificado la unión, y el valor mayor corresponde al valor de aislamiento cuando se ha producido una pequeña intervención en la fachada o en la forma de unión de tabiques con el elemento de separación vertical. (Véase figura 2 como ejemplo). En ningún caso se ha tenido en cuenta el efecto del suelo flotante. Véase Anejo A, que describe las condiciones de cálculo de esta tabla.

Los números bajo el campo “Mejoras obtenidas in situ según el tipo de actuación” expresan la mejora de las prestaciones finales de los edificios ($D_{nT,A} \text{ final} - D_{nT,A} \text{ inicial}$). En colores, pueden verse las prestaciones finales obtenidas en relación con las exigencias establecidas en el DB HR. Estos colores no tienen la intención de expresar la calidad subjetiva del aislamiento, sino el grado de acercamiento al cumplimiento de las exigencias.

Pared base		Aislamiento acústico a ruido aéreo Horizontal						
Descripción	Estado inicial		Mejoras obtenidas in situ según tipo de actuación (dBA)					
	R_A (dBA) ⁽¹⁾	$D_{nT,A}$ (dBA)	0	1	2	3	4	5
 1 pie LP	49,6	46	0	3	6	NP	NP	NP
 1/2 pie LP	42	39	0	5	9	8 - 15 ⁽²⁾	NP	NP
 LHD	40	38	0	5	8	6 - 15 ⁽²⁾	8 - 15 ⁽²⁾	9 - 13 ⁽³⁾
 LHD	36	34	0	7	10	12 - 16 ⁽²⁾	12 - 14 ⁽²⁾	13 - 17 ⁽³⁾
 2xLHD	44	40	0	4	7	NP	6 - 10 ⁽²⁾	3 - 7 ⁽³⁾

⁽¹⁾ Valores mínimos del CEC

⁽²⁾ Valores Kij Hispalyt

⁽³⁾ Valores sustituyendo la tabiquería interior existente y la hoja interior de fachada de fábrica por otra de entramado autoportante

⁽⁴⁾ Valores obtenidos cuando se aplican trasdosados a una partición y no se modifican las uniones con la fachada y el tabique de fábrica existentes. En estos casos no se ha contemplado la sustitución de la hoja interior de fachada o de la tabiquería.

NP: No procede. Generalmente estas soluciones suelen ser muros portantes, por lo tanto, la sustitución de las mismas está descartada.

LEYENDA PARTICIONES:

LP: Ladrillo perforado

LHT: ladrillo hueco triple, 115 mm

LHD: Ladrillo hueco doble, 70 mm

LEYENDA aislamiento acústico a ruido aéreo obtenido in situ, $D_{nT,A}$ (dBA).

	≥ 50
	45 – 49
	40-45
	< 40

Como puede observarse en la tabla, las actuaciones propuestas mejoran sensiblemente el aislamiento acústico de los edificios existentes hasta niveles próximos a los del DB HR.

3.3 Actuaciones en elementos de separación horizontales

Los elementos de separación horizontal deben proveer suficiente aislamiento acústico a ruido aéreo y a ruido de impactos entre unidades de uso.

En edificios existentes anteriores a 1940 es común encontrar forjados de madera. No existen datos sobre las prestaciones de forjados de madera en España, pero si se puede decir que su aislamiento acústico a ruido aéreo depende de las capas de relleno que tengan. Es común encontrar que el entrevigado está relleno con yesones y que previo a la colocación del pavimento se ha colocado una o varias camas de arena y mortero de agarre, lo que confiere una mayor masa y por tanto, más aislamiento acústico. Además, la existencia de un falso techo de escayola o cañizo también influye positivamente en su aislamiento acústico.

En el caso de los forjados de hormigón, su aislamiento acústico a ruido aéreo depende fundamentalmente de su masa. De tal forma, que a menos que trate de un forjado muy ligero, por ejemplo, un forjado de menos de 200 - 250 kg/m², el aislamiento a ruido aéreo no es el principal problema.

El problema de los forjados en la edificación española es su aislamiento acústico a ruido de impactos, que suele ser deficiente y el mejor modo de resolverlo es:

- Colocar sobre la cara superior del forjado un elemento elástico flexible, como una moqueta, revestimiento de caucho, linóleo, etc. lo cual reduce la energía transmitida al forjado. Esta medida no mejora el aislamiento acústico a ruido aéreo, pero es eficiente al aumentar el aislamiento a ruido de impactos.
- Colocar una lámina elástica intermedia entre el pavimento o recrecido y la estructura horizontal del edificio, con lo que se provoca una discontinuidad perpendicular a la dirección del recorrido de las ondas de vibración y por tanto se transmite una menor energía al recinto colindante.

Cuando se trata de pequeñas reformas en una vivienda dentro de un bloque, estas actuaciones suelen ser inviables, pues implica actuar en el suelo de la vivienda del piso superior.

Independientemente de la problemática del ruido de impactos, pueden efectuarse estas dos operaciones en los elementos de separación horizontales:

1. Instalando un suelo flotante

- o **Sobre el solado existente.** Esta actuación disminuye la altura libre existente por lo que a veces será inviable. Cada vez que se instala un suelo flotante sobre un pavimento existente se suelen producir escalones y discontinuidades en el suelo que dificultan la accesibilidad entre aquéllas estancias. Además implica rebajar las puertas y jambas.

Dependiendo de qué tipo de suelo flotante se instale, se produce una sobrecarga de la estructura que debería tenerse en cuenta en estructuras existentes.

Por otro lado, una de las ventajas de este tipo de actuación es que no genera escombros.

- o **Sustituyendo el solado existente por un suelo flotante.**

La ventaja de esta actuación es que no se modifica la altura libre de los recintos. Consiste en levantar las capas de arena y/o mortero que sirven de soporte del pavimento para colocar en el mismo espesor una lámina antiimpacto. En estos casos, hay que vigilar la disposición de la lámina y las instalaciones que puedan ir empotradas en el suelo, generalmente tuberías de calefacción, para que no se produzca la conexión entre el forjado y el suelo flotante.

La desventaja es que se generan escombros y trastornos a los ocupantes por la obra.

Por suelo flotante se entienden las soluciones siguientes:

- o **Tarima flotante**, compuesta generalmente por un laminado de madera y un material elástico, como por ejemplo, el PE.

Ventajas:

- Reduce el nivel de presión de ruido de impactos
- Es una solución muy económica
- Es una solución seca, fácil de instalar, normalmente en su instalación no se generan escombros.
- No incrementa la carga de la estructura por su ligereza.

Inconvenientes:

- No mejora el aislamiento a ruido aéreo.

- Reduce la altura libre, mínimamente, 13 mm como mínimo.
- o **Solera seca**, compuesta por dos o más placas de yeso laminado solapadas y pegadas entre sí, dispuestas sobre un material aislante a ruido de impactos como lana mineral o poliestireno expandido elastificado.

Ventajas:

- Reduce el nivel de presión de ruido de impactos.
- Mejora mínimamente el aislamiento a ruido aéreo.
- Es una solución seca. Su instalación es rápida, sin tiempos de secado.
- No incrementa la carga de la estructura por su ligereza, siendo interesante para la rehabilitación de estructuras de madera.
- Mejora el aislamiento térmico.

Inconvenientes:

- Su espesor es de 4 cm más el espesor del pavimento que se pega encima, por lo que si se instala sobre un suelo existente, se reduce la altura libre en esta medida.

- o **Suelo flotante de mortero**, compuesto por una capa de mortero de al menos 50 mm, dispuesta sobre un material aislante a ruido de impactos, como la lana mineral, el polietileno o el poliestireno expandido elastificado.

Ventajas:

- De las tres soluciones mostradas, ésta es la que mayor aislamiento acústico a ruido aéreo y a ruido de impactos produce.
- Mejora el aislamiento térmico.

Inconvenientes:

- Reduce la altura libre, en 55-60 mm más el espesor del pavimento como mínimo.
- Incrementa la carga de la estructura en 0,8-1KN/m².
- Es la más costosa de las tres opciones.

2. **Actuar en el techo del recinto colindante.** Esta actuación está indicada si el problema es el ruido aéreo entre dos recintos, ya que a pesar de que la instalación de un falso techo rebaja los niveles de ruido de impactos, su aislamiento a ruido aéreo es mayor.

Además de producir un incremento de alrededor de 10 o 15 dBA en el aislamiento a ruido aéreo en la vía directa, se produce un incremento del aislamiento en la vía indirecta, que puede observarse en el aumento de aislamiento de las particiones de los recintos colindantes.

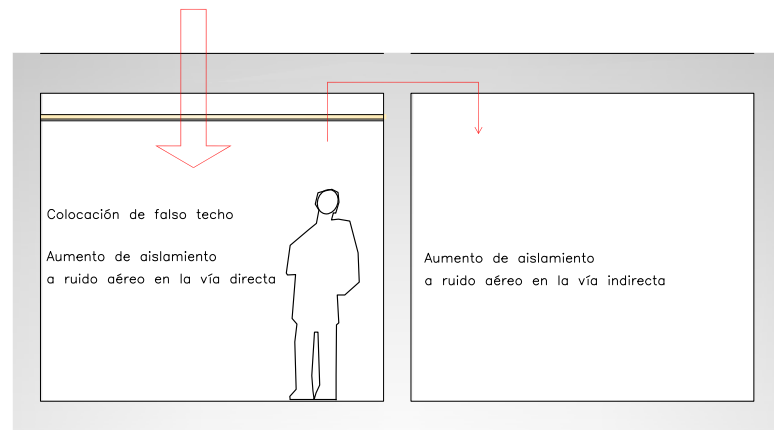


Figura 2. Incidencia del falso techo en la vía indirecta.

Por otro lado, la colocación de un falso techo produce la disminución de la altura libre de los recintos en aproximadamente 10 cm, y cambios en la colocación de los puntos de luz de los recintos y cajas de registro eléctricas, lo que en determinadas ocasiones puede hacer inviable su ejecución.

3.3.1 Mejoras obtenidas al actuar en los elementos de separación horizontales

La siguiente tabla muestra el nivel de aislamiento acústico a ruido aéreo, $D_{nT;A}$, y a ruido de impactos, $L'_{nT,w}$ obtenidas al efectuar cada una de las diferentes actuaciones comentadas en el apartado anterior sobre forjados de hormigón.

En la columna “Estado inicial Forjado”, aparece el intervalo de masas de forjados y las prestaciones in situ de los mismos en colores. Se ha indicado la prestación final mediante un rango puesto que las prestaciones in situ de los forjados pueden variar según el tipo de elementos constructivos de flanco, disposición de recintos, ejecución y uniones.

Hay que mencionar que la columna estado inicial no sólo hace referencia a forjados homogéneos, sino también a elementos constructivos homogéneos. Una de las intervenciones habituales es la instalación de suelos flotantes encima de un solado o de un recrecido existente. En estos casos, para utilizar la tabla, se debe estimar el peso del forjado y el de las capas de mortero, arena, solado, etc. que se han instalado encima. Por el contrario, si se prevé la demolición de todas las capas de relleno para instalar el suelo sobre el forjado, entonces el valor de entrada de la tabla es el de la masa del forjado únicamente.

En la columna “intervenciones” aparecen las intervenciones a las que se ha hecho referencia en el apartado anterior:

- Intervención A: Instalación de suelo flotante de mortero y a su vez, instalación de un falso techo.

- Intervención B: Instalación de una solera seca y a su vez, instalación de un falso techo.
- Intervención C: Instalación de una tarima y a su vez, instalación de un falso techo.

Bajo cada columna aparecen los valores estimados de aislamiento a ruido aéreo y de impactos, $D_{nT,A}$ y $L'_{nT,w}$. Estos valores deben tomarse de forma orientativa ya que el aislamiento acústico entre recintos depende de otros factores, como son los elementos de flancos, sus uniones y la ejecución de cada una de las soluciones.

En colores puede verse cuál es el grado de mejora en relación a las exigencias establecidas en el DB HR. Estos colores no tienen la intención de expresar la calidad subjetiva del aislamiento, sino el grado de acercamiento al cumplimiento de las exigencias del DB HR.

Estado inicial. Forjado			Tipo de intervención											
Intervalo masas	Prestaciones		A				B				C			
			Suelo flotante mortero				solera seca				Tarima			
			PAVIMENTO SUELO FLOTANTE DE MORTERO FORJADO		PAVIMENTO SUELO FLOTANTE DE MORTERO FORJADO		PAVIMENTO SOLERA SECA FORJADO		PAVIMENTO SOLERA SECA FORJADO		TARIMA FLOTANTE FORJADO		TARIMA FLOTANTE FORJADO	
kg/m ²	aéreo	impactos	SF		SF+techo		solera seca		solera seca+ techo		tarima		tarima+techo	
			aéreo $D_{nT,A}$ (dBA)	impactos $L'_{nT,w}$ (dB)	aéreo $D_{nT,A}$ (dBA)	impactos $L'_{nT,w}$ (dB)	aéreo $D_{nT,A}$ (dBA)	impactos $L'_{nT,w}$ (dB)	aéreo $D_{nT,A}$ (dBA)	impactos $L'_{nT,w}$ (dB)	aéreo $D_{nT,A}$ (dBA)	impactos $L'_{nT,w}$ (dB)	aéreo $D_{nT,A}$ (dBA)	impactos $L'_{nT,w}$ (dB)
200-225			44	70 ⁽³⁾ -65	45-50	≤ 65	41-43	67-65 ⁽²⁾	45-50	≤ 65	40	71-75 [65 ⁽¹⁾]	45-50	70-65 ⁽¹⁾
225-250			46	66 ⁽³⁾ - ≤65	≥50 ⁽⁴⁾	≤ 65	44-45	≤ 65	45-50	≤ 65	43-45	67-71 [65 ⁽¹⁾]	45-50	≤ 65
250-275			46-47	≤ 65	≥50 ⁽⁵⁾	≤ 65	45	≤ 65	45-50	≤ 65	44-45	67-71 [65 ⁽¹⁾]	45-50	≤ 65
300-325			46-48	≤ 65	≥ 50	≤ 65	45-46	≤ 65	45-50 ⁽⁹⁾	≤ 65	45	70 ⁽⁶⁾ -65	45-50	≤ 65
325-350			48-49	≤ 65	≥ 50	≤ 65	46-47	≤ 65	≥ 50	≤ 65	46-47	70-65	≥50	≤ 65
350-375			49-50 ⁽⁷⁾	≤ 65	≥ 50	≤ 65	48-49	≤ 65	≥ 50	≤ 65	48	67 ⁽⁸⁾ -65	≥50	≤ 65
400-425			≥ 50	≤ 65	≥ 50	≤ 65	49-50	≤ 65	≥ 50	≤ 65	49	≤ 65	≥50	≤ 65
425-450			≥ 50	≤ 65	≥ 50	≤ 65	49-50	≤ 65	≥ 50	≤ 65	50	≤ 65	≥50	≤ 65

LEYENDA**Aéreo, $D_{nT,A}$ (dBA)**

	≥ 50
	45 – 49
	40-45
	< 40

Impactos, $L'_{nT,w}$

	≤ 65
	70 – 66
	75 – 71
	> 75

⁽¹⁾ Valores de $L'_{nT,w}$ si se instala una tarima sobre una lana mineral de 30 mm

⁽²⁾ Valores obtenidos con una solera seca con una ΔL_w de al menos 20 dB

⁽³⁾ Valores obtenidos con un suelo flotante con una mejora $\Delta R_A=6$ dBA, como por ejemplo, un suelo flotante formado por una capa de 5 cm

⁽⁴⁾ Se verifican estos valores siempre que el suelo flotante que se instale tenga un $\Delta R_A \geq 9$ dBA

⁽⁵⁾ Se verifican estos valores siempre que el suelo flotante que se instale tenga un $\Delta R_A \geq 5$ dBA

⁽⁶⁾ Valor de $L'_{nT,w}$ obtenido si se instala una tarima con un $\Delta L_w \geq 15$ dB

⁽⁷⁾ Valor de $D_{nT,A}$ obtenido si se instala un suelo flotante con un $\Delta R_A \geq 5$ dBA, como por ejemplo, un suelo flotante de lana mineral o de poliestireno elastificado

⁽⁸⁾ Valor de $L'_{nT,w}$ obtenido si se instala una tarima con un $\Delta L_w \geq 15$ dB

⁽⁹⁾ Valor de $D_{nT,A}$ obtenido si se instala un falso techo con lana mineral en la cámara.

De esta tabla se desprende que:

- La mejor manera de actuar frente al ruido de impactos es la colocación de láminas antiimpacto debajo del pavimento. Los niveles obtenidos permiten en la mayoría de los casos la superación de los niveles de aislamiento acústico a ruido de impactos del DB HR.
- Por otro lado, los niveles de aislamiento acústico a ruido aéreo en forjados de hormigón existentes pueden estar por debajo de lo exigido, dependiendo de las características de los forjados, la posibilidad de añadir recrecidos o techos, etc. Los niveles de aislamiento acústico exigidos en el DB HR pueden alcanzarse si se emplean suelos flotantes más aislantes, como son los de mortero.
- La superación de ambos niveles está condicionada a la buena ejecución de los suelos flotantes y a la correcta resolución de todos los encuentros del suelo con paramentos y pilares. Véase figura 3.

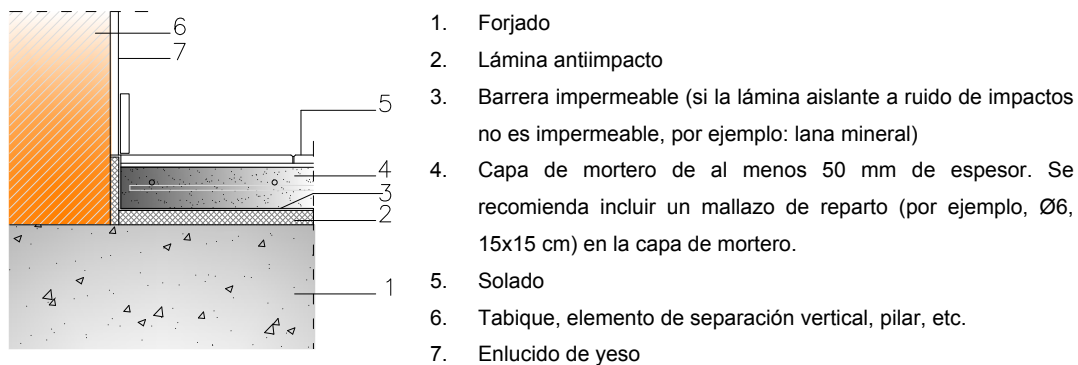


Figura 3. Detalle encuentro de un suelo flotante con los paramentos y pilares.

3.4 Actuaciones en fachadas

El aislamiento acústico de una fachada está muy influido por las ventanas y capialzados, que por lo general, tienen índices de reducción acústica menores que el muro de fachada.

Actualmente, la mayoría de actuaciones sobre las fachadas de edificios existentes están promovidas por los planes Renove de ventanas impulsados por algunas administraciones locales y autonómicas, y su objetivo es el aumento del aislamiento térmico de los edificios, como medida para reducir el consumo energético en los hogares españoles. Sin embargo, la sustitución de ventanas antiguas por otras de mayor calidad, conlleva una mejora acústica.

El aislamiento acústico de la ventana depende del espesor de los vidrios y de aspectos que mejoran el grado de estanquidad de la misma, tales como la existencia de juntas de estanquidad en el marco, sellados de silicona en los vidrios y los puntos de cierre en la misma, etc. Cuanto mas estanca es la ventana, mayor es su aislamiento acústico y por tanto, menos infiltraciones de aire se ocasionan en los edificios.

El problema de las ventanas antiguas es su falta de estanquidad debido a factores como la falta de sellado, holguras existentes entre la carpintería y el muro de fachada y deformaciones producidas por el uso, así que toda actuación conducente a mejorar la estanquidad, supone una mejora en las prestaciones acústicas de las ventanas.

En el caso de las cajas de persiana, que son el sistema de sombreamiento más extendido en nuestro país, el principal problema es que son un punto de penetración de aire y ruido en el edificio, cuando se instalan en la hoja interior de la fachada. Véase figura 4

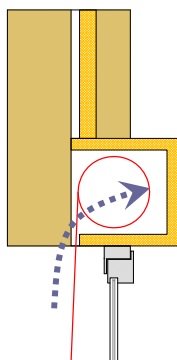


Figura 4. Sección tipo de capialzado montado en la hoja interior de la fachada. En azul, la principal vía de penetración del sonido a través de los capialzados

Entre todas las actuaciones, la más eficiente es la sustitución de las ventanas y capialzados por ventanas prefabricadas con vidrios dobles y capialzado monobloque. El espesor de los vidrios se determinará en función de las necesidades térmicas y acústicas. Se recomiendan los vidrios con cámara de 12 mm y vidrios con espesores distintos en cada hoja o incluso, con alguna de las hojas formada por un vidrio laminado.

En edificios con alguna protección patrimonial, las ventanas pueden estar protegidas, en tales casos, hay algunas actuaciones que permiten mejorar su comportamiento acústico, tales como la sustitución de los vidrios por vidrios dobles o vidrios laminados y el sellado de los mismos con silicona por el interior y por el exterior. El problema de estas actuaciones es que es difícil a priori cuantificar la mejora acústica producida, si no es tras una medición después de la intervención.

En el caso de zonas muy contaminadas acústicamente, puede valorarse la sustitución de la ventana por otra más estanca junto con la sustitución del capialzado por otro sistema que no afecte al aislamiento acústico, tales como lamas, persianas venecianas exteriores, las mallorquinas, etc. o incluso, la instalación de una segunda ventana.

De todos los elementos constructivos, el caso de las ventanas es en el que se demuestra de forma más notable que una ejecución cuidadosa es crucial para asegurar las prestaciones acústicas en los edificios. Las holguras entre la ventana y el muro de fachada deben rellenarse

con espuma y el perímetro debe sellarse con masilla. Si la unión entre la ventana y el precerco instalado no se ejecuta bien, las prestaciones de la ventana serán mucho menores.

A menos que la fachada sea ligera (paneles sándwich, madera, hojas cerámicas ligeras, etc.) y esté situada en una zona muy contaminada acústicamente ($L_d \geq 70$ dB), las actuaciones en el muro de fachada no conducen a un aumento significativo del aislamiento acústico. Sin embargo, si que son frecuentes las actuaciones en fachada para aumentar el aislamiento térmico y en este caso, deben mencionarse algunas sinergias que se producen cuando se aumenta el aislamiento térmico de una fachada.

Para aislar térmicamente una fachada, pueden efectuarse estas operaciones:

1. **Aislar por el exterior**, utilizando un sistema ETICS (External Thermal Insulation Composite System), que es muy común en rehabilitación. La principal ventaja de este sistema es que toda la envolvente del edificio queda aislada, eliminando los puentes térmicos y protegiendo la estructura del cerramiento de la variación de temperaturas exterior e interior, sin reducir la superficie útil del edificio o vivienda y causando mínimas molestias a los usuarios.

Los primeros sistemas ETICS en el mercado utilizaban el poliestireno expandido como material aislante, posteriormente pueden encontrarse sistemas con lana mineral, cuyas prestaciones acústicas son superiores.

Los sistemas ETICS que contribuyen a aumentar el aislamiento acústico de los muros de fachada son aquellos en los que se emplea la lana mineral o el poliestireno expandido elastificado. El resto de aislantes térmicos no mejoran apenas el aislamiento acústico, y los más habituales pueden empeorar las propiedades acústicas de la fachada original, debido a la coincidencia de las frecuencias de resonancia entre el revestimiento de mortero exterior aplicado sobre el aislante y la pared sobre la que se aplica.

En general, el aumento del índice de reducción acústica del muro de fachada al emplear un sistema ETICS es generalmente de 4 o 5 dBA como mucho.

2. **Aislar la cámara inyectando un material aislante en la misma.** Esta medida sólo puede emplearse si se trata de una fachada de dos hojas de fábrica con una cámara en la que no existe un aislante térmico. Tiene como ventaja su sencillez, ya que causa mínimas molestias a los usuarios, y el principal inconveniente que tiene, es que no se aíslan los puentes térmicos.

Si el aislante que se inyecta en la cámara es absorbente acústico puede haber una mejora mínima de 2 o 3 dBA en el aislamiento acústico del muro de fachada, de lo contrario, esa mejora es despreciable.

3. Aislar por el interior, utilizando un trasdosado de placa de yeso laminado o de ladrillo hueco sobre bandas elásticas.

Esta solución es empleada en edificios donde la fachada es protegida y por lo tanto, la instalación de un sistema ETICS es inviable. El principal inconveniente de esta solución es que se reduce la superficie interior de la vivienda en al menos 6 cm y que conlleva molestias a los usuarios, que probablemente, tienen que abandonar su vivienda.

Siempre que se utilice un material absorbente acústico en la cámara, se puede hablar de una mejora significativa en el aislamiento acústico del muro de fachada, siendo ésta la solución que debe emplearse en los edificios situaciones más expuestos a la contaminación acústica y cuya fachada sea ligera.

En concreto, según el Catálogo de Elementos Constructivos del CTE, la mejora del índice de reducción acústica, ΔR_A , de un trasdosado autoportante formado por una o varias placas de yeso laminado ancladas a una perfilera autoportante y con una cámara rellena de lana mineral instalado sobre un muro de medio pie de ladrillo perforado es de 14 dBA.

De estas tres operaciones, debe decirse que no conducen a una mejora en el aislamiento acústico, a menos que se cambien las ventanas por unas de mayor calidad.

Otro de los temas que aparece en el CTE y que afecta al aislamiento acústico de los edificios, son las exigencias de calidad del aire interior establecidas en el DB HS-3, que regula los caudales de ventilación mínimos para viviendas. Debe recordarse que siempre que se hable de ventilación y de aislamiento acústico hay que llegar a un compromiso, pues ambos aspectos son contrapuestos.

Las formas más sencillas de garantizar los caudales de admisión en un edificio y que sean compatibles con la protección frente al ruido son:

- **Utilizar ventanas con aireadores**, que tengan aislamiento acústico o al menos, aireadores que en posición cerrada no menoscaben las condiciones acústicas de las ventanas.
- **Utilizar ventanas con microventilación**, que son ventanas con un dispositivo fijo de abertura que permite la entrada de aire. Esta solución es la más empleada en obra nueva en la actualidad porque es muy sencilla y económica. Las ventanas con dispositivo de microventilación en posición cerrada tienen un aislamiento acústico idéntico a las ventanas convencionales. En posición abierta su aislamiento acústico disminuye 10-11 dBA.

3.5 Actuaciones en cubiertas

Sólo tiene sentido hablar de rehabilitación acústica en cubiertas abuhardilladas, con lucernarios o cubiertas ligeras situadas en lugares muy expuestos al ruido, como por ejemplo, la huella del aeropuerto.

Su tratamiento acústico es similar al de las fachadas. Siempre que existan huecos en la cubierta, la primera actuación será valorar la sustitución de los mismos por otros de mayor aislamiento acústico.

En caso de que la cubierta sea ligera, como por ejemplo, una cubierta de madera, situada una zona muy ruidosa, además de la sustitución de ventanas, la actuación será la instalación de un falso techo con lana mineral en la cámara, que refuerce el aislamiento de la parte opaca.

3.6 Actuaciones en las instalaciones

Las instalaciones son un conjunto amplio y heterogéneo de dispositivos que suelen generar ruidos y vibraciones que se trasladan a los recintos protegidos y habitables de los edificios.

La forma de abordar el diseño de las instalaciones en un edificio existente depende del tipo de intervención que se está efectuando. Si se trata de una rehabilitación integral en la que las instalaciones existentes se sustituyen por otras nuevas, o si se trata de una ampliación, las redes de instalaciones deberían cumplir los mismos requisitos que si estuvieran en una obra nueva, es decir, los niveles de ruido y vibraciones transmitidos a los recintos colindantes no deberían superar los objetivos de calidad establecidos en la Ley del ruido.

En ocasiones, el objeto de la intervención es precisamente la introducción o la sustitución de una instalación nueva, por ejemplo, la instalación de un ascensor. En estos casos, deben tomarse aquellas medidas necesarias para que la nueva instalación no suponga trastornos a los usuarios por ruidos producidos. A pesar de las instalaciones plantean problemáticas muy diversas, las siguientes técnicas son válidas para conseguir la reducción de ruido y vibraciones de equipos y redes:

- Ubicar los equipos alejados de recintos sensibles al ruido como dormitorios, aulas, despachos, etc.
- Reducir el ruido emitido por los equipos, eligiendo aquéllos equipos con una potencia acústica limitada.
- Aislar las estructuras de las vibraciones de los equipos, una bancada de inercia o amortiguadores si los equipos son compactos.

- Reforzar la estructura del edificio en aquellos puntos del edificio en los que se localicen los equipos, por ejemplo, aumentar el canto del forjado o ejecutar una solera de hormigón sobre en aquellos lugares donde están situadas las climatizadoras.
- Anclar los equipos y las redes de conductos en elementos pesados de fábrica o en pilares, evitando anclarlos en elementos ligeros como particiones de ligeras de placas de yeso laminado o ladrillo hueco gran formato
- Aislar los cuartos técnicos mediante trasdosados, techos y suelos flotantes, utilizando anclajes amortiguadores, especialmente si los cuartos técnicos están en contacto con recintos sensibles.
- Prever los espacios necesarios para las redes de conductos y de tuberías, de tal forma que sus secciones sean las óptimas.
- Prever el espacio suficiente para los silenciadores y los encapsulamientos de los equipos si fuera necesario.
- Utilizar abrazaderas desolidarizadoras siempre que haya que anclar las tuberías al edificio.

Debe recordarse que en el caso de los locales técnicos, aislar únicamente un paramento, como por ejemplo, instalar un suelo flotante en un cuarto de calderas encima de una vivienda, puede no reducir significativamente los niveles de ruido transmitidos a la misma, ya que los niveles de ruido elevados se transmiten a través de las paredes (transmisión por flancos) y las vibraciones pueden viajar a través de la estructura del edificio hasta lugares alejados de los focos de ruido.

Si por el contrario la intervención es de menor entidad y solamente se efectúan reformas en algunos recintos, puede que no exista margen para mitigar los ruidos producidos por equipos situados de zonas alejadas de los cuartos de instalaciones.

4. CONCLUSIONES

A pesar de que la reglamentación actual sobre condiciones acústicas, el DB HR Protección frente al ruido es sólo de obligado cumplimiento únicamente para las obras de rehabilitación integral, cada intervención en un edificio existente, por pequeña que sea, puede ser una oportunidad de mejorar las deficientes condiciones acústicas de los edificios dentro de lo viable técnica y económicamente.

En el caso de la mejora de las condiciones acústicas de viviendas, las principales intervenciones son:

- La mejora de paredes mediante la instalación de trasdosados de fábrica o yeso laminado.
- La disminución del ruido de impactos mediante la colocación de suelos flotantes.
- La colocación de falsos techos para mejorar el aislamiento acústico a ruido aéreo.

- La sustitución de ventanas y la colocación de falsos techos.

Cuando se llevan a cabo una o varias de estas intervenciones, el aislamiento resultante en el edificio puede no alcanzar los niveles requeridos en el DB HR, pero puede suponer una mejora considerable en las condiciones acústicas.

El aislamiento in situ depende de diversos factores, entre ellos de las condiciones de los elementos de flanco, sus uniones, la ejecución y las tolerancias de los ensayos de aislamiento acústico. Desde el proyecto deben especificarse los detalles constructivos de las uniones de los trasdosados y los elementos constructivos existentes, ya que un buen diseño puede influir significativamente en los niveles de aislamiento obtenidos en el edificio.

En el caso concreto de las particiones entre viviendas, las medidas expresadas en este documento permiten llegar a niveles similares a los del CTE, si bien, es cierto que es muy importante la influencia de los elementos de flanco, tales como techos suspendidos, fachadas, etc.

En el caso de los forjados, el ruido de impactos ocasionado por pisadas, caídas de objetos, etc. puede ser fácilmente solventado con la colocación de láminas antiimpacto, consiguiéndose unos niveles que superan los establecidos en el CTE.

En el caso de las fachadas, el aislamiento acústico depende fundamentalmente de las ventanas y en la mayoría de los casos, las intervenciones se centran en la sustitución de las mismas.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Catálogo de Elementos Constructivos del CTE. Marzo 2010.
http://www.codigotecnico.org/cte/opencms/web/galerias/archivos/CAT-EC-v06.3_marzo_10.pdf
- Cyril M. Harris. *Noise Control in buildings*. Ed. Mc. Graw-Hill, 1994.
- Documento Básico DB HR Protección frente al ruido con comentarios.
http://www.codigotecnico.org/cte/export/sites/default/web/galerias/archivos/HR_comentado.pdf
- Fausti, Patrizio; Ingelaere, Bart; Smith, R.Sea; Steel, Chris. *Common errors during construction of new buildings and effect on workmanship*. European Symposium, Harmonization of European Sound Insulation Descriptors and Classification Standards. Florencia, Diciembre 2010
- Herramienta de cálculo del Documento Básico de protección frente al ruido del Ministerio de Vivienda. http://www.codigotecnico.org/web/recursos/aplicaciones/contenido/texto_0011.html
- Lord, Peter; Templeton, Duncan. *Detailing for acoustics*. Taylor & Francis. 1996.
- PARICIO, Ignacio. *La fachada de ladrillo*. Ed. Bisagra. Barcelona. Febrero 1998
- Parte I del Código Técnico de la Edificación

- UNE EN 12354-1: 2000 Acústica de la edificación. Estimación de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos. Parte 1: Aislamiento acústico del ruido aéreo entre recintos. (EN 12354-1:2000)
- UNE EN 12354-2: 2001. Acústica de la edificación. Estimación de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos. Parte 2: Aislamiento acústico a ruido de impactos entre recintos. (EN 12354-2:2000)
- UNE EN 12354-3: 2001. Acústica de la edificación. Estimación de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos. Parte 3: Aislamiento acústico a ruido aéreo contra el ruido del exterior. (EN 12354-3:2000)

Anexo A. Condiciones de cálculo del aislamiento acústico de las tablas 1 y 2

Se ha realizado un análisis del aislamiento acústico de los edificios con estructura horizontal de hormigón, que corresponde con edificios realizados con posterioridad a 1940. Este análisis consiste en la estimación del aislamiento acústico de los elementos constructivos descritos en el punto anterior mediante la norma UNE EN 12354 partes 1 y 2, que contienen un método de cálculo válido para edificios de viviendas y edificios de otros usos siempre que las dimensiones de los recintos sean similares a los de los edificios de viviendas.

Este análisis no tiene en cuenta algunas consideraciones muy importantes en el aislamiento final en obra. Se ha supuesto que no existen caminos de transmisión aéreos indirectos por conductos, falsos techos, puertas o ventanas, que no existen transmisiones aéreas directas por conductos, rejillas, que no existen encuentros con patinillos o conductos de instalaciones y que la ejecución es correcta.

Los cálculos se han realizado sólo para recintos protegidos, es decir, salones, comedores o dormitorios. Se han tomado las dimensiones medias de un dormitorio doble:

Recinto	Dimensiones (alto x fondo x largo) (m)	Superficie ESV (m ²)	Superficie ESH (m ²)	Volumen (m ³)
Dormitorio principal/doble	2,5 x 3 x 4	10	12	30

No se han considerado recintos habitables, como baños, cocinas y pasillos, ya que son zonas menos sensibles y tienen menor exigencia acústica, además de que por sus dimensiones reducidas es difícil intervenir en ellos.

Se han tomado dos recintos iguales colindantes dispuestos de la siguiente forma:

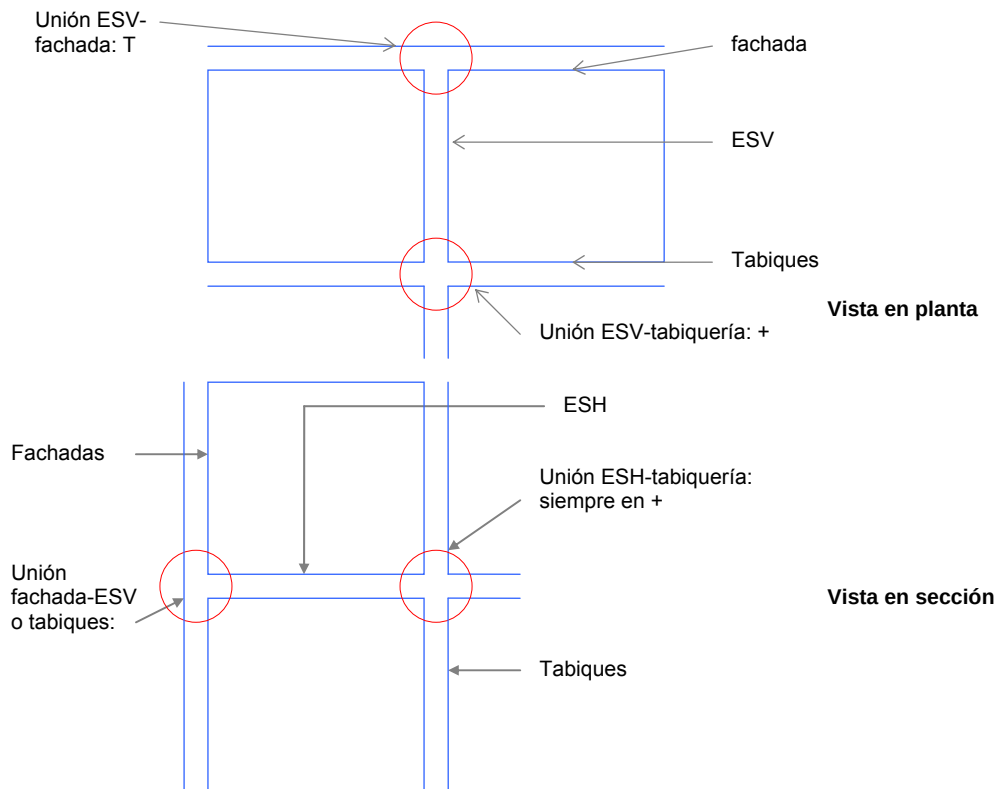


Figura 5. Disposición de los recintos para el cálculo

En cuanto a la elección de los elementos de flanco que intervienen en los cálculos, se ha considerado que la tipología tradicional más común son las soluciones de fábrica. Dentro de éstas, se ha tomado como elementos de flanco aquéllos más conservadores:

- Fachada: Fachadas de dos hojas formada por $\frac{1}{2}$ pie de ladrillo perforado o macizo trasdosado con un ladrillo hueco de 4 cm de espesor y cámara de 4 cm.
- Tabique: ladrillo hueco sencillo de 4 cm.

Se ha utilizado el Catálogo de Elementos Constructivos del CTE del Ministerio de Vivienda como fuente de datos.

3. Ejecución y puesta en obra en las actuaciones de rehabilitación.

Julián Domínguez Huerta; Juan Frías Pierrard.
Asociación Española para la Calidad Acústica – Aecor
info@aecor.es

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los aspectos más críticos de la acústica en obra nueva es la ejecución de las soluciones constructivas y sus encuentros. Es frecuente que por una mala ejecución, que puede venir derivada de una pobre cualificación o de un poco adecuado control de obra, no se alcancen en edificio terminado los aislamientos esperados en el proyecto.

La ejecución correcta de las soluciones constructivas desde el punto de vista acústico es aún más compleja cuando se trata de actuaciones de rehabilitación, especialmente cuando se trate de actuaciones no integrales o parciales y se tengan que combinar en mayor o menor medida con elementos existentes del edificio. La particularidad de cada actuación de rehabilitación hace que la ejecución de los sistemas que mejoren el aislamiento acústico del edificio sea más específica y se tenga que adaptar a las condiciones existentes, la naturaleza de la intervención y el espacio disponible.

2. TIPOS DE REHABILITACIÓN ACÚSTICA

Podemos clasificar la rehabilitación acústica en un edificio en las siguientes tipologías en función de su intensidad:

- Rehabilitación total
- Rehabilitación parcial
- Rehabilitación puntual

2.1. Rehabilitación acústica total

Es aquella en la que es posible la ejecución completa del sistema “caja dentro de caja” siendo la que da mejores resultados, similares a los de obra nueva. Se revisten todos los cerramientos de los recintos (trasdosados de elementos de separación vertical, de fachadas, suelos flotantes y techos suspendidos) consiguiéndose desvincular todos los paramentos del recinto, minimizando la transmisión del sonido por vía directa, así como por todas las vías indirectas.

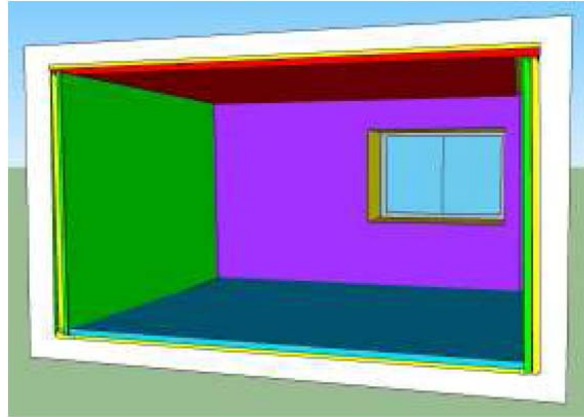


Figura 1. Sistema “caja dentro de caja”

2.1.1 Posibilidades de rehabilitación acústica total

Este tipo de rehabilitación puede presentarse en dos variantes:

- Manteniendo la tabiquería de distribución interior, de forma que se mantendrán las transmisiones acústicas indirectas que originalmente se transmitían por dicho paramento.
- Construyendo una nueva tabiquería de distribución interior, de forma que se podrían minimizar las transmisiones indirectas por estos elementos, por ejemplo desvinculándolos de la estructura del edificio.

2.1.2 Secuencia de ejecución

En caso de acometer una rehabilitación Acustica total, la secuencia de ejecución de los diferentes elementos constructivos puede variar:

- Construcción de suelo flotante y/o techo suspendido en primer lugar y después los trasdosados de elemento de separación vertical y de fachada que apoyarían en el suelo flotante.

- Construcción de trasdosados de elemento de separación vertical y fachada y posteriormente construcción del suelo flotante y/o techo suspendido.

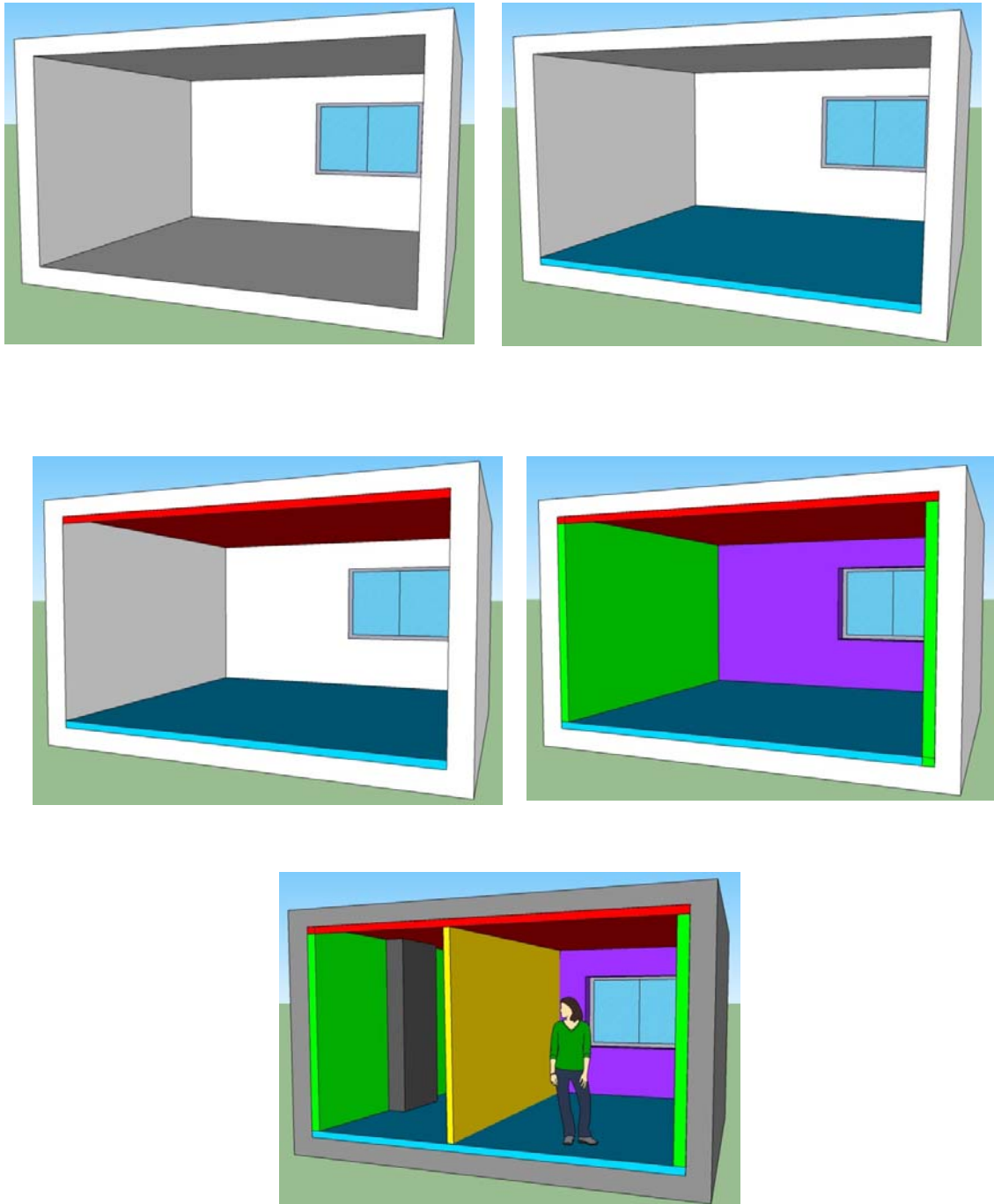


Figura 2. Secuencia de ejecución para rehabilitación total comenzando por el suelo flotante y el techo suspendido.

2.2. Rehabilitación acústica parcial

En este tipo de actuaciones no se ejecuta completamente el sistema “caja dentro de caja” por no instalarse uno o varios de sus elementos (recubrimientos de los cerramientos del recinto). Debido a esto no se atenúan la totalidad de las transmisiones indirectas y las mejoras acústicas

que se obtendrán son más limitadas y dependerán de las transmisiones indirectas que se hayan conseguido atenuar.

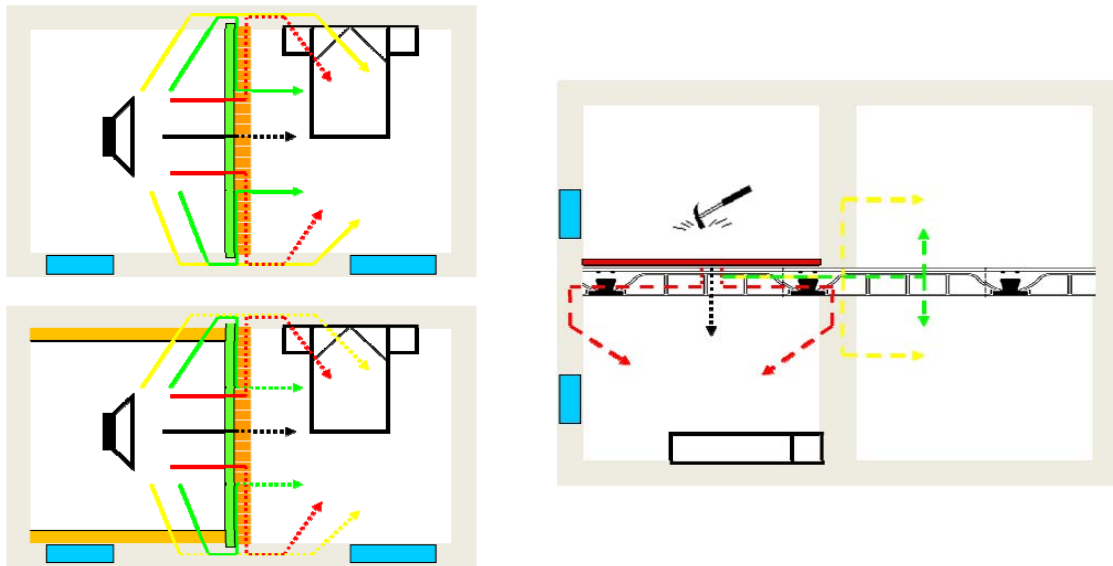


Figura 3. Mejoras en el aislamiento a ruido aéreo y de impacto atenuando las transmisiones indirectas mediante recubrimientos

2.2.1. Posibilidades de rehabilitación acústica parcial

En una rehabilitación acústica parcial se instalarán uno o varios de los siguientes elementos:

- Trasdoso de elemento separador
- Trasdoso de fachada
- Suelo flotante
- Techo suspendido
- Tabiquería de distribución interior
- Ventanas

2.2.2 Secuencia de ejecución

La secuencia de ejecución será la misma que en el apartado 2.1.2 obviando aquellos elementos que no se hayan contemplado.

2.3 Rehabilitación Puntual

En este caso, se identifica la fuente de ruido y la actuación se limitará a su atenuación, bien intercalando elementos que disminuyan en origen la perturbación o bien reforzando acústicamente los elementos estructurales adyacentes.

2.3.1 Posibilidades de rehabilitación acústica puntual

Para este caso, se implementaran una o varias de las siguientes actuaciones.

- Amortiguación
- Encapsulado (con material acústico o con elementos prefabricados, dependiendo del
- tipo de fuente de ruido)
- Sellado
- Refuerzo de las superficies

2.3.2 Secuencia de ejecución

La secuencia de ejecución es muy variada, ya que esta rehabilitación afecta a las patologías originadas por las instalaciones fundamentalmente.

3. SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS

3.1. Trasdosados

Un trasdosado es el recubrimiento que se añade a la pared soporte (elemento base), de inferior masa que esta, para mejorar su aislamiento acústico. La mejora de aislamiento producida por un trasdosado disminuye cuanto mayor sea el aislamiento acústico de la pared soporte a trasdosar.

Las alternativas más usuales consisten en trasdosar el elemento base existente con elementos más ligeros como placa de yeso laminado, de forma autoportante o adherida, introduciendo material absorbente en la cámara resultante. Generalmente los trasdosados pueden montarse sobre el forjado o mortero soporte o bien sobre el suelo flotante tras la ejecución de este. Igualmente, en su encuentro con el techo pueden ir fijados al forjado superior o al techo suspendido una vez ejecutado este.

Los trasdosados pueden instalarse sobre el elemento separador entre dos recintos incrementando el aislamiento a ruido aéreo entre ellos, así como en fachadas y medianeras. En este caso mejoran el aislamiento acústico (y térmico) de la fachada así como las transmisiones indirectas entre los dos recintos a través de ella. Para ambos casos sus soluciones son idénticas.

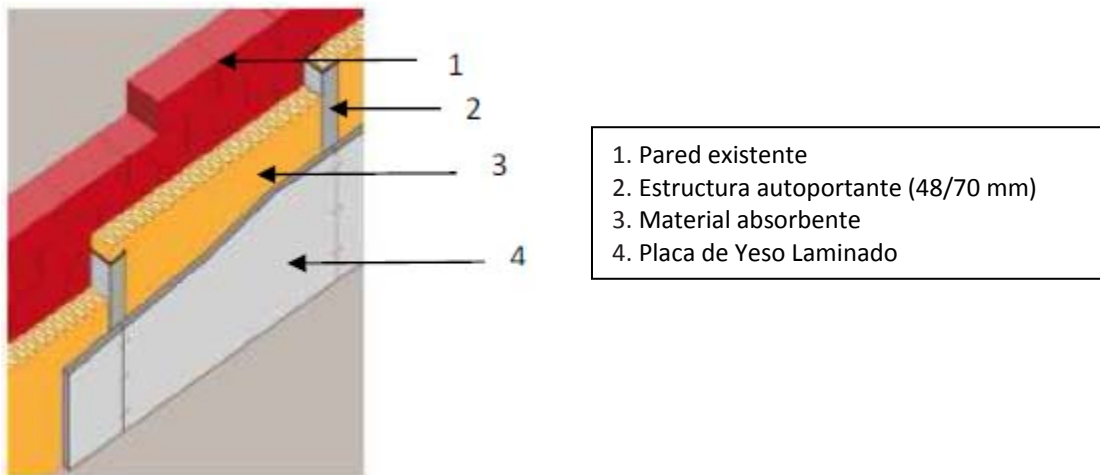


Figura 4. Detalle de trasdosado autoportante de placa de yeso laminado

3.1.1. Consideraciones previas

Tratamiento del soporte y consideraciones previas

- Los paramentos del muro serán suficientemente resistentes y no tendrán desniveles o resaltes superiores a 2 cm, En caso contrario, se saneara la superficie antes de la instalación de la solución acústica.
- Previamente se habrá comprobado que el tabique no presenta huecos de instalaciones eléctricas o de otro tipo, ni fisuras, que en caso de existir se macizaran con mortero.
- En caso de que el tabique pueda presentar deficiencias de estanqueidad es recomendable aplicar un jarreado de yeso negro
- La superficie del soporte debe estar limpia y no desprender humedad.
- Las instalaciones de fontanería, calefacción o aire acondicionado deben ir forradas con material elástico, así como las instalaciones pasante si existiesen.
- Antes de comenzar el replanteo del trasdosado autoportante, se debe determinar el punto más sobresaliente del muro a trasdosar.
- Retirar los mecanismos eléctricos, rodapiés, y posibles molduras que interfieran en la ejecución del trasdosado.
- Colocar bandas de estanquidad en suelo, techo, encuentros laterales con elementos de fabrica, pilares y armarios empotrados, teniendo especial cuidado en rincones y esquinas para evitar los puentes acústicos.
- Los cajeados no deben atravesar totalmente la masa final de acabado en tabiquería cerámica. Los agujeros realizados se deben sellar con mortero de agarre, se introduce la caja y se recibe sellando totalmente los huecos con mortero.
- Perfilería separada al menos 10 mm de la hoja de fabrica.
- El trasdós de yeso laminado deberá de ir a través de juntas estancas y rematado con cinta de sellado según instrucciones del fabricante.

Instalación de la solución constructiva

1. Se replantean los tabiques sobre el pavimento y se fijan al suelo y al techo los canales. Interponer una banda elástica en estos puntos. Los montantes que constituyen el armazón del tabique se alojan en el interior de los canales.	
2. Se efectúan las instalaciones que deban alojarse en los tabiques.	
3. Se coloca el material absorbente en el interior del montante desde la parte superior del tabique. La elasticidad del aislante permite el paso de instalaciones.	
4. Se atornilla la PYL al tabique. Si se han previsto varias capas de PYL, se atornillan a los montantes atravesando las precedentes. 5. Se efectúa el tratamiento de juntas entre placas mediante cinta y pasta de juntas. 6. Realizar el sellado elástico inferior de placas y rodapié	



Figura 5. Rehabilitación mediante instalación de trasdosados autoportantes

En el caso de instalarse un trasdosado de dos placas estas deberán instalarse a mata juntas debiéndose aplicar pasta y encintar ambas.

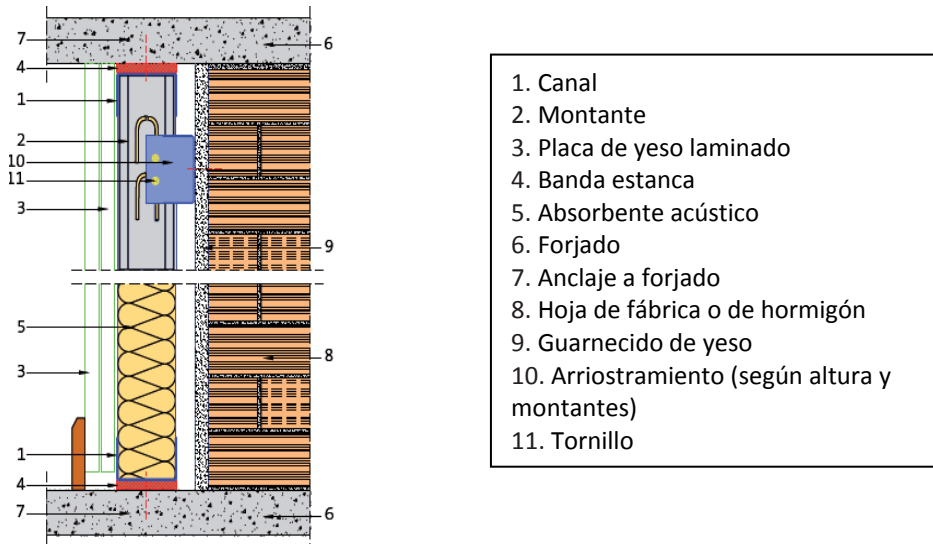


Figura 6. Trasdoso autoportante de dos placas

En ocasiones, el trasdosado de dos placas está compuesto por el denominado “sándwich acústico”, formado por una lámina visco elástica de alta densidad interpuesta entre las placas que mejora su comportamiento acústico.

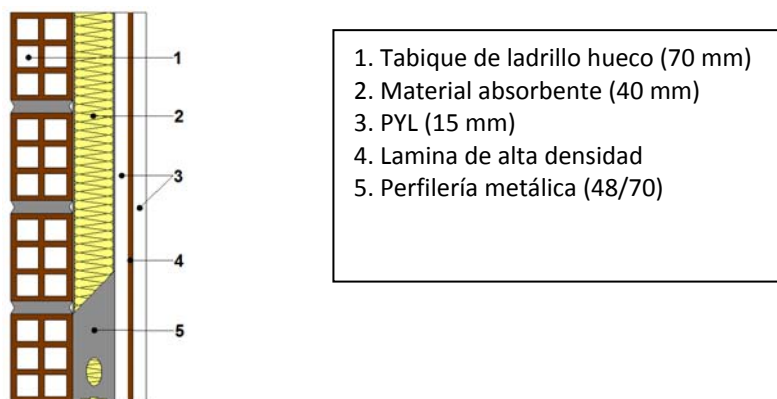


Figura 7. Trasdoso autoportante de dos placas con “sándwich acústico”

En la siguiente tabla se muestra la instalación de la membrana visco elástica.

1. Cortar piezas completas de la lamina de alta densidad con la misma medida que la altura del tabique.	
2. Instalar las piezas de lamina de alta densidad, pegada con cola de contacto o grapada, contrapeando siempre las juntas con las de las PYL. 3. Atornillar la segunda PYL contrapeando de nuevo las juntas con respecto a las de la lamina de alta densidad para garantizar la estanqueidad.	

También existe la posibilidad de incorporar un material multicapa formado por una lámina de alta densidad y un material absorbente, adherido a la pared soporte. Complementariamente, se podrá rellenar el espacio entre la perfilería con más material absorbente como en los casos anteriores.

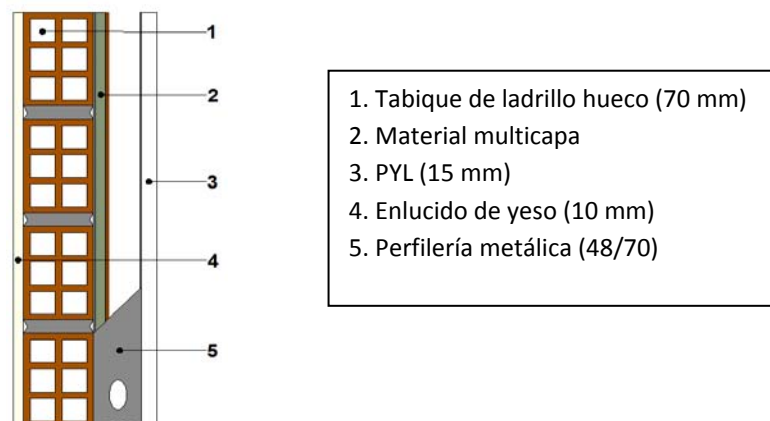


Figura 8. Trasdosado autoportante de una placa con material adherido al soporte

1. Cortar piezas del material multicapa a la misma medida que la altura del tabique. El producto debe quedar instalado con la capa de absorbente orientada hacia el interior, en contacto con el tabique de ladrillo.



2. Una vez preparado el soporte, se tiene que aplicar el adhesivo de contacto únicamente sobre el tabique, dejando secar de 3 a 5 minutos.



3. El siguiente tramo hay que colocarlo realizando el solape o a testa según especifique el fabricante que presenta el producto. Después, estas juntas se sellarán con cinta.



Encuentros de fachada con actuación de trasdosado

Es frecuente encontrarse hojas interiores de fachada corridas entre diferentes viviendas. Estas hojas suelen ser bastante ligeras y producen una transmisión indirecta importante entre los dos recintos. Además la presencia de cajones de persiana en ambos recintos hace que exista una comunicación directa entre ellos, sólo interrumpida por las tapas de dichos cajones, lo cual constituye un puente acústico.

Por esto, al abordar una actuación de aislamiento entre dos recintos adyacentes es frecuente que no sea suficiente sólo trasdosar la pared separadora de ambos, sino que, en caso de tener una fachada corrida habría que interrumpir la cámara, de esta forma minimizaremos las transmisiones indirectas por la hoja interior, así como a través de los cajones de persiana comunicados por la cámara.

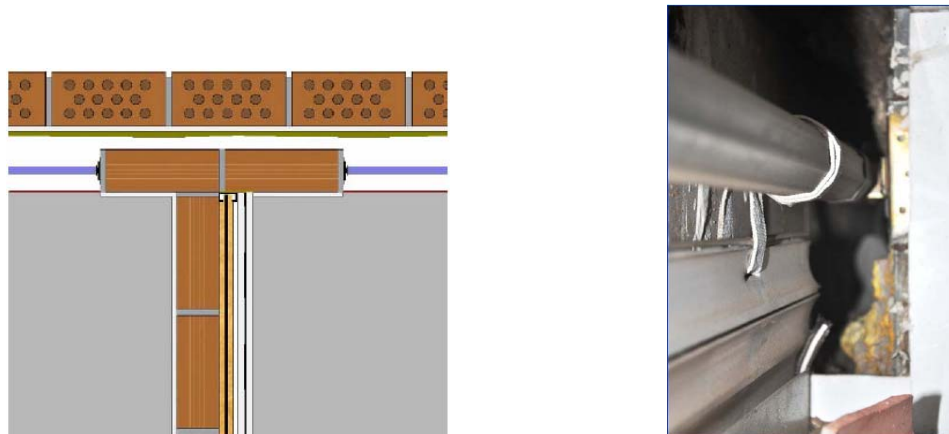


Figura 9. Puente acústico por transmisiones indirectas entre dos recintos por presentar la hoja interior de la fachada corrida entre ambos

De acuerdo a lo anterior, la solución pasará por romper la hoja interior de la fachada y llevar el trasdosado a morir contra la hoja exterior. Es espacio al que se tenga acceso en la cámara se rellenará con material absorbente.

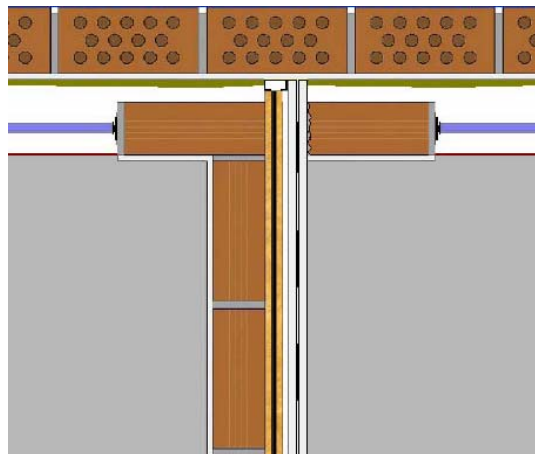


Figura 10. Solución propuesta para la patología de la figura 9: Romper la hoja interior de la fachada e interrumpir la cámara con el trasdosado

En el caso de que el elemento de separación vertical se muera contra la hoja exterior de la fachada, es recomendable cortar con una radial la arista de unión entre la hoja interior de la fachada y el elemento de separación vertical. De esta forma minimizaremos una transmisión indirecta por la vía de la fachada.

Encuentro de fachada con forjado o suelo flotante

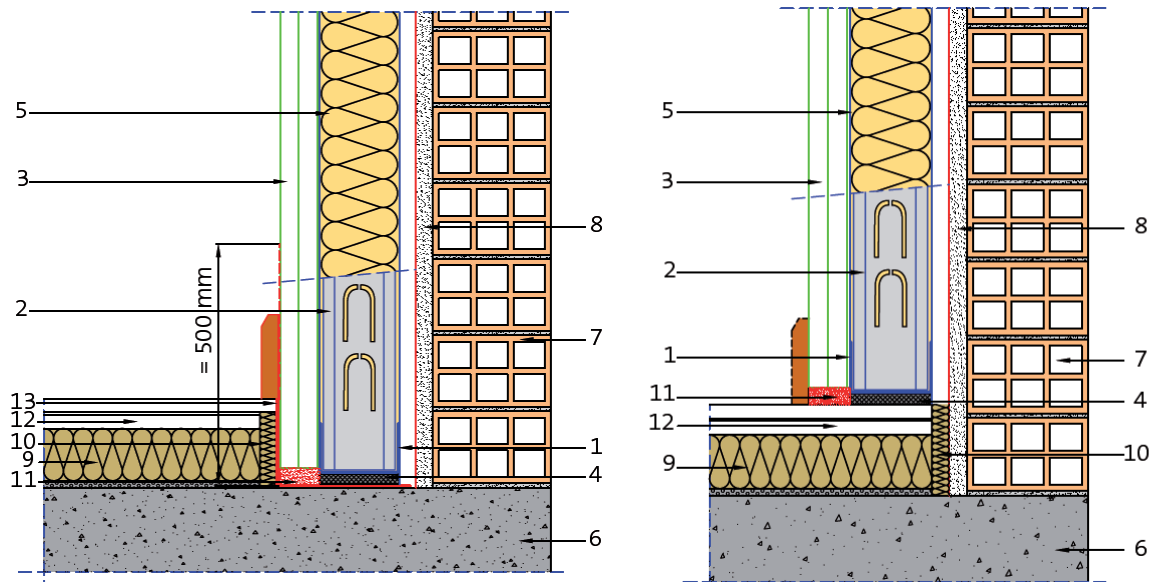


Figura 11. El trasdosado puede apoyar en el forjado o bien sobre el suelo flotante

3.2. Suelos flotantes

Un suelo flotante es un recubrimiento que se instala sobre el forjado o soporte compuesto por un material elástico y una solera de forma que esta quede desvinculada de la estructura del edificio minimizando la transmisión de ruido de impactos. Los suelos flotantes también suelen proporcionar una mejora de aislamiento a ruido aéreo de los forjados en función de su composición.

Los suelos flotantes están compuestos de un elemento elástico resiliente y una solera, y en función de la misma se pueden agrupar en tarimas flotantes, suelos flotantes de mortero o soleras secas. La elección de la solución estará condicionada por las prestaciones a alcanzar (mejora de aislamiento a ruido de impactos y mejora de aislamiento a ruido aéreo), por la naturaleza de la intervención así como por la altura libre disponible.

Como se ha comentado, existen diferentes tipologías de suelos flotantes en función de su composición. A continuación se detallan estas tipologías ordenadas en espesor creciente, que también varían en propiedades acústicas:

- Tarima flotante
- Soleras secas

- De Mortero

Conviene recordar que para aislar una vivienda a ruido de impactos es necesario instalar un suelo flotante en el piso superior, lo que supone un inconveniente en rehabilitaciones de una única vivienda donde no se puede actuar en la vivienda superior.

Preparación de soporte

En cualquier caso, antes de la ejecución de cualquier sistema de suelo flotante, es necesaria la preparación del soporte sobre el que se va a instalar. Por soporte se entiende la solución constructiva sobre la que se va a instalar la solera flotante, que puede ser directamente sobre el revestimiento original, sobre la solera original una vez retirado el revestimiento, o sobre el forjado original, picando la capa de mortero original. Principalmente, la elección irá condicionada por los requisitos de altura libre.

Igualmente, si el soporte presenta irregularidades o desniveles, debe regularizarse con materiales aislantes ligeros, mortero de nivelación o pasta niveladora, de forma que el material elástico pueda asentarse bien en la superficie del soporte. Igualmente, el soporte debe estar limpio en el momento de la instalación, para evitar que se pueda dañar o perforar el material elástico, mermando sus propiedades de aislamiento a ruido de impacto.

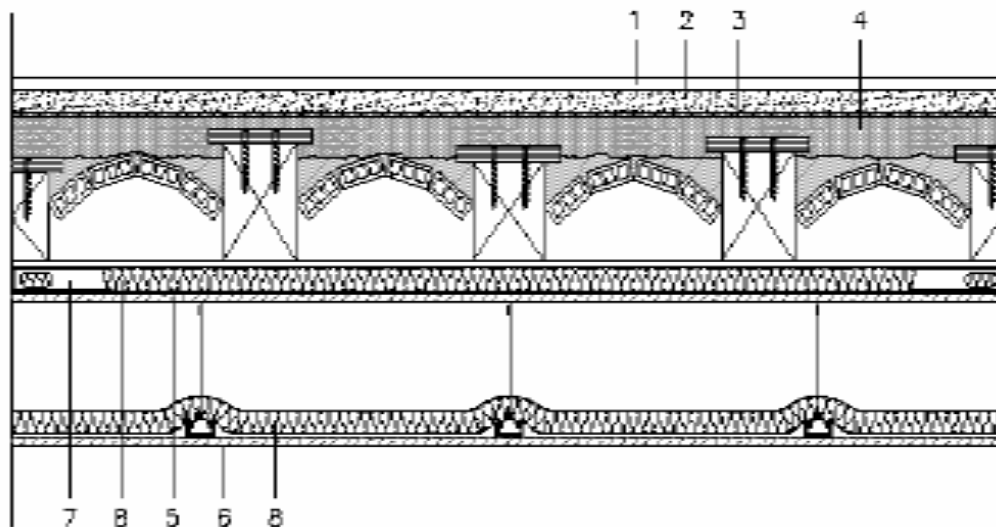


Figura 12. Detalle de actuación de rehabilitación y refuerzo de forjado con capa de regularización (4)

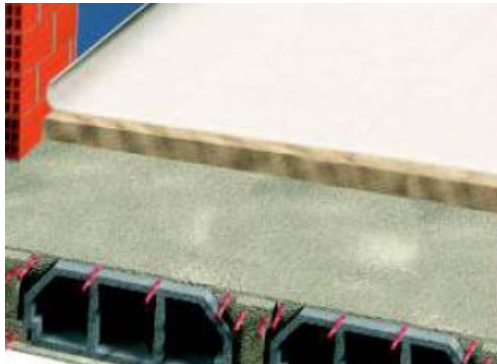
3.2.1. Tarimas flotantes

No se deben confundir con los sistemas de tarima flotante comúnmente conocidos. En este caso, la tarima va montada sobre una lámina de material resiliente específico (generalmente polietileno), de 3-5 mm de espesor, que le confiere propiedades de aislamiento a ruido de impacto.



Figura 13. Solución de tarima flotante

El proceso de ejecución de este tipo de soluciones es el siguiente:

1. Comenzar a extender la lámina de polietileno sobre el soporte. En el encuentro con los tabiques y pilares se subirá el material unos 10 cm para evitar el contacto directo de la madera con el tabique.	
2. Instalar los siguientes tramos de material a testa hasta cubrir la superficie por completo. No es necesario sellar las juntas.	
3. Instalar el suelo laminado de madera siguiendo las recomendaciones del fabricante.	

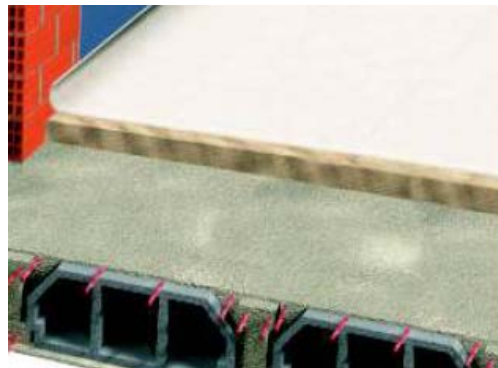
4. Por último, doblar la parte de la lámina en contacto con los tabiques sobre la madera e instalar el rodapié.



5. Comenzar a extender la lámina de polietileno sobre el soporte. En el encuentro con los tabiques y pilares se subirá el material unos 10 cm para evitar el contacto directo de la madera con el tabique.



6. Instalar los siguientes tramos de material a testa hasta cubrir la superficie por completo. No es necesario sellar las juntas.



3.2.2. Soleras secas

Formadas por un material resiliente y una solera flotante de placas de yeso laminado de mayor resistencia o tableros de madera.

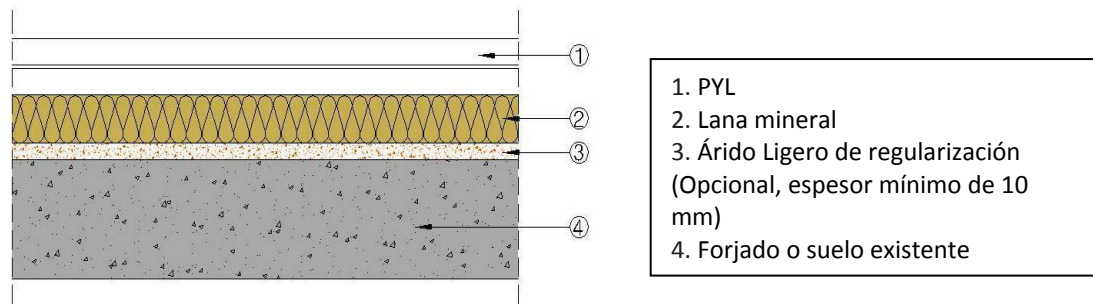


Figura 14. Solución de solera seca con lana mineral y placa de yeso laminado

Tratamiento del soporte e instalación de la solución constructiva

- Retirada de los rodapiés existentes.
- Limpieza del suelo soporte evitando irregularidades que puedan dañar el material
- Colocación de los paneles de lana mineral, de forma que estos cubran toda la superficie del forjado por completo (los paneles se colocaran a tope para evitar cualquier hueco).
- Colocación de una banda perimetral realizada con lana mineral a lo largo de todos los contactos entre la solera flotante y cualquier elemento vertical (tabiques, fachadas, medianerías o pilares), que inicialmente sobresalga por encima de la cota de acabado de la solera PYL, con el fin de evitar contactos entre la solera flotante y los demás elementos constructivos.
- Colocación de las placas de solera iniciando su instalación desde la esquina izquierda de la estancia, contrapeando las juntas transversales de las placas contiguas.
- Pegado de las placas entre sí mediante el empleo del adhesivo. Se dispondrán dos cordones
- Atornillado de las placas entre. Los tornillos se dispondrán tanto en la junta longitudinal como en la transversal,
- Cortado y retirada del exceso de banda perimetral.
- Colocación del acabado del suelo (tarima, parquet, solado, etc.). En el encuentro del acabado del suelo con los elementos verticales y bajo el rodapié, se colocara una junta elástica realizada con un cordón de sellante de poliuretano, silicona, etc.



Figura 15. Instalación de solera seca de lana mineral y placa de yeso laminado

Encuentros con suelo flotante

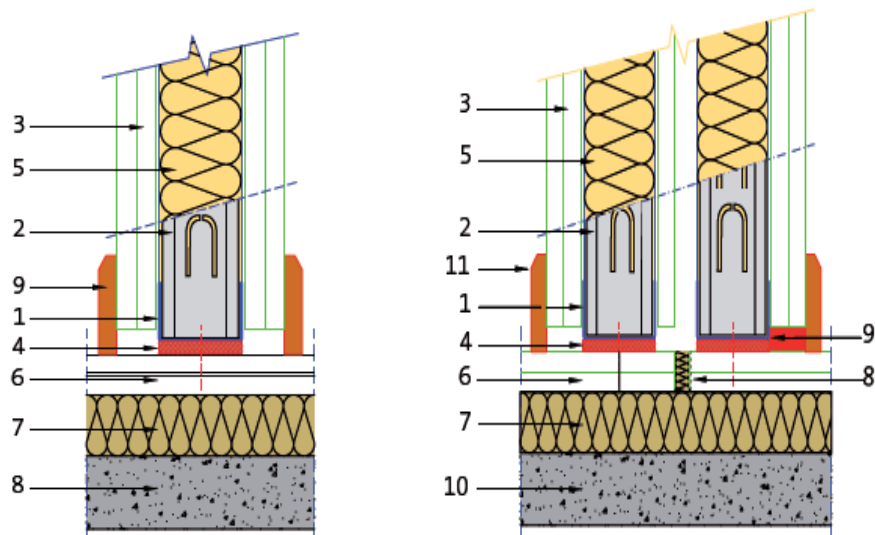


Figura 16. Encuentros de tabique y elemento de separación vertical con solera seca

3.3.3. Suelos flotantes de mortero

Son la solución más empleada en obra nueva. Son los de mayor espesor y en muchos casos precisarán picar y retirar el mortero original para ser posible su instalación manteniendo la altura libre necesaria.

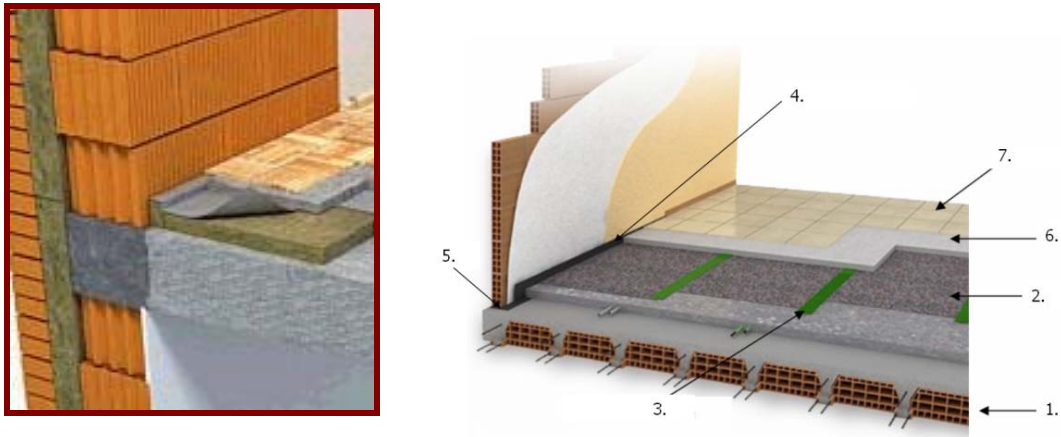


Figura 17. Suelos flotantes de mortero



Figura 18. Ejecución de un suelo flotante de mortero sobre polietileno en una actuación de rehabilitación

3.3. Techos suspendidos

En este caso el soporte es el forjado superior descolgándose de este por su cara inferior, por lo que se puede instalar en la vivienda o recintos receptores que se quieran aislar. Las mejoras aportadas por los suelos flotantes son sobre todo de aislamiento a ruido aéreo. Aunque también pueden contribuir en cierta medida al aislamiento a ruido de impacto, no son la solución más adecuada.

Al igual que los suelos flotantes, tienen el inconveniente en que su instalación dependerá de la altura libre disponible que exista.

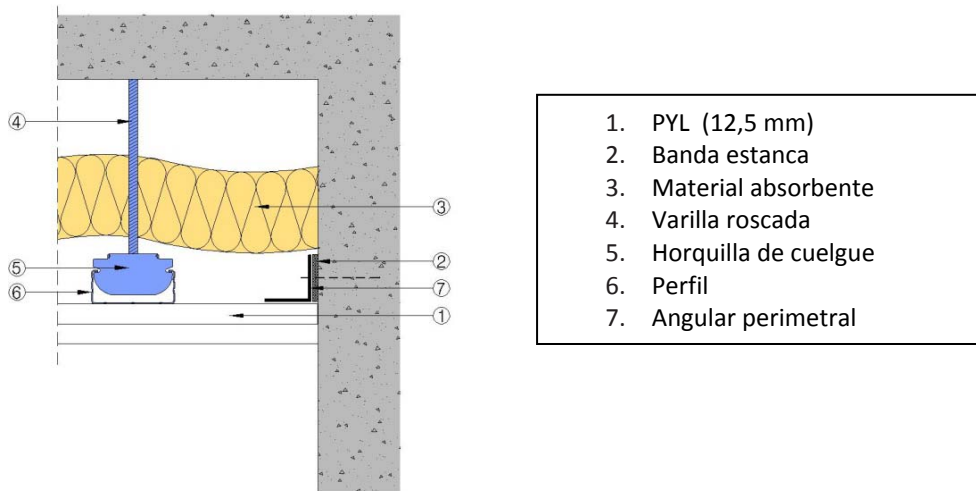


Figura 19. Techo suspendido continuo con material absorbente en la cámara

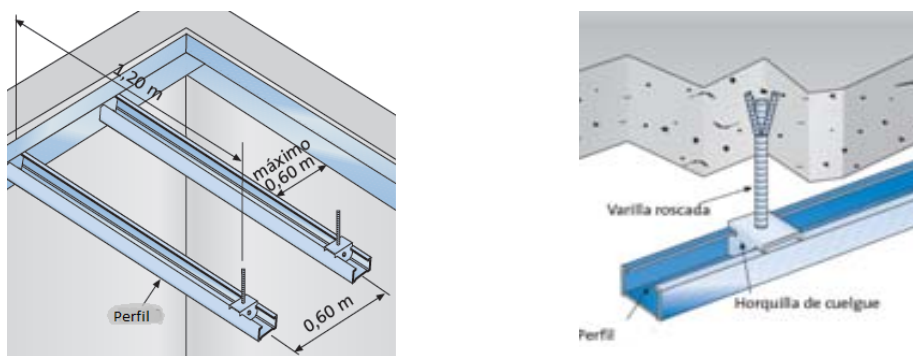


Figura 20. Sistema de cuelgues y perfilaría

Consideraciones preliminares y preparación del soporte

- Previamente se habrá comprobado que el forjado no presenta huecos o fisuras, que en caso de existir se macizaran con mortero. Esto es de especial interés, ya que en ocasiones, debido a que queda la cara inferior del forjado queda oculta esta presenta bovedillas rotas o perforaciones que debilitan el aislamiento. El enlucido del forjado debe estar en buen estado y su superficie debe ser compacta y regular. En caso contrario será necesario sanear la superficie antes de la instalación del falso techo. Por ejemplo, se puede realizar un jarreado de yeso que aporte estanqueidad al sistema.
- Con el objetivo de asegurar el aislamiento acústico necesario este techo no contendrá el paso de instalaciones ni se realizarán perforaciones. Las prestaciones acústicas del sistema dependerán de la cantidad de superficie existente. Las rejillas de ventilación y las luminarias reducirán su efectividad.
- Se debe, calcular el número de amortiguadores en función de su carga máxima admisible y la sobrecarga esperada.
- Antes de comenzar el replanteo del techo continuo, se debe determinar el punto mas

- sobresaliente del techo a trasdosar.
- En el caso de existir luminaria o instalaciones se recomienda colocar un techo decorativo para el paso de instalaciones.
- Se deberán sellar las juntas con material elástico.

Instalación de la solución constructiva

- Se deberá determinar la separación entre perfiles y entre cuelgues adecuada al forjado bajo el que se suspenda el techo, con anterioridad a su ejecución.
- Replanteo de los perfiles perimetrales, de los ejes de los perfiles y de los anclajes al soporte.
- Colocación de la banda estanca en el perfil perimetral, en el lado que vaya a quedar fijado al soporte vertical, con el fin de mejorar la estanqueidad de la solución.
- Se instalarán los perfiles perimetrales angulares fijándose a las divisiones verticales.
- Se instalarán los anclajes adecuados al forjado y se dejarán preparadas las varillas que servirán para el cuelgue y nivelación del techo continuo.
- Se colocarán los perfiles y se procederá a su correcta nivelación mediante las varillas correspondientes. La unión entre la varilla y el perfil se realizará mediante la horquilla de cuelgue, encajando el perfil en la horquilla.
- Instalación de los paneles de material absorbente entre los perfiles que deberá cubrir la totalidad del techo completamente por su parte interior.
- Atornillado de la primera capa de placa de yeso laminado con placa de 12,5 mm de espesor con una distancia máxima entre tornillos de 50 cm. Esta primera capa deberá de llevar un tratamiento de juntas mínimo Q1 (asentado de la cinta de juntas) que garantice la estanqueidad de la solución.
- Las placas se instalarán contrapeando las juntas.
- Instalación de la segunda capa de placa de yeso laminado.
- Igual que en la primera capa, se contrapearán las juntas en esta capa y respecto a la primera capa.
- Se procederá al tratamiento de juntas (entre placas y en los encuentros con otros elementos) mediante el asentamiento de la cinta de papel y aplicando las manos de pasta de juntas necesarias también el emplastecido de las cabezas de los tornillos.

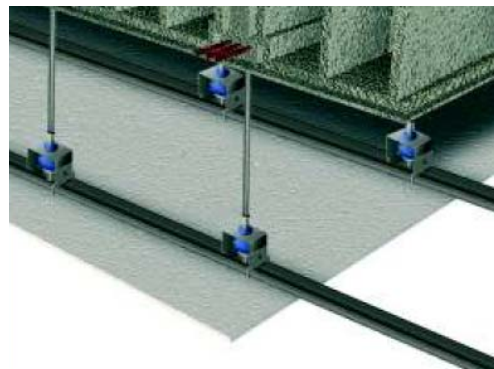


Figura 21. Ejecución de un techo suspendido en una actuación de rehabilitación

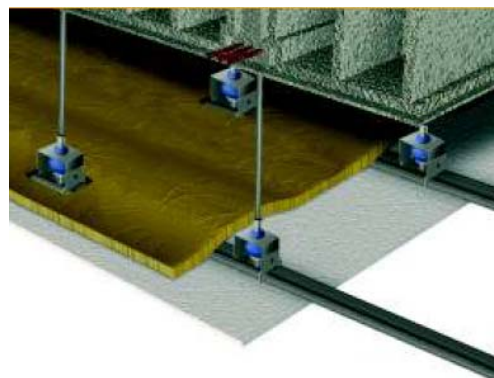
Para un mejor aislamiento acústico, especialmente en bajas frecuencias, las varillas de cuelgue pueden incorporar amortiguadores como se aprecia en el montaje posterior.

1. A continuación fijar las varillas roscadas al forjado e introducir los amortiguadores a través de las varillas con sus correspondientes cazoletas.	
2. Encajar los aisladores en el perfil y deslizar los dispositivos de seguridad quedando ambos elementos acoplados. La distancia de descuelgue será de al menos 15 cm respecto del forjado.	

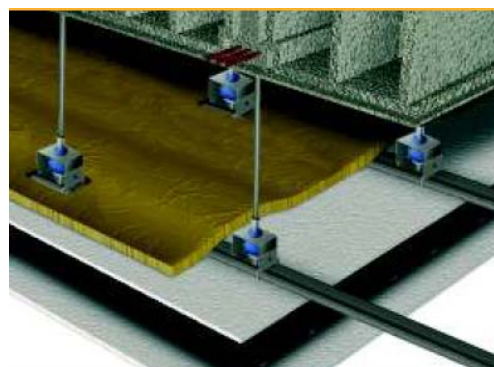
3. Atornillar la primera capa de placas de yeso laminado de 13 mm a la estructura metálica siguiendo las instrucciones de montaje de los sistemas de placa de yeso laminado.



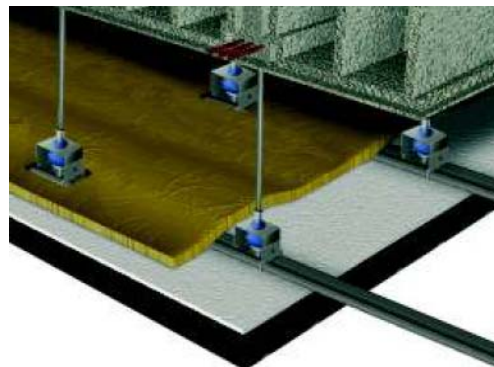
4. Extender sobre la estructura metálica y la placa de yeso laminado el absorbente acústico.



5. Adherir la lámina, retirando previamente el plástico protector. Los diferentes tramos de lámina se colocarán a testa y contrapeando las juntas de la placa de yeso laminado.



6. Atornillar la segunda capa de placas de yeso laminado de 13 mm a la estructura metálica y sellar las juntas entre ellas siguiendo las instrucciones de montaje de los sistemas de placa de yeso laminado. Las placas se colocarán contrapeando las juntas de la lámina.



En ocasiones la altura disponible hace que el sistema de varillas sea inviable por su espesor pudiendo emplear otros sistemas de menor espesor, por ejemplo con sujeciones a base de varillas más cortas o perfiles directamente anclados al forjado y en los que se atornillan las placas de yeso. En estos casos, su eficacia será menor ya que disminuye el espesor de la cámara y la unión empleada tiene una mayor superficie de conexión entre el forjado y el techo suspendido.

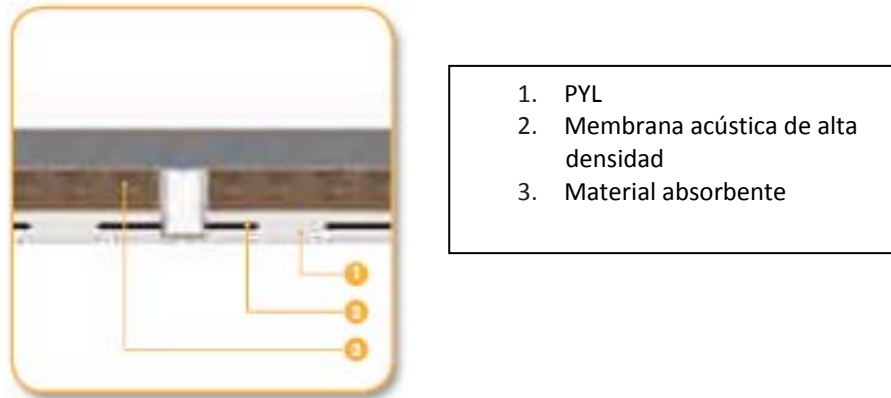


Figura 22. Solución de techo de menor espesor para un forjado ligero.

Encuentro de techo suspendido con elemento de separación vertical

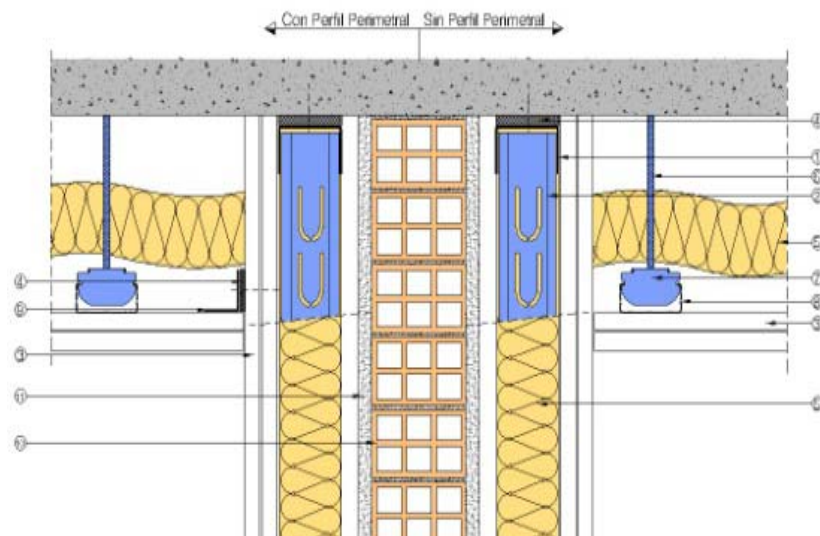


Figura 23. Encuentro de techo suspendido con elemento de separación vertical trasdosado

3.4. Fachadas

El aislamiento de la fachada depende mayoritariamente del aislamiento acústico de la parte hueca, es decir, la ventana y el cajón de persiana, si bien también se pueden hacer además actuaciones en la parte ciega que se requerirán en fachadas situadas en zonas muy ruidosas y con partes ciegas débiles, con la consiguiente mejora en el aislamiento térmico.

Este aislamiento de la parte ciega se puede abordar desde el interior, a través de trasdosados de fachada o mediante sistemas por el exterior como los sistemas SATE.

En cuanto a la instalación de las ventanas, es importante garantizar la estanqueidad y el aislamiento acústico en el encuentro de la ventana y/o el cajón y la albañilería. Esto se consigue a través de sellados interiores y exteriores con masillas elásticas de alta densidad.

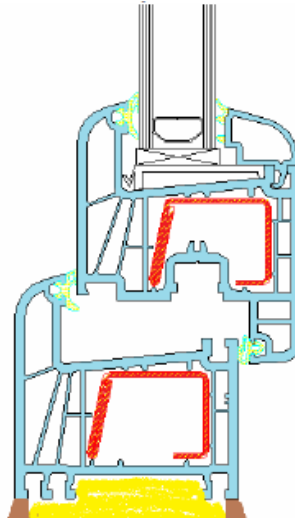
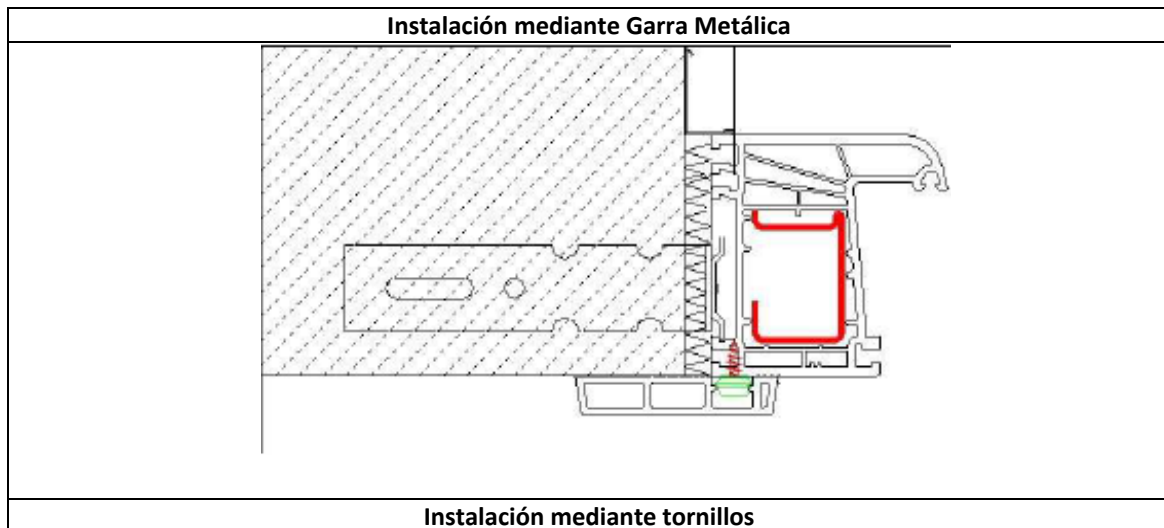


Figura 24. Sellado de ventana con material aislante térmico (espuma de poliuretano) y masilla de alta densidad a ambos lados.



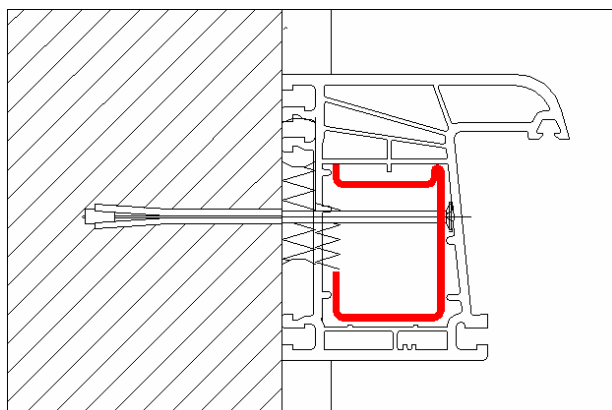
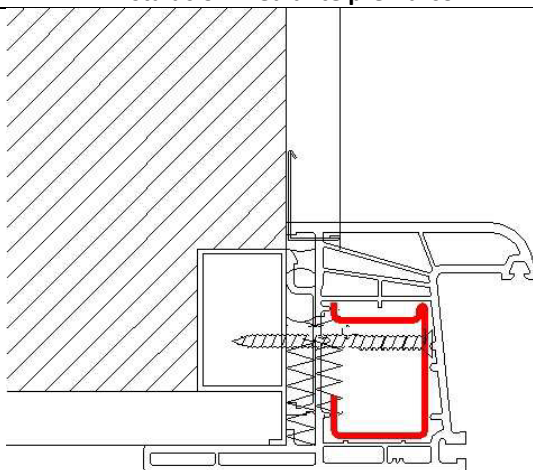
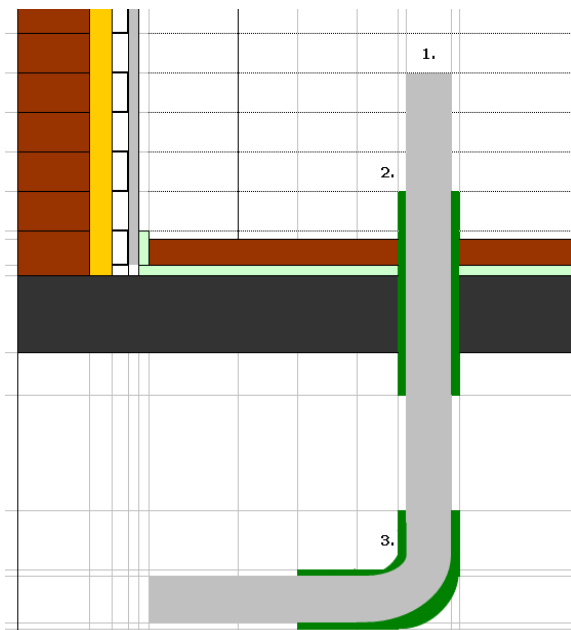
**Instalación mediante premarco**



Figura 25. Sellado con masilla de alta densidad en cambio de ventanas

3.6. Instalaciones

Existen numerosos productos para reducir el ruido de conducciones tanto de aire como de suministro y evacuación de aguas, si bien la mayoría son productos multicapa formados por láminas de alta densidad y materiales absorbentes.



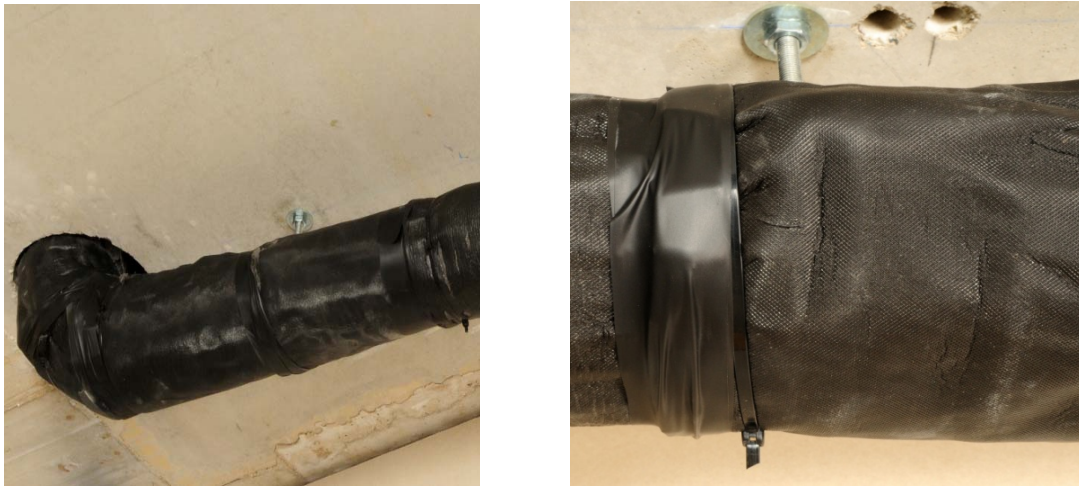


Figura 26. Elementos para la solución de ruido en bajantes

Instalación del material

1. Cortar el material multicapa con un cúter, según desarrollo de la bajante.
2. Envolver completamente la bajante.
3. Fijar la instalación con bridas (algunos productos son autoadhesivos si bien precisan de bridas para asegurar su fijación)
4. Algunos productos recomiendan su instalación con solape y otros a testa.
5. Fijar los empalmes con cinta para conseguir estanqueidad.
6. Si las instalaciones discurren por falso techo es recomendable depositar sobre el falso techo el panel absorbente
7. En los codos y bifurcaciones, que presentan niveles de ruido más elevados es recomendable aplicar dos capas de material
8. Cuando las conducciones atraviesen elementos verticales y horizontales, es importante retacar la abertura contra el material de forrado.
9. Con esos sistemas evitamos la conexión rígida entre el suelo flotante y el forjado.



Figura 27. Forrado de bajantes en una actuación de rehabilitación

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Borrador 7.4. de la Guía de Rehabilitación Acústica de Edificios Existentes (AECOR)

4.1 Soluciones con productos multicapa y espumas de PE para la Rehabilitación Acústica

José Ángel Gamallo Pinel.

AECOR – Asociación Española para la Calidad Acústica

gamallo@danosa.com

1. INTRODUCCION

En el mundo de la construcción se está acostumbrado a trabajar con un concepto de medida diferente al concepto habitual. Así, en obra nueva se trabaja el concepto medida elástica, normalmente en centímetros elásticos cuyo valor es 1, 2 o incluso 3. Este concepto cambia radicalmente cuando se habita la vivienda pasando la medida al milímetro, siendo el tope máximo de actuación que se dispone para la rehabilitación acústica la jamba o embellecedor del armario empotrado, incluso este tope hace que los ruidos en cocinas sean totalmente “tolerables”, ya que no se está dispuesto a cambiar los muebles o electrodomésticos.

Partiendo de esta premisa, en esta ponencia se van a presentar soluciones que se ajustan a estos parámetros utilizando para ello la combinación de materiales porosos tipo lanas o fieltros y elementos antirresonantes formados por láminas o membranas acústicas de alta densidad. Estas últimas nos facilitarán la mejora suficiente a bajas frecuencias que se pierde al reducir el espacio de las soluciones constructivas tradicionales.

También se verán soluciones con materiales elásticos de pequeño espesor formados por espumas de PE bajo pavimentos secos para la rehabilitación de ruidos de impacto.

2. EFECTOS DE LAS MEMBRANAS ANTIRRESONANTES

Se puede producir dos efectos según donde se combine la membrana de alta densidad:

- a. Entre materiales porosos. Realiza la función de resonador membrana que es el absorbente típico a bajas frecuencias.

- b. Entre elementos rígidos flexibles como el yeso laminar, en cuyo caso desplazan las frecuencias de resonancia.

Estos efectos los podemos ver en las figuras 1 y 4.

El resonador membrana se compone de un elemento semirrígido fijado mecánicamente a la pared a una cierta distancia. Son elementos capaces de vibrar al mismo ritmo de la excitación que les llega, siendo absorbentes a un determinado rango de frecuencias, que dependerá de la rigidez del material, distancia a la pared y su masa.

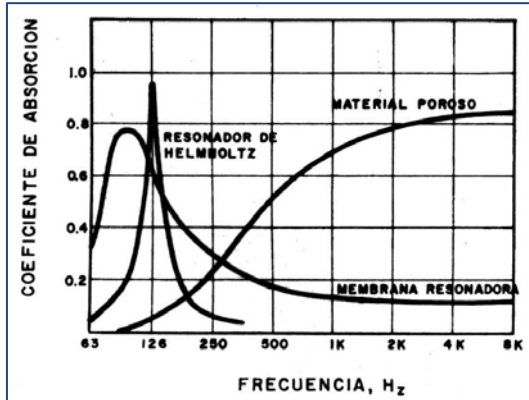


Figura 1. Comportamiento absorbente de los materiales (gráfica del COAM)

Este tipo de absorbente suele acompañarse con materiales porosos con el fin de aumentar su eficacia en medias y altas frecuencias.



Figura 2. Resonador membrana de tablex con material poroso en la cámara.

Cuando se realiza de forma industrial este tipo de materiales reciben el nombre de multicapas.

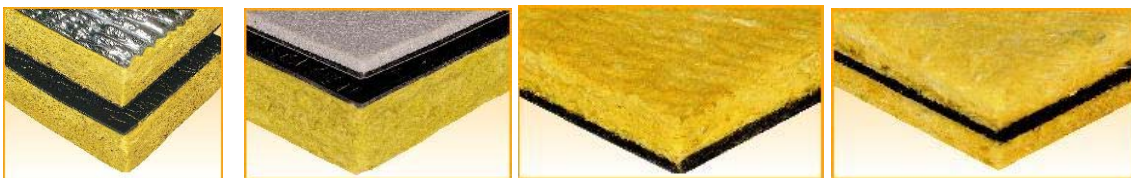


Foto 1. Distintos productos multicapa: Membranas combinadas con lanas minerales, polietilenos y fieltros de algodón reciclado

Por otro lado, en sistemas de doble pared el comportamiento acústico está descrito en la figura 3.1 donde aparecen múltiples frecuencias de resonancia, que desaparecen al introducir en la cámara material porosos como lanas o fieltros, pero todavía quedan la frecuencia de

resonancia del sistema y la frecuencia de coincidencia en altas frecuencias (Ver figura 3.2 curva azul). Al introducir la membrana entre los elementos semirrígidos las frecuencias se desplazan mejorando el aislamiento donde antes había caídas (figura 3.2 curva verde)

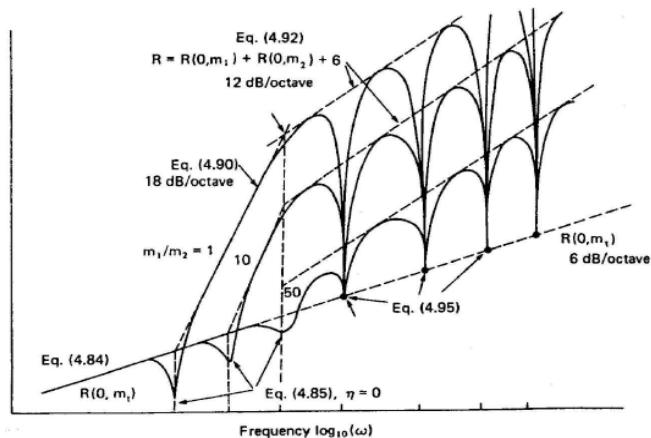


Figura 3.1. Aislamiento entre dos paredes aparecen resonancias debido al efecto cámara

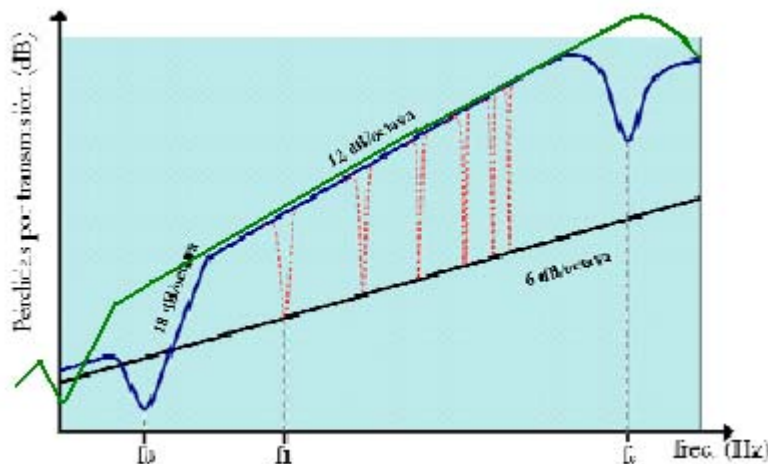


Figura 3.2. Al añadir material absorbente desaparecen las resonancias y el material antirresonante desplazan las frecuencias f_0 y f_c . (modificación sobre gráfica de Isover)

Estos dos comportamientos a bajas frecuencias son los que nos van a permitir obtener un buen aislamiento acústico con espesores muy reducidos.

3. SOLUCIONES PARA DIVISORIA VERTICAL

Las soluciones que se proponen van desde 5 a 8 cm, dependiendo no solo del espesor de la misma, sino del estado de planimetría de la pared existente.

Fundamentalmente consisten en realizar un trasdosado con placas de yeso laminado, introduciendo materiales porosos o multicapas en las cámaras de aire y membranas de alta densidad entre las placas. Estas soluciones se pueden emplear para tabiquería cerámica o de yeso laminado indistintamente. Ver figuras 4, 5 y 6.

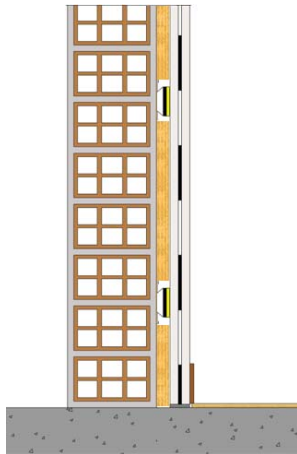


Figura 4. Solución de 4-5 cm.

Realización de la Solución:

1. Preparación de la superficie
2. Fijación de perfil omega a la pared existente
3. Colocación de banda antirresonante en periferia
4. Colocación de material fieltro algodón reciclado de 12-16 mm.
5. Se fijan la 1ª placa de YL N13
6. Fijación de la Membrana de Alta Densidad con grapa
7. Se cierra con la 2ª placa de YL N13
8. Sellado de las placas

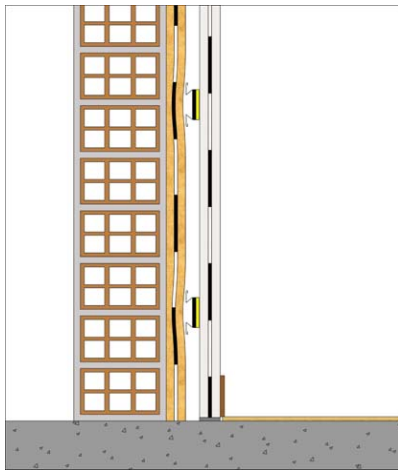


Figura 5. Solución de 6-8 cm.

Realización de la Solución:

1. Preparación de la superficie
2. Fijación del material multicapa, pudiendo ser de 2 o mas capas.
3. Fijación de perfil maestras a la pared existente a través del material
4. Colocación banda antirresonante en periferia
5. Se fijan la 1ª placa de YL N13
6. Fijación de Membrana de Alta Densidad con grapa
7. Se cierra con la 2ª placa de YL N13
8. Sellado de las placas

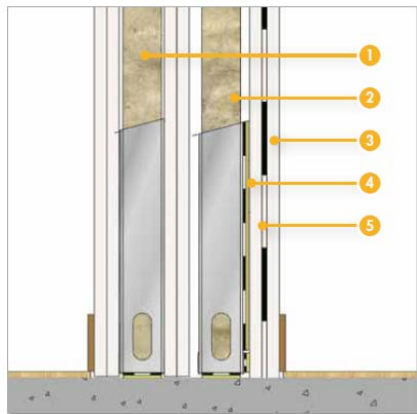


Figura 6. Rehabilitación de tabique de yeso laminado. Solución 8 cm

Realización de la Solución:

1. Preparación de la superficie
2. Colocación de la perfilaría
3. Introducción de material absorbente entre la perfilaría.
4. Colocación banda antirresonante en periferia
5. Se fijan la 1ª placa de YL N13
6. Fijación de Membrana de Alta Densidad con grapa
7. Se cierra con la 2ª placa de YL N13
8. Sellado de las placas

Los productos multicapa se pegan con cola de contacto o se fijan mecánicamente evitando que la fijación coincida con los montantes. Los materiales porosos simplemente se introducen entre la perfilaría. Las membranas se fijan con cola, grapas a la primera placa, seguidamente se atornilla la segunda placa al conjunto.

Algunas veces para mejorar el comportamiento de la perfilaría al realizar un trasdosado directo se incorporan también bandas antirresonante a la misma.



Foto 2. Solución multicapa 7 cm sobre ladrillo



Foto 3. Solución para tabiquería de yeso laminado

4. SOLUCIONES PARA DIVISORIA HORIZONTAL

Las soluciones que se proponen van desde una tarima flotante para los requerimientos más usuales hasta soluciones de mayores prestaciones para mitigar las vibraciones de instrumentos musicales o sistemas de home cinema. Ver figura 7

Los espesores van por tanto desde los 3 mm + espesor del acabado, consiguiendo mejoras desde los 15 hasta los 22 dB a ruido de impacto dependiendo del tipo de madera y si se emplea capa de regularización. En cualquier caso, niveles suficientes para llevar el ruido de impacto a valores de DB-HR. Tiene el inconveniente que la obra se realiza en casa del vecino.



Foto 4. Colocación de tarima flotante. El sellado se realiza con cinta de aluminio para evitar la corriente estática.

En las soluciones más robustas se trata de utilizar espumas de polietileno de rigidez dinámica entre los 50 y 100 MN/m³ combinadas con membranas de alta densidad colocado bajo mortero seco de yeso laminado o de madera, entre la solera se vuelve a introducir una membrana acústica de alta densidad, posteriormente se coloca el acabado elegido. El espesor de la solución es de 3-4 cm + acabado.

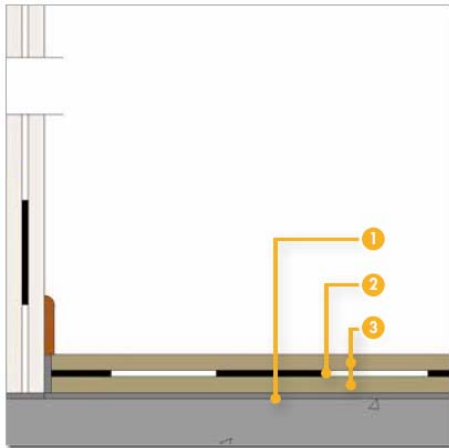


Figura 7. Suelo flotante "seco"

Realización de la Solución:

1. Preparación de la superficie
2. Depositar el material elástico de PE o multicapa. ❶
3. Colocar el 1º tablero hidrófugo ❸
4. Depositar la Membrana acústica de alta densidad entre los dos tableros ❷
5. Colocar el 2º tablero perpendicular al 1º y atornillados ❹

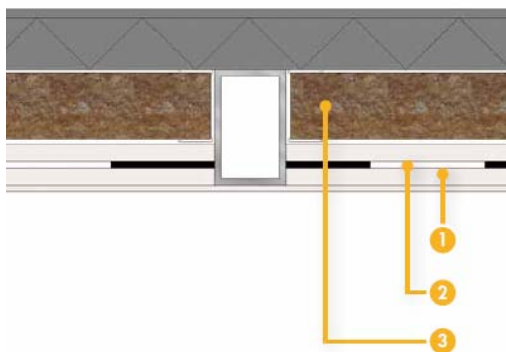


Foto 5. Colocación de suelo flotante "seco" sobre material elástico multicapa

5. SOLUCIONES PARA TECHOS

En el caso de los techos también se aportan distintas soluciones que suelen ir de menor a mayor aislamiento. Así la menor aportación la proporciona un techo directo al forjado consistente en material absorbente en la cámara y doble yeso laminado con una Membrana acústica entre medias. Ver figura 8.

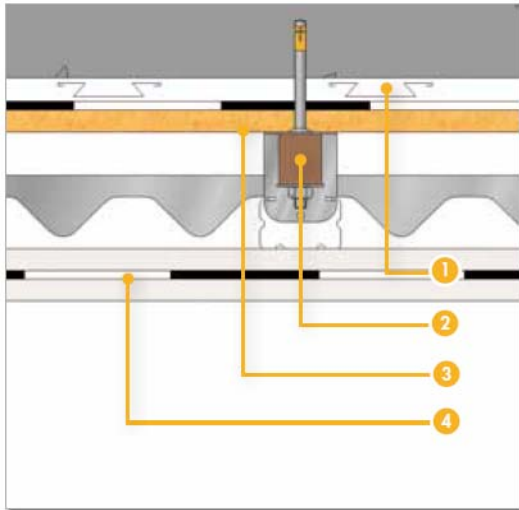
A medida que se añade en la cámara productos multicapa o se incorpora un sistema de amortiguación al techo para dejarlo flotante se irá consiguiendo mayor aislamiento pero a su vez iremos perdiendo espacio. Los espesores van desde 4 a 10 cm. Ver figura 9



Realización de la Solución:

1. Preparación de la superficie
2. Colocación de la perfilaría
3. Introducción de material absorbente entre la perfilaría. ③
4. Se fijan la 1ª placa de YL N13 ①
5. Fijación de la Membrana de Alta Densidad con grapa ②
6. Se cierra con la 2ª placa de YL N13 ①
7. Sellado de las placas

Figura 9. Techo directo al forjado. Solución para rehabilitación de buhardillas.



Realización de la Solución:

1. Preparación de la superficie y replanteo de amortiguadores.
2. Colocación de la perfilaría ①
3. Fijación del material multicapa a la perfilaría auxiliar. ③
4. Fijación del amortiguador al techo mediante varilla y taco de acero. ②
5. Colocación y nivelación de sistema de doble perfilaría para techos flotantes
6. Se fijan la 1ª placa de YL N13 ④
7. Fijación de la Membrana de Alta Densidad con grapa ④
8. Se cierra con la 2ª placa de YL N13 ④
9. Sellado de las placas

Figura 10. Solución con techo flotante



Foto 6. Colocación de material multicapa en perfilaría auxiliar. Detalle de membrana de alta densidad.

6. SOLUCIONES BAJANTES

Caso de rehabilitación puntual, es decir, se conoce la fuente de ruido y lo único que hay que hacer es protegerla con materiales que atenúen su ruido.

En este caso los materiales multicapa al incorporar una membrana de alta densidad suelen ser muy efectivos. Su colocación es muy sencilla, simplemente se corta a medida y se sujeta con cinta de embalaje o bridas o incluso existen versiones autoadhesivas.



Foto 7. Diferentes productos multicapa para bajantes

7. CONCLUSIONES

- Se han visto muchas soluciones que aportan las necesidades precisas a la hora de evaluar el aislamiento acústico por el espesor, pero acústicamente solo se refieren a mejoras en laboratorio sobre tabiques y forjados ideales e inexistentes en las viviendas.
- Por otro lado, la rehabilitación actualmente viene ocasionada por una patología. El aislamiento que facilitan los fabricantes en sus soluciones no puede mitigar, en muchas ocasiones esa patología, aunque los niveles conseguidos fueran considerados buenos.
- Hasta que no exista una legislación que marque valores y pautas de actuación, realmente no se pueden precisar los requisitos necesarios en una rehabilitación acústica. Mientras tanto sigue limitada por la jamba del armario empotrado.
- Hay que reconocer que la rehabilitación acústica es muy nueva y hay mucho todavía por hacer.

8. BIBLIOGRAFIA

- Guía de rehabilitación de Danosa
- Documentación comercial de Isover
- Documentación comercial de Trocellen España

4.2 Soluciones con Lanos Minerales

Fernando Peinado Hernández; Carlos Rodero Antúnez
AFELMA - Asociación de fabricantes españoles de lanas minerales aislantes
fernando.peinado@saint-gobain.com.

1. RESUMEN

Las lanas minerales, lanas de roca y lanas de vidrio, son excelentes materiales aislantes térmicos, y además, debido a su estructura de celda abierta, también son excelentes absorbentes acústicos en las soluciones constructivas de nuestros edificios.

La norma UNE-EN 13162, Productos manufacturados de lana mineral, especificación, define el término lana mineral como material o producto aislante de consistencia lanosa, obtenido por fusión de roca, escoria o vidrio, y en ella se expresan todas las propiedades finales de aplicación que pueden tener estos materiales.

2. INTRODUCCIÓN

Las exigencias del CTE DB-HR, han acercado la calidad de nuestras viviendas nuevas a los valores exigidos en los países de nuestro entorno.

Estas exigencias harán que los edificios, que se construyan en un futuro próximo, sean aceptables, acústicamente hablando. No así, la mayoría de los edificios existentes en la actualidad, cuyas prestaciones de aislamiento acústico son muy deficientes.

En un futuro, más o menos próximo, las viviendas existentes deberán rehabilitarse, y será el momento de adaptarlas a las nuevas exigencias legales y sociales.

Por tanto, hay que promover y/o desarrollar soluciones constructivas que cumplan con los nuevos requerimientos, muchas de ellas conocidas y utilizadas habitualmente en la gran mayoría de los países europeos desde hace muchos años.

No obstante, el problema más grave que nos encontramos en la búsqueda de soluciones constructivas eficaces para mejorar el aislamiento acústico de las viviendas a rehabilitar, es la disponibilidad de espacio suficiente.

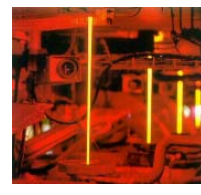
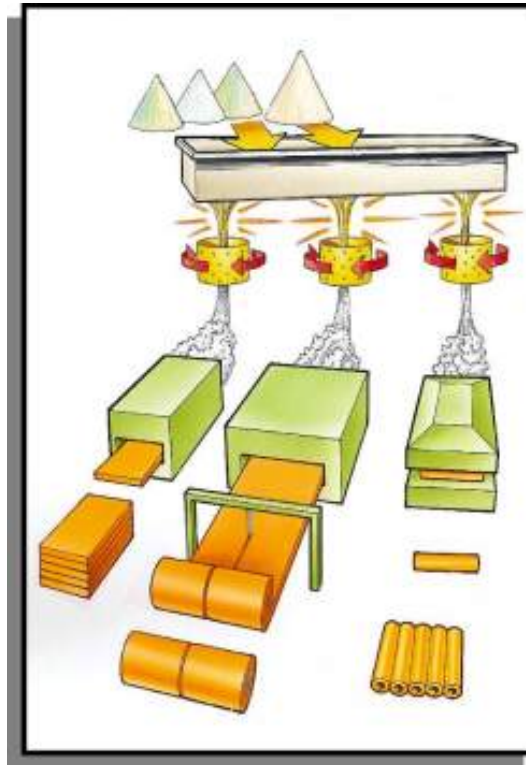
La elección de una buena solución constructiva, y su correcta ejecución, es esencial para obtener los resultados deseados, pero estos resultados también estarán muy condicionados a la buena elección de los materiales acústicos seleccionados.

3. LANAS MINERALES

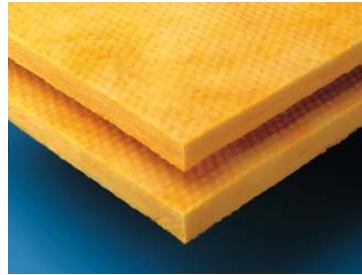
Según la Norma UNE-EN 13162, lana mineral es aquel material o producto aislante de consistencia lanosa, obtenida por fusión de roca o vidrio

Las lanas minerales, (mineral wool o MW en nomenclatura internacional), son materiales aislantes constituidos por un entrelazado de fibras de origen pétreo, formando una estructura flexible y abierta, que contiene sólo aire inmóvil en su interior.

Su proceso de fabricación es sencillo: se funde la materia prima a altas temperaturas ($>1500^{\circ}\text{C}$) y el producto de la fusión se fibra por procesos mecánicos de centrifugado.



El resultado es un producto natural e inorgánico por sus componentes, y su presentación puede ser en forma de rollos o mantas, paneles y coquillas



Las propiedades fundamentales de las lanas minerales son:

- Aislantes térmicos: Gracias al aire inmóvil en su interior, se dificulta el flujo de calor a través del material.
- Aislantes acústicos: La elasticidad de su estructura abierta, les confiere una alta capacidad de absorber la energía acústica que produce el ruido.
- Protección pasiva frente al fuego: Por su carácter inorgánico, no arden, ni producen humos, y además mantienen su capacidad de aislamiento térmico incluso a altas temperaturas.

4. COMPORTAMIENTO ACÚSTICO DE LAS LANAS MINERALES

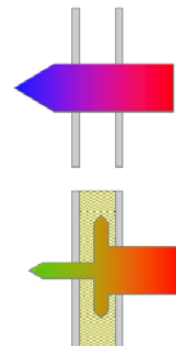
Las características que definen el comportamiento acústico de un producto de lana mineral, vienen determinadas por:

- o la resistividad al paso del aire, r ($\text{KPa}\cdot\text{s}/\text{m}^2$)
- o la rigidez dinámica, s' (MN/m^3)
- o absorción acústica, α_w (adimensional).

1. Resistividad al paso de aire, r ($\text{KPa}\cdot\text{s}/\text{m}^2$)

Es la capacidad de reducir la energía acústica transmitida, disminuyendo la velocidad del sonido dentro de la lana mineral:

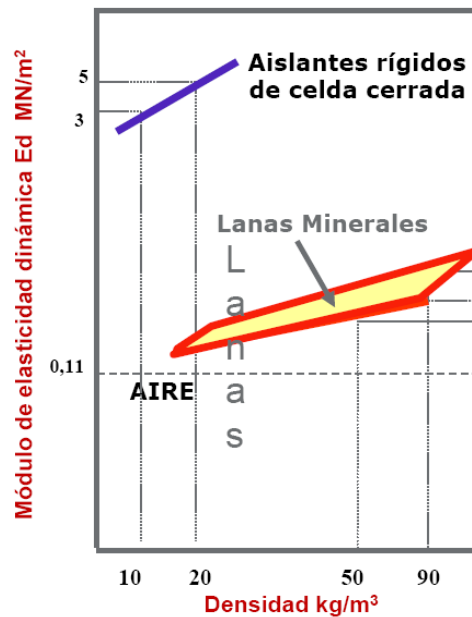
- o Velocidad del sonido en aire: 340 m/s
- o Velocidad del sonido en lana mineral; ≈ 180 m/s



La resistividad al paso de aire, r , se determina mediante ensayo realizado de acuerdo a la norma UNE-EN 29053 y es requerida a los productos que rellenan las cámaras y/o trasdosados.

2. Rigidez dinámica, s' (MN/m^3)

Es la capacidad de actuar como muelle, amortiguando los ruidos y las vibraciones.



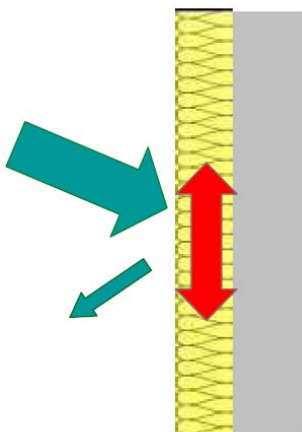
$$s' = \frac{E_d}{d}$$

- s' Rigidez dinámica del material (MN/m^3)
- E_d Módulo de elasticidad dinámica (MN/m^2)
- d Espesor del material (m)

La rigidez dinámica, s' , se determina mediante ensayo realizado de acuerdo a la norma UNE-EN 29052-1 y es requerida a los productos que se utilizan en suelos flotantes y bandas elásticas.

3. Absorción acústica, α_w (adimensional)

Es la capacidad de absorber parte de la energía acústica incidente en un material.

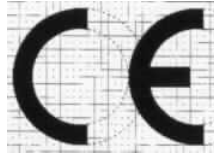


$$\alpha = \frac{\text{Energía absorbida}}{\text{Energía incidente}}$$

La absorción acústica, α , se determina mediante ensayo realizado de acuerdo a la norma UNE-EN ISO 354, y es requerida a los productos que se utilizan como absorbentes acústicos.

5. CERTIFICACIONES DE LAS LANAS MINERALES

En cumplimiento de la Directiva Europea 89/106/CEE para los productos de la Construcción, todos los productos de lana mineral que vayan a aplicarse en edificación han de estar certificados y disponer del correspondiente marcado CE.



Con carácter voluntario, estos productos pueden tener otros certificados, emitidos por terceros, como es la certificación de AENOR.



Esas certificaciones se realizan según la norma de producto para lana minerales aislantes, UNE-EN 13162. Las propiedades acústicas certificadas se encuentran en el apartado código de designación de los certificados:

MW-EN13162-...-SD(i)-AW(i)-AFr(i)

SD(i): Rigidez Dinámica.
 AW(i): Coef. Absorción Acústica.
 AFr(i): Resistividad al flujo del aire.
 Donde (i) es el valor declarado y/o certificado para cada propiedad.

6. SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS CON LANAS MINERALES

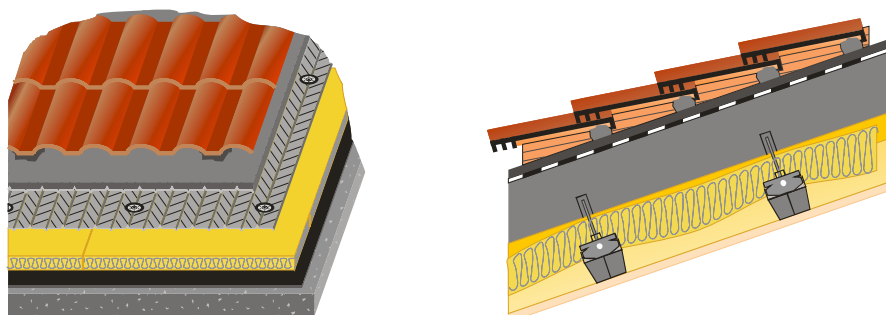
La rehabilitación acústica de los edificios se podrá hacer de forma total, parcial o puntual, para lo cual se deben seleccionar los productos acústicos adecuados, dentro de una solución constructiva determinada y su correcta ejecución.

Las lanas minerales se diseñan para cada tipo de aplicación y sistema constructivo, según los requerimientos acústicos, pero sin olvidar otros requerimientos como resistencia mecánica, impermeabilización, barrera de vapor,

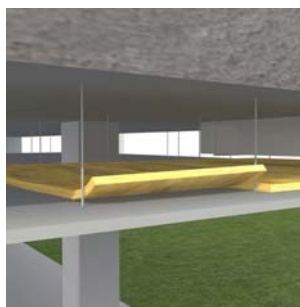
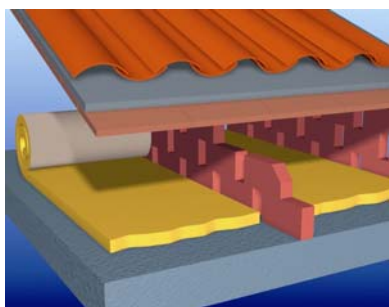
A continuación se presentan las soluciones constructivas más usuales en la rehabilitación acústica de edificios:

1. Rehabilitación en cubierta:

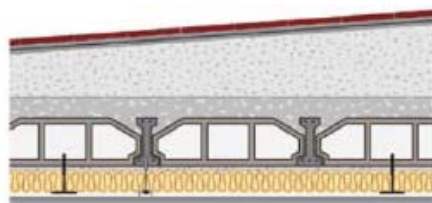
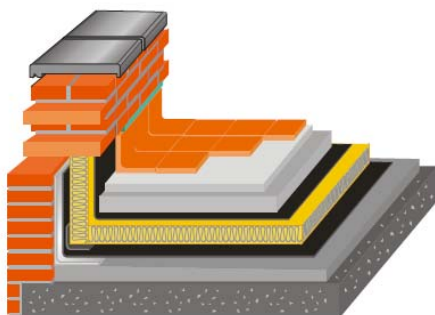
Cubierta inclinada habitable



Cubierta inclinada no habitable



Cubierta plana transitable



Rehabilitación en Cubierta Comparativa de aislamiento por el interior

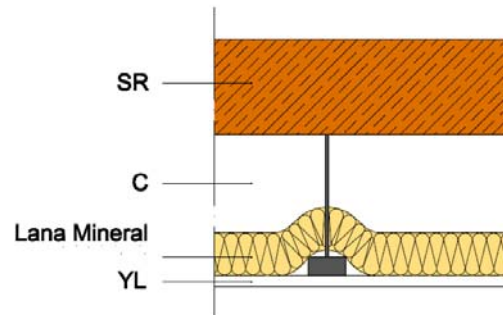
Rehabilitación de techos suspendidos

Cubiertas de forjado cerámico 20 + 5 con acabado de teja o cubierta plana
($U_{\text{inicial}} = 1,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$)

Techos suspendidos de PYL de 15 mm	Transmisión térmica $U \text{ (W/(m}^2\text{K))}$	Mejora del aislamiento acústico	
		Ruido aéreo dBA	Ruido impacto dB
Con cámara de aire de 100 mm y Lana Mineral de 50 mm	0,48	+13	-9
Con cámara de aire de 100 mm y Lana Mineral de 80 mm	0,35	+15	-9

* Valores de acuerdo al Catálogo de Elementos Constructivos del CTE

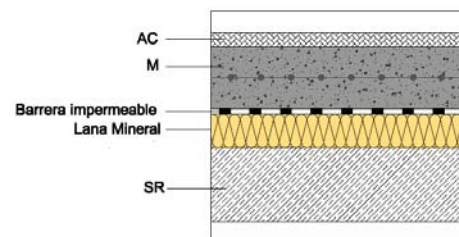
2. Falsos techos:



3. Suelos Flotantes:

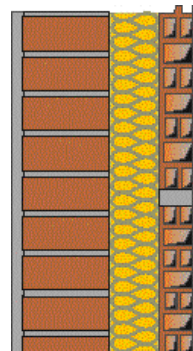
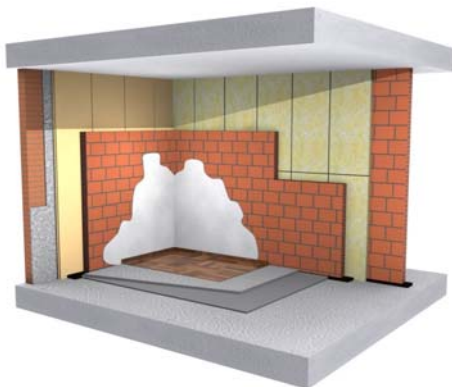
Realizar pavimentos flotantes sobre Lanas Minerales, constan de:

- | | |
|-----------------|---|
| Parte rígida: | Elementos de obra seca (PYL) u obra húmeda (capa de mortero de reparto) |
| Parte Elástica: | Lanas Minerales de bajo espesor |



4. Fachadas aisladas por el interior:

Fachada de doble hoja cerámica



Fachada de doble hoja cerámica + Trasdoso PYL



Rehabilitación de Fachadas Comparativa de aislamiento por el interior

Rehabilitación de fachadas con trasdosados

½ pie de ladrillo cerámico cara vista ($U_{\text{inicial}} = 2,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$)

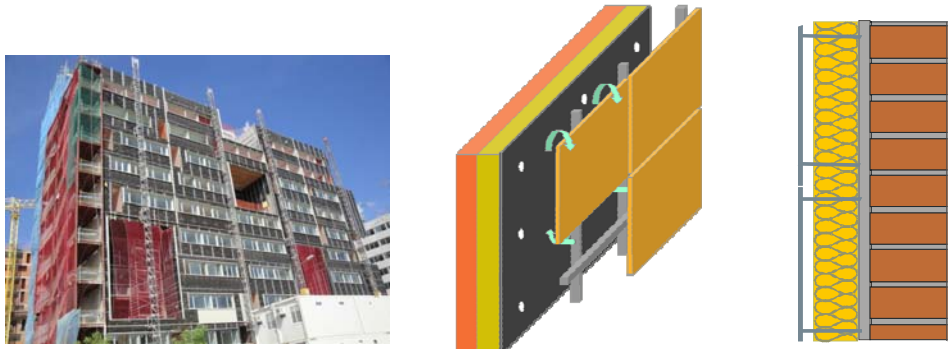
Rehabilitación	Transmisión térmica U ($\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$)	Mejora del aislamiento acústico a ruido aéreo dBA
Lana Mineral de 50 mm y LHS de 5 cm	0,54	+5*
Entramado autoportante con lana Mineral de 50 mm + PYL de 15 mm	0,56	+15**

* Valores de acuerdo al Catálogo de Elementos Constructivos del CTE

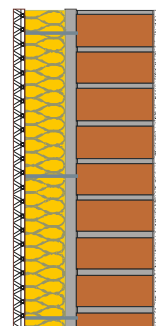
** Valores de ensayo en laboratorio acreditado

5. Fachadas aisladas por el exterior:

Fachada ventilada



Fachada con SATE/ETIC



Rehabilitación de Fachada Comparativa de aislamiento por el exterior

Rehabilitación de fachadas con aislamiento exterior

½ pie de ladrillo de hormigón ($U_{\text{inicial}} = 2,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$)

Aislamiento por el exterior con Lana Mineral de 50 mm	Transmisión térmica $U \text{ (W}/(\text{m}^2\text{K}))$	Mejora del aislamiento acústico a ruido aéreo dBA
Fachada Ventilada	0,54	+6*
ETICS (o SATE)	0,54	+6*

* Valores de ensayo en laboratorio

6. Particiones interiores verticales y medianerías:

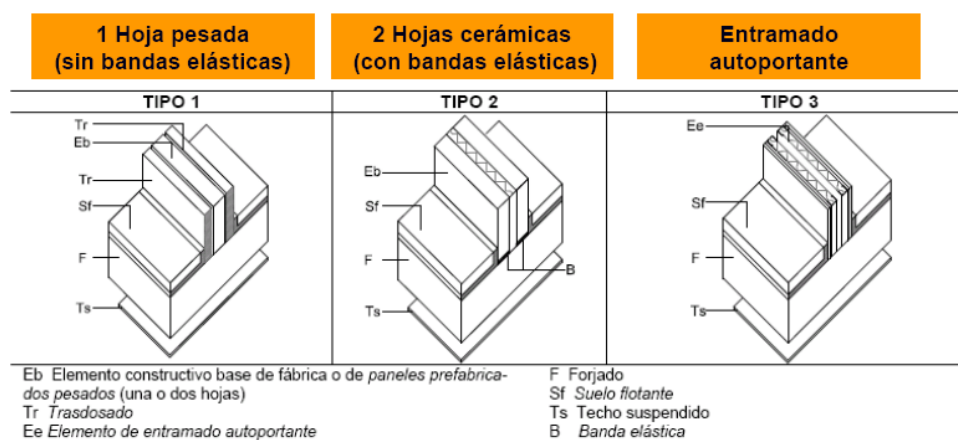
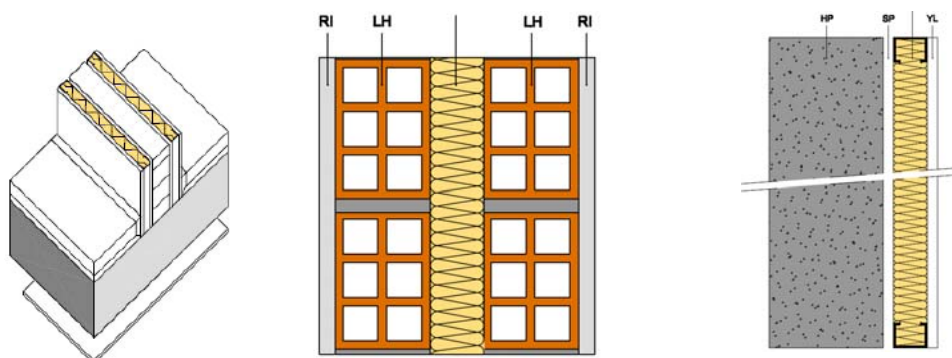
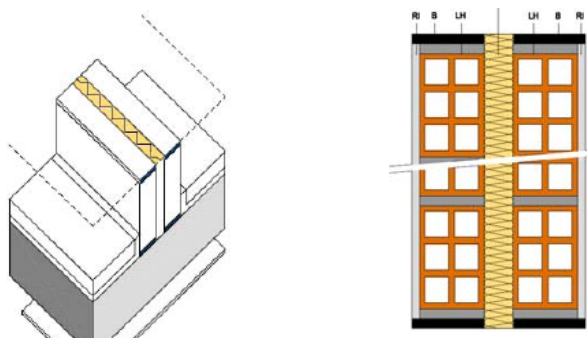


Figura 3.2. Composición de los elementos de separación entre recintos

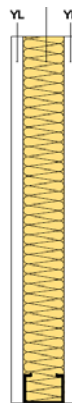
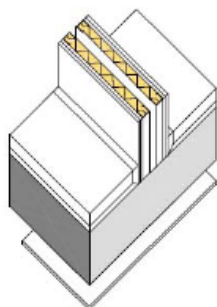
Tipo I**Tabla 3.2. Parámetros acústicos de los componentes de los elementos de separación verticales**

Tipo	Elementos de separación verticales			
	Elemento base ⁽¹⁾⁽²⁾ (Eb - Ee)		Trasdoso ⁽³⁾ (Tr) (en función de la tabiquería)	
			Tabiquería de fábrica o paneles prefabricados pesados ⁽⁴⁾	Tabiquería de entramado autoportante
	m kg/m ²	R _A dBA	ΔR _A dBA	ΔR _A dBA
TIPO 1 Una hoja o dos hojas de fábrica con <i>Trasdoso</i>	67	33		16 ⁽⁸⁾⁽¹¹⁾
	120	38		14 ⁽⁸⁾⁽¹¹⁾
	150	41	16 ⁽⁸⁾	13 ⁽¹¹⁾
	180	45	13	9 ⁽¹¹⁾ (12) ⁽¹¹⁾
	200	46	11 ⁽¹¹⁾	10 ⁽¹³⁾ (10) ⁽¹¹⁾

Tipo II

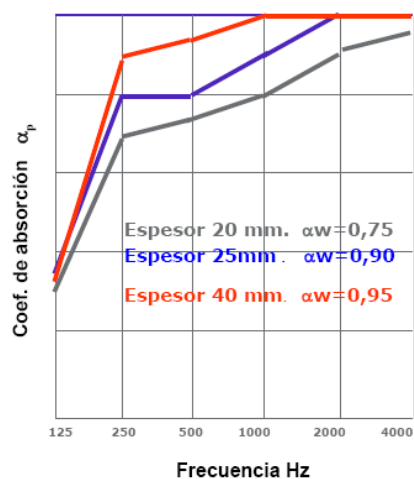
	m kg/m ²	R _A dBA
TIPO 2 Dos hojas de fábrica con <i>bandas elásticas perimétricas</i>	130 ⁽⁵⁾	54 ⁽⁵⁾
	170 ⁽⁵⁾	54 ⁽⁵⁾
	(200) ⁽⁶⁾	(61) ⁽⁶⁾

Tipo III



	m kg/m^2	R_A dBA
TIPO 3 <i>Entramado autopor- tante</i>	$44^{(12)}$	$58^{(12)}$
	$(52)^{(9)}$	$(64)^{(9)}$
	$(60)^{(10)}$	$(68)^{(10)}$

7. Techos absorbentes acústicos:



4.3 Soluciones que aportan mejoras acústicas en rehabilitación

Yago Massó Moreu

ANDIMAT - Asociación Nacional de Fabricantes de Materiales Aislantes.

ymasso@andimat.es

El objetivo de esta ponencia es aportar algunas de las innovaciones de los industriales y su visión práctica para solucionar estos problemas tanto en obra nueva como en la rehabilitación de edificios.

Existen en el mercado soluciones constructivas para rehabilitación que además de mejorar la envolvente térmica del edificio suponen una mejora de las condiciones acústicas. Se han realizado ensayos y mediciones que aportan mejoras de aislamiento acústico en concreto:

- Soluciones con espuma de poliuretano de celda abierta de baja densidad para relleno en cámaras que aportan mejoras de aislamiento acústico.
- Soluciones con espuma de poliuretano de celda cerrada y celda abierta para aislamiento de suelos flotantes.
- Soluciones de cerramientos acristalados con vidrios acústicos y marcos con alta permeabilidad al aire
- Soluciones con espuma de polietileno reticulado para sistemas de suelo flotante (con tarima o suelo laminado)
- Soluciones con espuma de poliestireno expandido elastificado para sistemas de suelo flotante
- Soluciones de espumas flexibles para rehabilitación de bajantes

1. SOLUCIONES CON ESPUMA DE POLIURETANO DE CELDA ABIERTA DE BAJA DENSIDAD PARA RELLENO EN CÁMARAS DE AIRE DE LAS FACHADAS

La solución de rehabilitación por medio de la inyección de aislamiento en la cámara se recomienda siempre que esta sea accesible y cumpla con una serie de requisitos que hagan la intervención segura.

Se puede inyectar poliuretano en cualquier fachada de doble hoja, ya sea de ladrillo, hormigón, cemento, yeso laminado, fibrocemento, metal o madera, siempre que disponga de un espacio hueco en el medio del cerramiento (cámara de aire).

El poliuretano se inyecta en estado líquido en la cámara de aire de la fachada, expandiéndose en el interior y formando una espuma rígida de celda abierta de gran capacidad aislante y muy baja densidad, donde sólo el 2% es materia sólida.

Recomendaciones de instalación:

Se puede decidir inyectar desde el exterior o desde el interior. El resultado será idéntico, por lo que la decisión dependerá del estado de la fachada, o de la actuación posterior que se desee hacer, si se quiere reparar el exterior o el interior.

Se debe medir el espesor medio de la cámara de la fachada mediante catas uniformemente distribuidas en la fachada (se recomienda al menos 10 medidas cada 100 m², calculando la media de todas las medidas)

Se debe comprobar la existencia de un espesor mínimo y continuo de cámara para inyección. En una cámara menor de 3 cm, o con rebabas internas de mortero que dejen estrecheces menores de 3 cm, o con presencia de cascotes y restos de obra, el correcto llenado de la cámara puede verse seriamente dificultado. Cuanto más gruesa sea la cámara a rellenar, y más limpia esté, mejores serán los resultados de la inyección y por tanto mayor mejora térmica.

Se debe comprobar la existencia y el estado de las canalizaciones eléctricas en las cámaras y su conexión con cajas y automatismos. Hay que quitar y tapar el hueco en todos aquellos enchufes, cajas de conexión o automatismos que comuniquen con la cámara, más habitual con tabiques interiores de ladrillo hueco sencillo o de placa de yeso laminado

Las inyecciones se realizarán a través de taladros espaciados sobre la fachada, con una separación máxima de unos 50 cm entre sí, sin que se sitúen sobre la misma línea. La inyección debe comenzar por los taladros situados en la parte inferior, llenando la cámara de abajo arriba lentamente ya que el material específico para estos casos, de baja densidad; en expansión libre; y con un periodo de espumación lento debe saturar el volumen de la cámara

sin crear tensiones excesivas en las fábricas colaterales ya que éstas se pueden llegar a fisurar.

En la elección de este tipo de solución se ha de tener en cuenta que el llenado del volumen de la cámara puede verse entorpecido por elementos distorsionantes internos.



Figura 1. Sección de una fachada de doble hoja con cámara de aire (fuente google)

Ensayos realizados sobre un ladrillo cerámico perforado con revestimiento de mortero, Espuma de Poliuretano de Celda Abierta Baja Densidad (fabricada por Synthesia Internacional, S.L.U) y ladrillo hueco sencillo. Han obtenido valores en laboratorio: (*LABEIN Informe de Ensayo 90.4950.0-IN-CT-08/38 II*) de $R_A = 51,3$ dBA y $R_w (C,;Ctr) = 51 (-1;-3)$ dB.

2. SOLUCIONES CON ESPUMA DE POLIURETANO PARA AISLAMIENTO A RUIDO DE IMPACTO DE SUELOS

La solución de rehabilitación de un suelo incorporando un suelo flotante mediante proyección de espuma de poliuretano, está más recomendada en casos en los que se realice una rehabilitación integral.

Se proyecta la espuma de poliuretano sobre forjado y a continuación se incluye un mortero de nivelación y un acabado superficial visto. Las posibles instalaciones que van por el suelo o forjado son embebidas y forradas por la espuma proyectada consiguiendo un sistema continuo uniforme.

Como recomendaciones de la solución:

Se debe proyectar en una sola pasada para conseguir el espesor deseado, si las condiciones ambientales lo permiten.

Se deben sellar perfectamente todas las instalaciones que podamos tener así como los encuentros con particiones verticales y pilares, de esta forma conseguiremos un sistema continuo sin puentes térmicos ni acústicos.

Se debe desolidarizar el suelo con los encuentros verticales (paredes verticales) realizando una proyección continua que suba por el encuentro al menos uno o dos centímetros más que el espesor de la capa de mortero de nivelación par evitar que no se conecte con la pared y suelo.

Ensayos realizados en un forjado con Espuma de Poliuretano de celda abierta de alta densidad (fabricada por Synthesia Internacional, S.L.U) un mortero de nivelación y un acabado superficial visto han obtenido valores en laboratorio: (*LABEIN Informe de Ensayo 90.2632.0-IN-CT-08/16 II*) $R_A = 56$ dBA (espesor 20 mm) $L_{nw} = 60$ (-2;-8) dB (espesor 20 mm). Valores calculados: (*Norma EN-12354-2:2000, Anexo C Suelos Flotantes*) $\Delta L_w = 26$ dB (espesor 20 mm) y $\Delta L_w = 28$ dB (espesor 30 mm). Adicionalmente valores *in situ*: (*Sogarte Ingeniería, S.L. Nº Informe MRI-20102008-64*) $L'_{nTw} (C1) = 53$ (5) dB (espesor 30 mm).

3. SOLUCIONES DE CERRAMIENTOS ACRISTALADOS CON VIDRIOS ACÚSTICOS Y MARCOS CON ALTA PERMEABILIDAD AL AIRE

En los cerramientos de los huecos es necesario tener en cuenta el acristalamiento de los mismos y los sistemas de cierre de los marcos, así como su anclaje al muro. La permeabilidad al aire y la mala hermeticidad del cierre suponen pérdidas de aislamiento que difícilmente podrán ser compensadas con acristalamientos de mejor comportamiento acústico. Los acristalamientos mejorarán su comportamiento en función de su masa (espesor de vidrio) y con la incorporación de materiales que amortigüen la transmisión como las láminas de PVB (Butiral de Polivinilo) entre dos vidrios.

Los vidrios laminados ofrecen un mejor aislamiento acústico que un vidrio monolítico que presente el mismo espesor total. Si se utiliza una película simple de PVB, la influencia de la frecuencia crítica permanece aunque la pérdida de aislamiento es menos acusada. Con ello se consigue mejorar las prestaciones de un vidrio monolítico y se suman las ventajas de un vidrio de seguridad.

Un doble acristalamiento posee dos frecuencias críticas: una por cada luna de vidrio. Si el doble acristalamiento es simétrico, la degradación del aislamiento acústico es superior a la de cada vidrio por separado. En el caso de un doble acristalamiento, la degradación es inferior a la de cada vidrio por separado. El aislamiento acústico de un acristalamiento asimétrico es por tanto mejor que el de un acristalamiento simétrico que tenga el mismo espesor total de vidrio. En la figura 2 se muestra dicha diferencia.

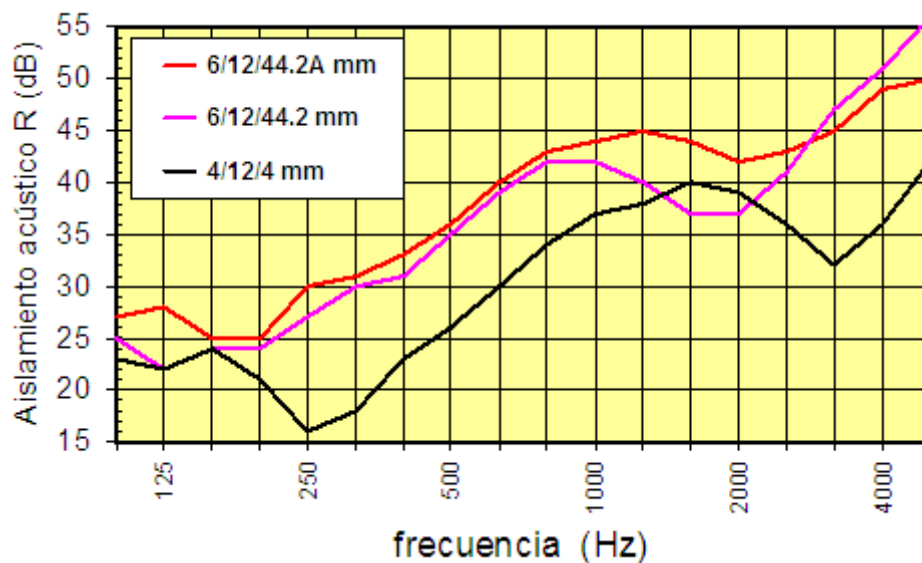


Figura.2 Gráfica de aislamiento acústico frente a la frecuencia para distintas composiciones de dobles acristalamientos.

El doble acristalamiento permite un gran aislamiento acústico sobre la base de las siguientes características: Vidrios de gran espesor, espacio separador amplio, ensamblaje asimétrico, y vidrio laminar con una película acústica de PVB.

Partiendo de estas bases, pueden obtenerse prestaciones para ruido urbano de $R_w + C_{tr} = 42$ dB y algo superiores a 47 dB para $R_w + C$.

Esto significa una mejora de 12 dB para el ruido del tráfico urbano y de hasta 16 dB para $R_w + C$ respecto a un vidrio monolítico. En el doble acristalamiento 4/12/4 mm, la mejora es de 16 dB para $R_w + C_{tr}$ y de hasta 18 dB para $R_w + C$. Esto es importante ya que puede decirse que aproximadamente una reducción de 10 dB del nivel sonoro es percibida como una reducción de la mitad del ruido. Hay que tener en cuenta que el aislamiento acústico global viene determinado por el elemento más débil.

4. SOLUCIONES CON ESPUMA DE POLIETILENO RETICULADO PARA SISTEMAS DE SUELO FLOTANTE (CON TARIMA O SUELO LAMINADO)

En los casos en los que se sustituya la tarima o parquet en un edificio se puede realizar incorporando láminas de espuma de polietileno reticulado con una lámina de polietileno bajo el suelo laminado/parquet que proporciona reducciones de ruido de impacto y ruido aéreo con un espesor muy bajo.

En este caso el suelo flotante se coloca sobre la capa de nivelación o pavimento existente formando una lámina de espuma de PE reticulado que lleva pegado un film y está preparado para recibir directamente el suelo de madera o laminado.

Para la correcta instalación de esta solución se debe prestar atención a la colocación de la lámina que debe solaparse unos 7-8 cm. Además se debe utilizar una cinta autoadhesiva de aluminio para el sellado de juntas y por último la colocación del suelo en transversal a las láminas se muestra un detalle en la Figura 4.

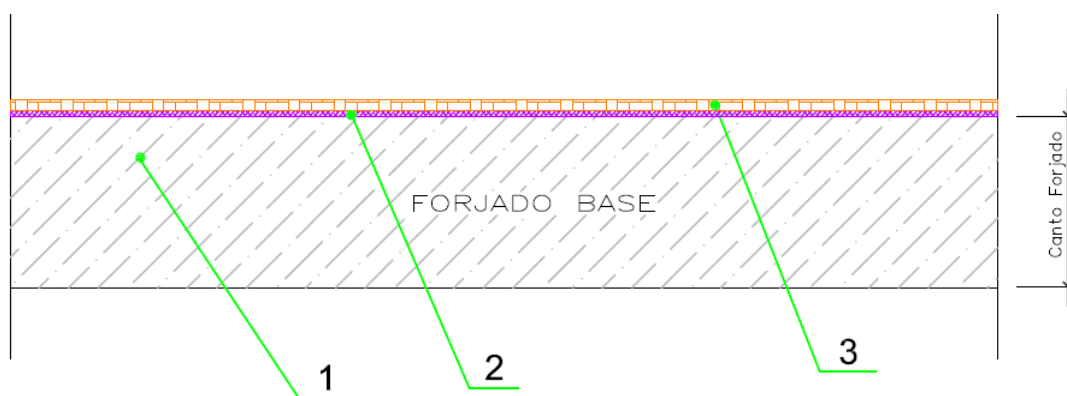


Figura 3. Sección del forjado

Leyenda

1. Forjado base
2. Lámina aislante de espuma de polietileno reticulado de 3 mm y film de barrera de vapor de 100 micras.
3. Suelo laminado tipo AC3, de 7 mm de espesor.

Ensayos realizados en una losa de referencia de 14 cm, solera de mortero de 7 cm, una lámina aislante de espuma de polietileno reticulado de 3 mm (fabricada por TROCELLEN IS PLUS PARQUET 3MM) y un film de polietileno y una tarima de madera de 7 mm han obtenido valores en laboratorio: (*AUDIOTEC Informe de Ensayo CTA 377/09/IMP*) Mejora ΔR_A de 3,5 dBA (EN-ISO 140-3) y Mejora ΔL_w de 21,0 dB (EN-ISO 140-8).



Figura 4. Detalle de instalación de la lámina de polietileno y la tarima/parquet.

5. Soluciones con espuma de poliestireno expandido elastificado para sistemas de suelo flotante

La solución de rehabilitación de un suelo incorporando un suelo flotante mediante la instalación de planchas de poliestireno expandido elastificado, está más recomendada en casos en los que se realice una rehabilitación integral.

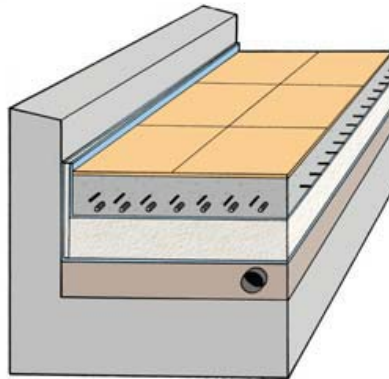


Figura 5. Detalle de un suelo flotante con espuma de Poliestireno Expandido Elastificado (EEPS)

Se debe prestar especial atención a la colocación de los paneles de poliestireno elastificado “a tope” y se pondrá una banda de EEPS que evite el contacto rígido de la solera superior con los paramentos perimetrales. Esta banda deberá sobresalir al menos 2 cm de la superficie superior de la losa para que al verter el mortero no entre en contacto con las particiones verticales.

Se debe colocar una lámina de polietileno (0,2 mm aproximadamente) solapando en juntas 10 cm en caso que el producto no lleve incorporada dicha membrana. Esta lámina también deberá cubrir el encuentro entre la pieza lateral y la de suelo. Intentar que este proceso sea inmediato al anterior para que el tránsito no deteriore los materiales.

Ensayos realizados en un forjado con Espuma de poliestireno expandido elastificado de 20mm de espesor sobre una losa normalizada y sobre el aislamiento un mortero de nivelación y un acabado superficial visto obteniendo valores en laboratorio: (LABEIN Informe de Ensayo 80-0506.0-01-IN CT/08/01) $\Delta Lw = 23$ dB y mejora ΔR_A de 6 dBA (EN-ISO 140-3).

6. Soluciones de espumas flexibles para rehabilitación de bajantes

Si se aprovecha una rehabilitación para aislar las tuberías, bajantes y conductos con espumas flexibles conseguimos una atenuación del ruido producido por las instalaciones del edificio, ya que se reducen las vibraciones que producen las tuberías y conductos al transportar fluidos o aire en su interior.

Aislar las tuberías, bajantes y conductos de instalaciones evitará la transmisión de ruido de vibraciones entre la estructura del edificio.

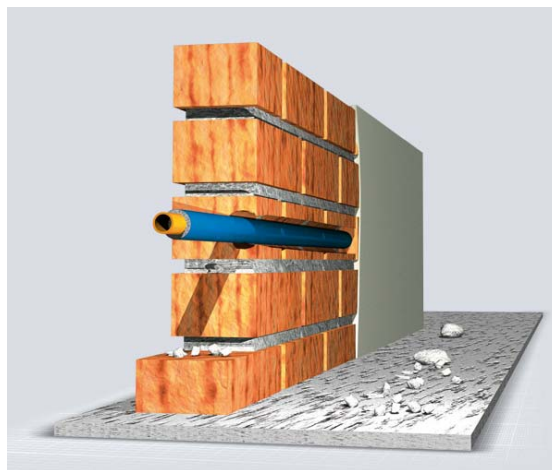


Figura 6. Sección de una pared que muestra una tubería aislada con una espuma flexible encastada.

Para instalaciones o recintos con instalaciones: es importante hablar del ruido de vibraciones. La mayoría de las instalaciones en un edificio producen vibración de carácter continuo. El aislamiento se consigue con sistemas antivibratorios de tipo muelle, caucho u otros materiales para motores y máquinas. También es necesario aislar todas las instalaciones anejas, como las tuberías y otros elementos de transmisión de fluidos.

4.4 Criterios de mejora acústica de cerramientos de huecos en las actuaciones de rehabilitación

Gómez Arroyo, Inés¹; Martín Hernanz, Pablo¹; Mateos Vizuite, Miguel²

1: ASEFAVE. Asociación Española de Fabricantes de Fachadas Ligeras y Ventanas;

2: TecNALIA Research & Innovation

tecnico@asefave.org; director@asefave.org; miguel.mateos@tecnalia.com

1. INTRODUCCIÓN

La rehabilitación de los huecos acristalados de la fachada es uno de los aspectos fundamentales para lograr los adecuados niveles de confort, tanto acústico como térmico, en el interior de las viviendas existentes.

La exigencia respecto a los niveles de aislamiento acústico de los huecos para edificios de nueva construcción aumentó respecto a las antiguas exigencias de la Norma Básica de la Edificación, NBE-CA-88, aumentando así el nivel de protección acústica en las viviendas, reduciendo los riesgos y molestias que los usuarios pueden sufrir en el interior de sus viviendas. Sin embargo, el ámbito de aplicación de Documento Básico de Protección frente al Ruido del Código Técnico de la Edificación se orienta principalmente a edificios de obra nueva, excluyendo las obras de ampliación, modificación, reforma o rehabilitación en los edificios existentes, salvo cuando se trate de rehabilitación integral.

Es necesario destacar la importancia de la rehabilitación acústica, especialmente relevante en el caso de los huecos y establecer los criterios con los cuales se pueden llevar a cabo estas actuaciones. De esta manera se conseguirá aumentar el confort acústico en el parque de viviendas existente.

2. NORMATIVA DE APLICACIÓN

La Norma Básica de la Edificación, NBE-CA-88, determinaba el aislamiento acústico de fachadas mediante el aislamiento global de elementos constructivos mixtos, a_g , exigiendo un valor mínimo de 30 dBA. El valor mínimo del aislamiento acústico de las ventanas que era necesario para conseguir el aislamiento global, en el caso de tipo de ruido de automóviles, se situaba en valores de entre 26 a 30 dBA de aislamiento, en función de la relación de superficies de ventanas y fachadas, valores mucho menos exigentes que los que actualmente se indican en el Documento Básico del Protección frente al ruido del Código Técnico de la Edificación (DB HR).

Teniendo en cuenta que, según datos del INE, el 70% de las viviendas existentes fueron edificadas con posterioridad a 1960, siendo las viviendas terminadas entre 1971 y 1980 las que componen el intervalo más frecuente (23,4% del total), seguido de aquellas construidas en el periodo 1961-1970 (17,3%) [3], la capacidad y necesidad de la rehabilitación acústica de las viviendas, para adaptarlas a las actuales exigencias es muy relevante.

Hay que destacar además, que el aislamiento de una fachada en su conjunto será, como máximo, 10 dBA mayor que el elemento constructivo más débil desde el punto de vista acústico, por lo que será necesario en las actuaciones de rehabilitación acústica aumentar el aislamiento acústico de las ventanas para conseguir mejorar el comportamiento acústico global de la fachada.

Para establecer los criterios con los cuales rehabilitar acústicamente los huecos se analiza la normativa de aplicación, los factores de influencia en el aislamiento acústico y la importancia de la correcta instalación para garantizar los valores de aislamiento teóricos obtenidos en los ensayos en laboratorio.

El DB HR establece el aislamiento acústico a ruido aéreo necesario a alcanzar en las fachadas. Se definen unos valores de aislamiento acústico a ruido aéreo, entre un recinto protegido y el exterior, en función del índice de ruido día, L_d , diferenciando el uso del edificio y el tipo de estancia. A partir de dichos valores se fijan los parámetros acústicos de fachadas, y en concreto el valor R_{Atr} a alcanzar de los componentes del hueco, que se aplica a las ventanas que dispongan de aireadores, sistemas de microventilación o cualquier otro sistema de abertura de admisión de aire con dispositivos de cierre en posición cerrada. Dichos valores, en función del porcentaje de huecos en fachada, varían desde valores de $R_{Atr} = 25$ dBA a 53 dBA cuando el ruido exterior dominante es de aeronaves.

Para las rehabilitaciones acústicas de huecos, se propone adoptar como recomendables, los valores exigidos en el DB HR para las ventanas instaladas en obra nueva.

Para la elección de las ventanas adecuadas a los niveles exigidos en la legislación se puede recurrir a los valores tabulados en la norma de producto de ventanas, los valores de referencia del Catalogo de Elementos Constructivos o preferiblemente, los valores de ensayo aportados por los diferentes fabricantes.

La Norma Europea de producto de ventanas, EN 14351-1:2006+A1:2011 indica que el aislamiento acústico R_w (C; C_{tr}) de las ventanas debe determinarse mediante ensayo de acuerdo con la Norma Europea EN ISO 140-3 (Método de referencia). Actualmente esta norma está anulada y ha sido sustituida por la norma EN ISO 10140-2:2010. Como alternativa al ensayo, el aislamiento acústico de ventanas sencillas con unidades de vidrio aislante puede ser determinado utilizando valores tabulados, según se indica en el anexo B de la norma de producto. Los resultados deben expresarse de acuerdo con la Norma Europea EN ISO 717-1. En el caso de los valores de aislamiento acústico de ventanas con $R_w \geq 39$ dB o $R_w + C_{tr} \geq 35$ dB deben determinarse mediante ensayo.

Los valores del aislamiento acústico de las ventanas, definidos como R_w (C; C_{tr}) se incorporan al marcado CE de la ventana, del que el fabricante de la misma es responsable.

En la propia norma de producto se establecen las reglas de extrapolación de los resultados respecto al tamaño de las ventanas. Los valores tabulados se muestran en las siguientes tablas, limitando la posibilidad de realizar este cálculo para ventanas con clase de permeabilidad al aire mayor o igual que 2 para ventanas deslizantes y permeabilidad mayor o igual que 3 para ventanas no practicables, batientes y oscilobatientes.

Tabla 1. Valores acústicos tabulados para ventanas fijas, abatibles y oscilobatientes según Norma Europea EN 14351-1:2006+A1:2011

Acristalamiento	R_w (C, C_{tr}) Área total de la ventana $\leq 2,7\text{m}^2$	R_w (C, C_{tr}) $2,7 \leq$ Área total de la ventana $\leq$ $3,6\text{m}^2$	R_w (C, C_{tr}) $3,6 \leq$ Área total de la ventana $\leq$ $4,6\text{m}^2$	R_w (C, C_{tr}) Área total de la ventana $\geq 4,6$ m^2
4/cámara/4 ^(*)	32 (-1;-5)	31 (-1;-5)	30 (-1;-5)	29 (-1;-5)
6/cámara/4 ^(*)	34 (-1;-4)	33 (-1;-4)	32 (-1;-4)	31 (-1;-4)
6/cámara/6 ^(*)	33 (-1;-4)	32 (-1;-4)	31 (-1;-4)	30 (-1;-4)
8/cámara/4 ^(*)	34 (-1;-4)	33 (-1;-4)	32 (-1;-4)	31 (-1;-4)
8/cámara/6 ^(**)	35 (-1;-5)	34 (-1;-5)	33 (-1;-5)	32 (-1;-5)
10/cámara/4 ^(**)	35 (-1;-4)	34 (-1;-4)	33 (-1;-4)	32 (-1;-4)
10/cámara/6 ^(**)	35 (-1;-3)	34 (-1;-3)	33 (-1;-3)	32 (-1;-3)
6/cámara/6 laminado ^(**)	34 (-1;-4)	33 (-1;-4)	32 (-1;-4)	31 (-1;-4)
6/cámara/10 laminado ^(**)	36 (-1;-4)	35 (-1;-4)	34 (-1;-4)	33 (-1;-4)

Fuente. Anexo B de la Norma europea UNE EN 14351-1:2006+A1:2011

^(*) Número de sellados requerido 1

^(**) Número de sellados requerido 2

Tabla 2. Valores acústicos tabulados para ventanas deslizantes horizontales según Norma Europea EN 14351-1:2006+A1:2011.

Acristalamiento	$R_w(C, C_{tr})$ Área total de la ventana $\leq 2,7\text{ m}^2$	$R_w(C, C_{tr})$ $2,7 \leq$ Área total de la ventana $\leq 3,6\text{ m}^2$	$R_w(C, C_{tr})$ $3,6 \leq$ Área total de la ventana $\leq 4,6\text{ m}^2$	$R_w(C, C_{tr})$ Área total de la ventana $\geq 4,6\text{ m}^2$
4/cámara/4	27 (-1;-2)	26 (-1;-2)	25 (-1;-2)	24 (-1;-2)
6/cámara/4	29 (-1;-2)	28 (-1;-2)	27 (-1;-2)	26 (-1;-2)
6/cámara/6	28 (-1;-2)	27 (-1;-2)	26 (-1;-2)	25 (-1;-2)
8/cámara/4	29 (-1;-2)	28 (-1;-2)	27 (-1;-2)	26 (-1;-2)
8/cámara/6	29 (-1;-2)	28 (-1;-2)	27 (-1;-2)	26 (-1;-2)
10/cámara/4	29 (-1;-2)	28 (-1;-2)	27 (-1;-2)	26 (-1;-2)
10/cámara/6	29 (-1;-2)	28 (-1;-2)	27 (-1;-2)	26 (-1;-2)
6/cámara/6 laminado	29 (-1;-2)	28 (-1;-2)	27 (-1;-2)	26 (-1;-2)
6/cámara/10 laminado	30 (-1;-2)	29 (-1;-2)	28 (-1;-2)	27 (-1;-2)

Fuente. Anexo B de la Norma europea UNE EN 14351-1:2006+A1:2011

En las tablas anteriores se define la unidad de vidrio aislante (UVA) mediante el espesor del vidrio / anchura de la cámara / espesor del vidrio. La anchura de la cámara está comprendida entre 6 y 16 mm.

El estudio realizado por el centro tecnológico CIDEMCO [9], actualmente TECNALIA, mostraba que los valores anteriores son conservadores, demostrando mediante el análisis de diferentes resultados de ensayo que en las ventanas con valores de permeabilidad al aire (ensayados según la Norma Europea EN 1026:2000), clase 3 ó 4 para ventanas oscilobatientes y abatibles y clase 3 para ventanas deslizantes, se obtenían mejores valores de aislamiento acústico.

En el estudio mencionado se indicaban los tipos de ventanas que, en función de los valores de ensayo obtenidos, permiten alcanzar los valores exigidos en la reglamentación y que serán, de la misma forma, aptos para las intervenciones de rehabilitación acústica de edificios. Los resultados se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Relación rangos de aislamiento acústico y tipología de ventanas

Rango R_{Atr} (dBA)	Tipología de ventana
21-24	Deslizante horizontal con cajón de persiana y UVA
23-26	Deslizante horizontal sin cajón de persiana y UVA
25-27	Oscilobatiente con cajón de persiana y UVA
28-30	Oscilobatiente sin cajón de persiana y UVA
32-33	Oscilobatiente con cajón de persiana y UVA con vidrio laminado
36-39	Oscilobatiente sin cajón de persiana y UVA con vidrio laminado
37-42	Oscilobatiente y UVA con vidrio laminado en hoja exterior y hoja interior
42-47	Ventana doble en marcos independientes, ambas con UVA y laminado, una de ellas con cajón de persiana

Fuente. Estudio aplicación del DB HR en carpinterías exteriores. CIDEMCO.

Por otro lado, desde el punto de vista de la elección del material para rehabilitación se pueden tener en cuenta los valores aportados por el Catálogo de Elementos Constructivos, que recoge valores conservadores de las distintas soluciones, en función de los valores tabulados en la norma y resultados de ensayo.

Así, se incorporan valores para dobles ventanas indicando valores de $R_{Atr} = 40$ a 44 dBA, con ventanas exteriores deslizantes y UVA y ventanas interiores con UVA deslizantes u oscilobatientes respectivamente.

Además de la caracterización de las ventanas mediante ensayo en laboratorio es posible la caracterización in situ del conjunto, gracias al ensayo según la Norma Europea EN 140-5. Reproducir “in situ” los valores de aislamiento obtenidos por las ventanas en el laboratorio pasa por una cuidada ejecución tanto de las mismas como de su instalación. Los principales factores que pueden disminuir el aislamiento de la ventana están ligados a aquellos defectos que generan un aumento de la fuga de aire a través de la misma (sellados y juntas inadecuados, incompletos o ausentes; mal ajuste o colocación de herrajes, vidrios y paneles de relleno; dimensiones de corte fuera de tolerancias, etc.). Así, por ejemplo, el estudio realizado por CIDEMCO [10] cifraba en una caída de 7 dB en el valor R_w por el paso de clase 4 a clase 1 de permeabilidad al aire, caída ocasionada por un mal ajuste del herraje, con pérdidas importantes de aislamiento, 10-12 dB, en media y alta frecuencia.

Otro factor a tener en cuenta a la hora de valorar el resultado de los ensayos “in situ” es la no correspondencia entre el producto ensayado en laboratorio, generalmente una ventana de dimensiones determinadas, acristalada y sin cajón de persiana, y el instalado en obra, de dimensiones y composición diferente, ya que en muchas ocasiones incorpora cajón de persiana, paneles de relleno y dispositivos de ventilación. La influencia de dichos componentes se analizará más adelante en este artículo, estos reducen considerablemente la protección frente al ruido proporcionada por el cerramiento de hueco. Por ello, es necesaria una caracterización en laboratorio de la ventana lo más similar posible a aquella que va a ser instalada.

3. FACTORES RELEVANTES EN EL AISLAMIENTO ACÚSTICO DE LAS VENTANAS

A la hora de elegir una solución para la rehabilitación acústica de las fachadas, existen un conjunto de factores a tener en cuenta. La elección de la ventana y la correcta instalación de la misma son fundamentales a la hora de acometer la rehabilitación acústica.

Entre los factores relevantes a tener en cuenta en la elección de la ventana, destacan los siguientes.

Tipo de apertura

En general los valores del aislamiento acústico de las ventanas deslizantes horizontales son inferiores a los alcanzados con las ventanas practicables y oscilobatientes. Esto es debido a una peor prestación de la permeabilidad al aire en las ventanas deslizantes y las juntas de cierre. En el caso de las ventanas practicables al aumentar el número de puntos de cierre se aumenta el aislamiento acústico al estar ligados a la permeabilidad al aire de la ventana, una vez alcanzado un nivel de permeabilidad óptimo (clase 3 ó 4) el incremento de puntos de cierre no dará lugar a incrementos significativos de la prestación.

Vidrio

Según la Ley de Masas al aumentar la masa aumenta el aislamiento acústico por lo que una de las posibilidades para aumentar el aislamiento acústico y disminuir las pérdidas de transmisión sonora es aumentar la masa del vidrio. Así, de forma general y como primera aproximación, vidrios de mayor espesor reducirán las pérdidas acústicas a través de las ventanas. Sin embargo, el cambio de los vidrios existentes por otros de mayor peso no es una opción habitual en rehabilitación ya que la ventana existente no suele estar preparada para asumir el aumento de carga que este cambio implica.

En las zonas de medias y altas frecuencias se produce el efecto de coincidencia por lo que es más efectivo el uso de vidrios laminados. Los vidrios laminados están formados por láminas de vidrio unidas por uno o varios intercalarios (capas de material que tienen por objeto pegar y separar las hojas de vidrio y que pueden proporcionar prestaciones adicionales al acristalamiento). Mediante la utilización de este tipo de vidrios se aumenta el aislamiento acústico y se consigue una homogeneidad de prestaciones para todas las frecuencias. Su uso, sin cambio de la ventana existente, podría ser una opción en rehabilitación siempre y cuando la unidad de vidrio a instalar no supere las cargas admitidas por la ventana existente.

Desde el punto de vista de la anchura de la cámara en los dobles acristalamientos solo se presenta mayor aislamiento, según el estudio realizado por Antonio J. B. Tadeu [13], respecto a los paneles simples si la cámara de aire se aproxima a 50 mm o si las cámaras de aire son muy pequeñas, además los triples acristalamientos, debido a las caídas en resonancia generadas por las cámaras, no ofrecen mejoras significativas respecto a los dobles acristalamientos. En la práctica, la construcción de dobles o triples acristalamientos con cámaras de alto espesor, que proporcionan altos niveles de aislamiento acústico, se pueden conseguir con dobles ventanas en marcos separados, lo que constituye además una buena solución en el caso de rehabilitación acústica de fachadas.

Persianas y cajones de persiana

Es fundamental la elección de capialzados, lamas y guías de persianas adaptados al perfil de la ventana y una correcta instalación de los mismos que evite los huecos y rendijas por los que se produce la transmisión del sonido.

De forma genérica, la incorporación de capialzados a la ventana tiende a disminuir los valores de aislamiento acústico de la ventana, considerándose el elemento débil del conjunto, si bien existen soluciones en el mercado que permiten reducir este efecto, mediante la incorporación de material absorbente acústico en el interior. El cajón puede estar o no integrado en la ventana, en el caso de soluciones con cajón de persiana incorporado (soluciones monoblock) la caracterización acústica del conjunto se realiza mediante ensayo en laboratorio, aportando el nivel de aislamiento global de todo el conjunto. Las pérdidas de aislamiento de cajones de persiana prefabricados son menores que las que se producen en el caso de capialzados tradicionales interiores no prefabricados. La mejor solución desde el punto de vista acústico la proporciona el capialzado exterior, que no influye en el aislamiento de la ventana, de manera que el aislamiento dependerá del valor alcanzado por la ventana.

Respecto a los valores alcanzados por los capialzados el Catálogo de Elementos Constructivos indica valores por encima de 25 dBA para capialzados de PVC, de madera de al menos 10 mm de espesor o de perfiles metálicos de al menos 10 kg/m² de masas por unidad de superficie, elevando este valor de aislamiento a 30 dBA en el caso de que el cajón incorpore material absorbente acústico de al menos 25 mm de espesor.

Asimismo, la incorporación de persianas o sistemas de protecciones solares eleva el nivel de aislamiento acústico de la fachada. El estudio realizado por Jorge E. Matos [14] indica que en general, la instalación de persianas interiores enrollables mejora el aislamiento al ruido de los huecos de fachada, con diferencias del índice R_w que pueden alcanzar los 2 dB, dependiendo del tipo de material utilizado en los sistemas.

Otro de los aspectos a considerar es la incorporación en la ventana de aireadores o sistemas de microventilación. El estudio realizado por J. López [15] del Área de Acústica del Laboratorio de Control de Calidad de la Edificación del Gobierno Vasco, muestra que la presencia de aireadores disminuye el aislamiento del conjunto. A la vista de los resultados obtenidos se observa que los aireadores higrorregulables integrados en el cajón de persiana presentan un mejor comportamiento acústico que los sistemas de microventilación, si bien en este último caso el usuario podría actuar sobre ellos, mejorando el aislamiento, aunque existen soluciones en el mercado que, incorporando los aireadores integrados, presentan valores de aislamiento similares a los de las ventanas sin aireador.

4. INSTALACIÓN DE VENTANAS

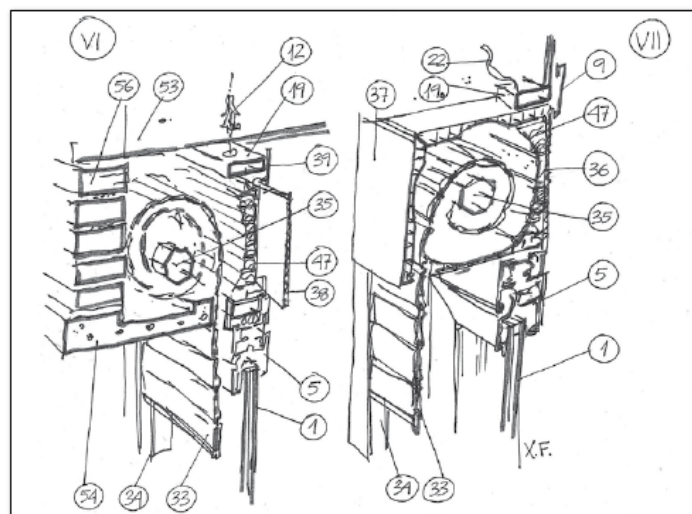
Uno de los factores fundamentales a tener en cuenta en la instalación de la ventana para garantizar los adecuados niveles de aislamiento acústico de la ventana es la puesta en obra. Una vez decididos los criterios de exigencias de las ventanas a colocar en obra será necesaria la rigurosa puesta en obra de los sistemas para garantizar que los valores obtenidos en los ensayos en laboratorio se conservan tras la puesta en obra.

En el caso del cajón de persiana, se recomienda la instalación en el interior del cajón de material acústico absorbente para aumentar el aislamiento. Además se debe prestar atención a la tapa de registro, incrementando su masa, por ejemplo, para aumentar el aislamiento. Asimismo, al mejorar el sellado del cajón de persiana se consiguen mejoras del aislamiento del conjunto.

Así, el estudio realizado por A. Melian [16] de Tecnia constata mejoras entre 2 y 3 dB en el índice R_w del capialzado por la inserción de absorbentes y de hasta 10 dB si el absorbente se combina con láminas sintéticas tipo láminas anti-impacto. Por otro lado, el estudio realizado por J. López [15] del Área de Acústica del Laboratorio de Control de Calidad de la Edificación del Gobierno Vasco, muestra que la rendija de paso de la persiana es un elemento crítico respecto al nivel de aislamiento del conjunto en obra. En el caso de la persiana, que mejora el aislamiento del conjunto, se deberá asegurar su ajuste y estanquidad.

Se muestran a continuación dos esquemas de sección vertical de cajón de persiana de obra y capialzado monoblock.

Figura 1. Esquema de sección vertical de cajón para persiana de obra y sección vertical de cajón de persiana capialzado monoblock.



Fuente. FERRÉS Arquitectos y Consultores. Manual de instalación de ventanas. ASEFAVE

Leyenda:

- 1 Doble acristalamiento aislante
- 5 Perfil de aluminio con rotura de puente térmico
- 9 Tapeta interior
- 12 Fijación mecánica
- 19 Precerco de acero galvanizado
- 22 Patas de anclaje clipadas
- 33 Persiana de aluminio con espuma de poliuretano interior
- 34 Guía de persiana
- 35 Eje de la persiana
- 36 Tapa de registro de persiana
- 37 Perfiles de aluminio capitalizado monoblock
- 38 Chapa de aluminio más panel aislante
- 39 Perfiles de registro de la persiana
- 47 Aislante termoacústico
- 53 Forjado
- 54 Dintel prefabricado
- 56 Pared de obra de ladrillo cerámico

Desde el punto de vista de la colocación del vidrio, será muy importante la adecuada colocación del mismo, a través de los calzos correspondientes para evitar su contacto con la perfilería.

Uno de los aspectos más importantes es el correcto sellado de la carpintería. Este correcto sellado permitirá garantizar los niveles de aislamiento acústico, evitar la condensación en las juntas, aislar la junta entre la ventana y la obra y/o el premarco y asegurar la estanquidad al agua. Para ello, en la instalación de la ventana se deberá poner especial cuidado en el sellado de la carpintería a la obra, en el sellado de silicona exterior impermeable y en el sellado interior para evitar las condensaciones.

La falta de aislamiento a ruido aéreo de la fachada puede deberse a diferentes factores, entre las posibles causas destacan las siguientes:

- Inexistencia de fijaciones mecánicas
- Distancia excesiva entre fijaciones mecánicas
- Holgura excesiva entre marco y premarco
- Mal escuadrado de la hoja o del marco
- Ingletes de hoja o marco sin sellado o mal ejecutados
- Mal uso de hojas practicables
- Mal ensamblaje entre marcos, hojas, montantes, travesaños, etc.

- Aplicación de cargas o empujes no previstos
- Juntas o sellados exteriores discontinuos
- Juntas o sellados interiores discontinuos
- Las juntas no presionan homogéneamente
- Inexistencia de juntas de estanquidad entre hoja y marco o inadecuada elección de las mismas.
- Inexistencia de cepillos o juntas en el cruce de hojas correderas
- Barrera de estanqueidad perforada
- Falta de limpieza en juntas (restos de obra, polvo o grasas)
- Herraje incorrecto para dimensión y peso de la hoja
- Falta de mantenimiento (engrasado, etc.)
- Emplazamiento inadecuado de la ventana respecto a la cámara en fachadas ventiladas, o tratamiento inadecuado del aislamiento de dicha cámara.

Desde el punto de vista de los aspectos a tener en cuenta para la rehabilitación de las ventanas se deberá considerar inicialmente si se va a conservar el cerco antiguo o se va a retirar, ya que en el primer caso la ventana ha de ser fabricada con cerco de renovación, no así en el segundo. En la renovación, se coloca, aploma y nivela el cerco para después atornillarlo sobre el cerco existente.

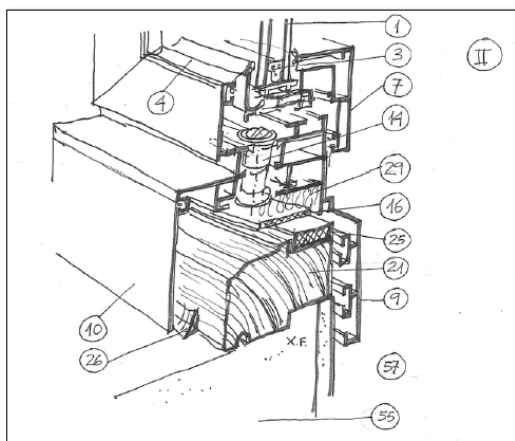
Si el cerco antiguo es de madera, habrá que realizar taladros en los perfiles de cubrición, que permitan la ventilación de la madera y evitar así que se deteriore con el paso de los años. Tanto en la colocación de la carpintería en obra nueva como en renovación, la cantidad de fijaciones depende de las dimensiones de la ventana.

La decisión de la utilización del cerco existente depende del estado del mismo y de si éste mantiene las características exigidas al precerco. En caso de deterioro del cerco o bien por deseo expreso de las direcciones facultativas, puede hacerse innecesaria la utilización del cerco existente, con lo que una vez retirado el cerco es necesaria la colocación de un precerco nuevo que garantice la correcta instalación de la ventana.

En todos los casos, todo el material retirado no reutilizable será eliminado cumpliendo las normativas medioambientales, destinando cada tipología de residuos a su sistema de gestión correspondiente.

Se muestra a continuación un esquema de la sección vertical de una ventana con perfiles de aluminio montada sobre marco de madera existente para rehabilitación

Figura 2. Esquema de sección vertical de ventana con perfiles de aluminio montada sobre marco de madera existente para rehabilitación



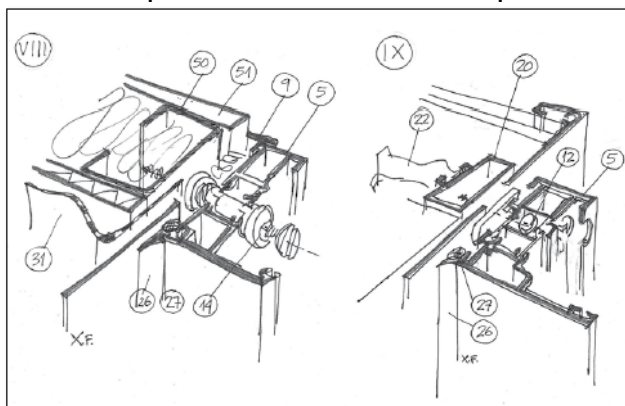
Fuente. FERRÉS Arquitectos y Consultores. Manual de instalación de ventanas. ASEFAVE

Leyenda:

- 1 Doble acristalamiento aislante
- 4 Juntas de estanquidad con perfil extruido de EPDM
- 7 Perfilera de aluminio de hoja oculta con rotura de puente térmico
- 9 Tapeta interior
- 10 Tapeta exterior
- 14 Calzo de regulación
- 16 Banda elástica
- 21 Marco de madera existente
- 25 Elemento de relleno
- 26 Sellado de silicona
- 29 Espuma de poliuretano
- 55 Obra de fábrica
- 57 Enyesado

Por último, se muestran dos esquemas con las fijaciones de la carpintería al precerco en diferentes materiales de carpintería.

Figura 3. Esquema básico de fijación de la carpintería al precerco con calzo de regulación/fijación y esquema básico de fijación de la carpintería de aluminio con rotura de puente térmico al precerco

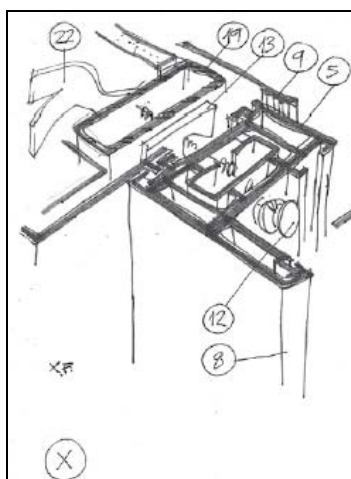


Fuente. FERRÉS Arquitectos y Consultores. Manual de instalación de ventanas. ASEFAVE

Leyenda:

- 5 Perfiles de aluminio con rotura de puente térmico
- 9 Tapeta interior
- 12 Fijación mecánica
- 14 Calzo de regulación/fijación
- 20 Precerco de aluminio
- 22 Patas de anclaje clipadas
- 26 Sellado de silicona
- 27 Cordón celular
- 31 Lámina impermeable
- 50 Estructura de soporte de tabique en seco
- 51 Placa de yeso laminada

Figura 4. Esquema básico de fijación de la carpintería de PVC al precerco



Fuente. FERRÉS Arquitectos y Consultores. Manual de instalación de ventanas. ASEFAVE

Leyenda:

5 Perfiles de aluminio con rotura de puente térmico

8 Perfil de PVC

9 Tapeta interior

12 Fijación mecánica

19 Precerco de acero galvanizado

22 Patas de anclaje clipadas

5. CONCLUSIONES

Se han analizado los criterios para rehabilitar acústicamente los cerramientos acristalados, para conseguir unos adecuados niveles de aislamiento acústico en el interior de las viviendas y con ellos garantizar el confort en ellas, exigencia cada vez más demanda en la sociedad actual.

Generalmente en las actuaciones de rehabilitación, la ventana existente se sustituye totalmente por una nueva ventana, por lo que tanto los criterios de elección, como las pautas para una correcta instalación de nuevas ventanas son de aplicación para los casos de rehabilitación, en cuanto a la influencia en el aislamiento y las posibles mejoras a alcanzar.

La intervención en las ventanas de los edificios existentes es una actuación fácilmente abordable y económicamente razonable que, ejecutada correctamente, implicará unas mejoras acústicas muy importantes en el parque de viviendas existentes, implicando asimismo aumentos en el aislamiento térmico de los edificios.

6. REFERENCIAS

- [1] Documento Básico de Protección frente al Ruido. Código Técnico de la Edificación.
- [2] Norma Básica de la Edificación NBE-CA-88 sobre condiciones acústicas en los edificios
- [3] Potencial de ahorro energético y de reducción de emisiones de CO₂ del parque residencial existente en España en 2020. WWF. Página 9.
- [4] Catálogo de Elementos Constructivos del Código Técnico de la Edificación
- [5] Norma europea UNE EN 14351-1:2006+A1:2011. Ventanas y puertas. Norma de producto, características de prestación. Parte 1: Ventanas y puertas exteriores peatonales sin características de resistencia al fuego y/o control de humo.
- [6] Norma europea UNE EN 140-3:1995. Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 3: Medición en laboratorio del aislamiento acústico al ruido aéreo de los elementos de construcción.

- [7] Norma europea UNE EN 10140-2:2011. Acústica. Medición en laboratorio del aislamiento acústico de los elementos de construcción. Parte 2: Medición del aislamiento acústico al ruido aéreo. (ISO 10140-2:2010)
- [8] Norma europea UNE EN ISO 717-1:1997. Acústica. Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 1: Aislamiento a ruido aéreo. (ISO 717-1:1996).
- [9] Aplicación del DB HR en carpinterías exteriores. Cumplimiento de las exigencias y estudio de la variación de coste en su aplicación. CIDEMCO.
- [10] Aproximación a la relación entre aislamiento acústico y permeabilidad al aire en ventanas. Miguel Mateos. CIDEMCO. CIATEA 2004.
- [11] Norma europea UNE EN 140-5. Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 5: Mediciones in situ del aislamiento acústico a ruido aéreo de elementos de fachadas y de fachadas. (ISO 140-5:1998).
- [12] Manual del vidrio. SAINT GOBAIN GLASS. Edición 2001. Páginas 28-30.
- [13] Sound transmissions through single, double and triple glazing. Experimental evaluation. António J.B. Tadeu. Applied Acoustics 2001; 62.
- [14] Sound isolation provided by shading screens applied in façades. Jorge E. Matos. University of Porto. Noise-con 2010.
- [15] Ventana y cajón de persiana: estudio del comportamiento acústico en diferentes situaciones. López. J. Área de Acústica del Laboratorio de Control de calidad de la edificación del Gobierno Vasco. Tecniacústica 2010.
- [16] Influencia de diferentes materiales y estrategias en el aislamiento acústico del cajón de persiana. Amabel Melian. Tecnalia. Tecniacústica 2011.
- [17] Manual de instalación de ventanas. ASEFAVE. Mayo 2011.

4.5 Rehabilitación acústica de viviendas con sistemas de placa de yeso laminado

Joan Recasens Cortina; Alberto Calvo Jerónimo

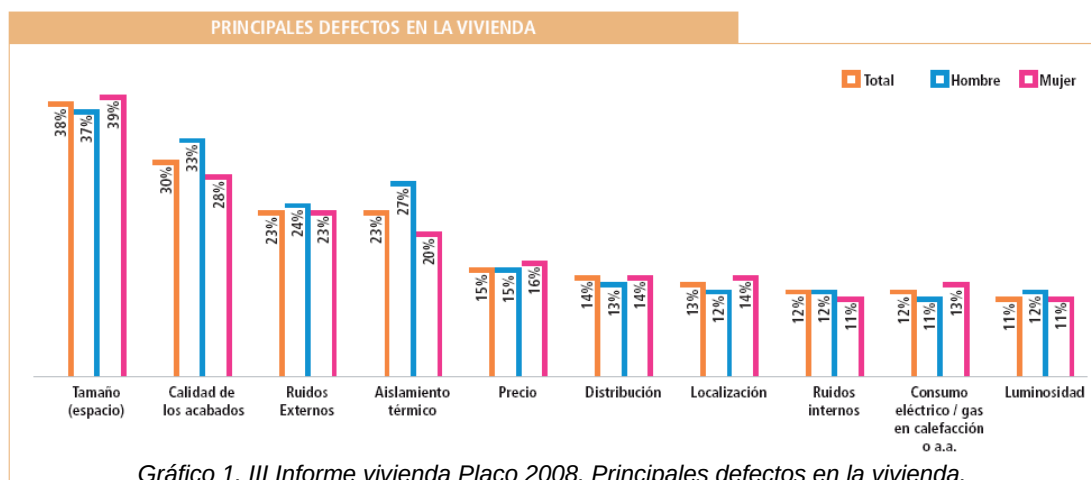
ATEDY – Asociación de Fabricantes de Yeso. Sección PYL.

joan.recasens@consultoriatec.com; alberto.calvo@saint-gobain.com

1. INTRODUCCIÓN

La estimación oficial que realiza el Ministerio de Fomento del parque de viviendas en España hasta el año 2010 es de 25.837.108 viviendas, de las cuales, cerca de 300.000 se terminaron de construir durante el año 2010. Teniendo en cuenta que el Documento Básico de Protección frente al ruido DB HR entró en vigor en abril del año 2009, solo en una pequeña parte de las viviendas construidas en el último año, les es de aplicación las nuevas exigencias normativas. Por tanto, la gran mayoría de las viviendas de España están construidas en base a la antigua normativa acústica NBE-CA88 o anteriores a esta.

No obstante en el contexto actual de la sociedad española, es interesante conocer la opinión de los usuarios de estas viviendas, cuando se les pregunta por los principales defectos que consideran tienen las viviendas que habitan. En este sentido, el III Informe Vivienda de Saint Gobain Placo aporta información al respecto.



El 23% de los encuestados consideran que el ruido proveniente del exterior de su vivienda es el tercer defecto, por detrás de otros factores como la superficie (el tamaño de la vivienda) y la calidad de los acabados. Por tanto, y puesto que el ruido exterior se considera uno de los principales problemas que los usuarios encuentran en ellas, las viviendas que quieran adaptarse a los nuevos niveles de confort acústico deberán rehabilitarse, empleando en ellas soluciones constructivas que:

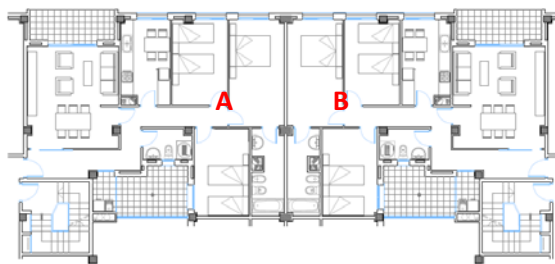
- Sean de espesor reducido para no disminuir la superficie útil de las viviendas.
- Sean eficaces desde el punto de vista acústico y funcional.
- Sean ligeras, de modo que su empleo en los trabajos de rehabilitación no incrementen las cargas permanentes que actúan sobre la estructura, de forma que los trabajos de rehabilitación acústica no conlleven necesariamente labores de refuerzo de los elementos estructurales del edificio.

En esta ponencia se desarrolla un ejemplo muy simple de rehabilitación acústica de una vivienda mediante la aplicación de la opción general del DB HR (calculando todas las transmisiones según UNE EN 12354) utilizando la herramienta de cálculo del Documento Básico de protección frente al ruido, empleando para su rehabilitación sistemas de placa de yeso laminado (de entramado autoportante).

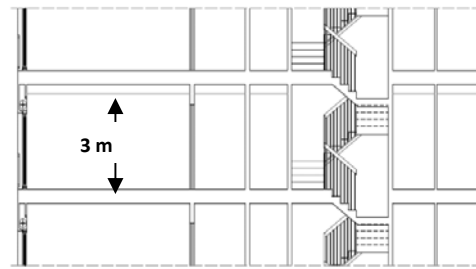
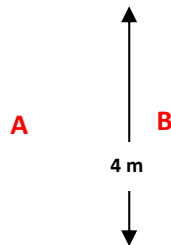
A través de este supuesto se puede comprobar que también en rehabilitación, para obtener un buen resultado en el aislamiento acústico, es imprescindible actuar en todos los elementos constructivos que delimitan los recintos, evitando en lo posible las transmisiones indirectas o por flancos.

2. VIVIENDA OBJETO DEL ESTUDIO

La vivienda está situada en el segundo piso de un bloque de cuatro plantas construido en 1989-90. La vivienda a rehabilitar es la más general en el citado bloque y consta de tres dormitorios, salón, dos cuartos de baño, cocina, tendedero y una pequeña terraza.



Los elementos de separación vertical que separan las viviendas (unidades de uso), se encuentran entre recintos habitables (baños) y recintos protegidos (dormitorios). No obstante, el nivel de aislamiento acústico actual es mínimo, debido a los elementos constructivos que se emplearon en su construcción.



Los sistemas constructivos empleados son:

- Estructura: Hormigón armado
- Forjado: Losa de hormigón de 14 cm de espesor y masa 351 kg/m^2 .
- Fachada: Fabrica de $\frac{1}{2}$ pie de ladrillo perforado cara vista guarnecido una cara.
- Elementos de separación entre viviendas: Fábrica ladrillo cerámico hueco doble de 8 cm de espesor, guarnecido y enlucido de yeso por las dos caras.
- Tabiquería interior: Tabique de ladrillo cerámico hueco simple de 4 cm de espesor, guarnecido y enlucido por las dos caras.
- Solado: Terrazo 30 x 30 interior viviendas, rasilla en lavaderos y terrazas.
- Falsos techos: Guarnecido y enlucido de yeso de 15 mm de espesor.
- Carpintería metálica: De hierro, pintada en exteriores.

Es de suponer que las mediciones “in situ” que pudieran realizarse según las recomendaciones UNE EN ISO 140, Parte 4 (ruido aéreo) y parte 7 (ruido de impacto), no alcanzarían unos niveles mínimos de confort, ya que los valores conocidos obtenidos en laboratorio de los diferentes elementos constructivos son los siguientes:

PRESTACIONES ACÚSTICAS DE LOS ELEMENTOS A REHABILITAR Valores R_A obtenidos por ensayo en laboratorio según UNE EN ISO 140-3: 1995		
Elemento	Masa (kg/m²)	R_A (dBA)
Losa de hormigón de 14 cm	351	52,8
Fábrica cerámica LHD de 8 cm, guarnecido dos caras	103	42,7
Fábrica cerámica ½ pie LP cara vista guarnecido una cara	161	47,7
Fábrica cerámica LHS de 4 cm. guarnecido y enlucido dos caras	70	35
Elemento	Masa (kg/m²)	$L_{n,w}$ (dB)
Losa de hormigón de 14 cm	351	80

Los valores anteriores son totalmente insuficientes si se aplican las exigencias del DB HR, debiendo tener en cuenta además que estos datos no contemplan las transmisiones por flancos, la geometría de recinto receptor, ni la corrección de ecos.

Se pretende pues, rehabilitar acústicamente la vivienda, de forma que se alcancen los valores de confort acústico que se indican en el DB HR, empleando para ello sistemas de placa de yeso laminado, limitando el ruido aéreo interior (rosa) y el ruido de impacto. Las soluciones de aislamiento del ruido exterior (tráfico) se solventaron en remodelaciones anteriores mediante dobles acristalamientos en los huecos de las fachadas.

Exigencias Aislamiento acústico a ruido aéreo según DB HR	$D_{nT,A}$ (dB)
Recinto protegido a otra unidad de uso	50
Recinto protegido a zona común	50
Recinto protegido a recinto de instalaciones	55
Habitable a otra unidad de uso	45
Habitable a zona común	45
Habitable a recinto de instalaciones	45

Exigencias Aislamiento acústico a ruido de impacto según DB HR	$L'_{nT,w}$ (dB)
Recinto protegido a otra unidad de uso	65

3. EVALUACIÓN DE LA VIVIENDA SIN REHABILITAR

Se evalúa la situación actual de la vivienda mediante el uso de la opción general que propone el DB HR, para de esta manera, poder comparar la situación de la vivienda antes y después de su rehabilitación. Para ello se emplea la herramienta de cálculo del Documento Básico de protección frente al ruido.

Se elige la geometría real de los recintos a estudiar, en donde F es el flanco del recinto emisor y f es el flanco receptor.

Los datos de partida de la vivienda sin rehabilitar son:

Elemento separador

Ancho l_1 (m) = 4

Alto l_2 (m) = 3

Superficie = 12 m²

Fábrica cerámica LHD de 8 cm con guarnecido de yeso en ambas caras de 1,2 cm de espesor

Masa = 103 kg/ m²

R_A (aislamiento a ruido aéreo en laboratorio) = 42,7 dBA

Referencia	Elemento estructural básico	kg/m ²	R_{fA} (dBA)
P 39	Separación de viviendas, fábrica de ladrillo cerámico hueco doble de 8 cm, guarnecido de yeso ambas caras de 1,2 cm	103	43 dBA

Recinto emisor (otra unidad de uso)

Elemento	Referencia	Elemento estructural básico	kg/m ²	R_{fA} (dBA)
F1 (Suelo)	F ₀ 60	Losa de hormigón de 14 cm	351	53
F2 (Techo)	F ₀ 60	Losa de hormigón de 14 cm	351	53
F3 (Pared)	F 11	Fachada de fábrica sin cámara, pared de ladrillo perforado cara vista	225	51
F4 (Pared)	P0 .1	Tabique de fábrica con apoyo directo	70	35

Aristas

Elemento	Referencia	Elemento estructural básico	K_{Ff}	K_{Fd}	K_{df}
1 Elemento suelo	T0.1	Unión rígida en T elementos homogéneos	-0,2	7,3	7,3
2 Elemento techo	T0.1	Unión rígida en T elementos homogéneos	-0,2	7,3	7,3
3 Elemento pared	T0.1	Unión rígida en cruz elementos homogéneos	0,3	6,0	6,0
4 Elemento pared	T0.1	Unión rígida en cruz elementos homogéneos	8,2	5,9	58,9

Los resultados obtenidos se indican en la tabla siguiente, siendo valores que no cumplen las actuales exigencias del DB HR:

Aislamiento acústico a ruido aéreo		
$D_{nT,A}$	Requerimiento DB HR	Resultado
38 dBA	50 dBA	NO CUMPLE
Aislamiento acústico a ruido de impacto		
$L'_{nT,w}$	Requerimiento DB HR	Resultado
83 dB	65 dB	NO CUMPLE

4. EVALUACIÓN DE LA VIVIENDA REHABILITADA

Se han estudiado dos opciones:

- Intervención en una sola de las viviendas.
- Intervención en las dos viviendas.

La intervención en una sola de las viviendas no alcanza los niveles de aislamiento acústico deseados, por lo que en esta ponencia solo se muestran los resultados obtenidos al intervenir en las dos viviendas a rehabilitar.

La rehabilitación acústica se plantea mediante la construcción en ambas viviendas de los mismos elementos constructivos:

- Trasdoso autoportante sobre el elemento de separación vertical, compuesto por una placa de yeso laminado de 15 mm atornillada a una estructura de 48 mm de ancho, y lana mineral en el interior de la cámara. Ancho total del trasdoso de 63 mm.

- Techo suspendido bajo forjado, compuesto por una placa de yeso laminado de 15 mm y lana mineral de 50 mm de espesor.
- Solera flotante PYL de 20 mm de espesor y lana mineral de 20 mm de espesor.
- Sustitución de la tabiquería original cerámica por tabiques de entramado autoportante, formados por una placa de yeso laminado de 15 mm de espesor a ambos lados de una estructura metálica de 48 mm. Cámara interior rellena con lana mineral de 40 mm de espesor.

En todos los casos, la resistividad al flujo de aire de la lana mineral es $5 \geq r \leq 40 \text{ Kpa.s/m}^2$.

Los datos a introducir en la herramienta son:

Elemento separador

Ancho $l_1 \text{ (m)} = 4$

Alto $l_2 \text{ (m)} = 2,8$ (300 cm. – 4 cm solera flotante-17 cm techo suspendido)

Superficie = 12 m^2

Referencia	Elemento estructural básico	kg/m ²	R _F A (dBA)
P 39	Separación de viviendas, fábrica de ladrillo doble hueco de 8 cm. guarnecido de yeso ambas caras de 1,2 cm	103	43
Revestimiento recinto emisor			
R 0. 11	Trasdosado de entramado PYL de 15 mm. sobre estructura de 48 y LM	Δ 15 dBA	
Revestimiento recinto receptor			
R 0. 12	Trasdosado de entramado PYL de 15 mm. sobre estructura de 48 y LM	Δ 7 dBA	

Recinto emisor (otra unidad de uso)

Elemento	Referencia	Elemento estructural básico	kg/m ²	R _F A (dBA)
F1 (Suelo)	F ₀ 60	Losa de hormigón de 14 cm.	351	53
F2 (Techo)	F ₀ 60	Losa de hormigón de 14 cm.	351	53
Revestimiento				
T 02c		Techo suspendido PYL 15 con LM de 5 cm	$\Delta 14 \text{ dBA}$	
Elemento	Referencia	Elemento estructural básico	kg/m ²	R _F A
F3 (Pared)	F 11	Fachada de fábrica sin cámara pared de ladrillo perforado cara vista	161	48 dBA
Revestimiento				
R 0.11		Trasdosado de entramado PYL de 15 mm sobre estructura de 48 y LM	$\Delta 15 \text{ dBA}$	
Elemento	Referencia	Elemento estructural básico	kg/m ²	R _F A
F4 (Pared)	P 0.3	Tabiquería de entramado autoportante	25	43 dBA

Aristas

Elemento	Referencia	Elemento estructural básico	K_{Ff}	K_{Fd}	K_{df}
1 Elemento suelo	T0.5	Unión en T entre elementos de entramado autoportante con elemento homogéneo	-2,9	15,3	15,3
2 Elemento techo	T0.5	Unión en T entre elementos de entramado autoportante con elemento homogéneo	-2,9	15,3	15,3
3 Elemento pared	T0.5	Unión en T entre elementos de entramado autoportante con elemento homogéneo	-1,1	13,4	13,4
4 Elemento pared	C0.6	Unión en + entre elementos de entramado autoportante	22,3	16,1	16,1

Los resultados obtenidos se indican en la tabla siguiente. En este caso, sí que se alcanzan los valores de las actuales exigencias del DB HR:

Aislamiento acústico a ruido aéreo		
$D_{nT,A}$	Requerimiento DB HR	Resultado
55 dBA	50 dBA	CUMPLE
Aislamiento acústico a ruido de impacto		
$L'_{nT,w}$	Requerimiento DB HR	Resultado
59 dB	65 dB	CUMPLE

5. CONCLUSIONES

La rehabilitación acústica mediante el empleo de sistemas de placa de yeso laminado (En los elementos de separación vertical entre recintos, en los trasdosados en fachadas, en soleras flotantes, en los techos suspendidos y también en la tabiquería interior), permite la adecuación de viviendas a los nuevos parámetros de confort que plantea el DB HR, debido a las prestaciones acústicas del conjunto de las soluciones aplicadas, y en particular, a la mejora en los encuentros entre elementos (Aristas).

En el tanteo previo se ha podido comprobar que el incremento del aislamiento global $D_{nT,A}$ debido a la solera flotante PYL y a la sustitución de los tabiques tradicionales por otros de entramado, es de 6 dBA. Así pues si la actuación se hubiera centrado exclusivamente en el elemento separador y en el trasdosado de fachadas, el valor $D_{nT,A}$ solo hubiera alcanzado 49 dBA, no cumpliendo las exigencias del DB HR. Por tanto, la rehabilitación acústica debe entenderse como una actuación global en los recintos a rehabilitar, de forma que se traten todos los elementos constructivos que delimitan los recintos, es decir, el concepto “caja dentro de la caja”.

4.5 Rehabilitación acústica de viviendas con sistemas de placa de yeso laminado

Joan Recasens Cortina; Alberto Calvo Jerónimo

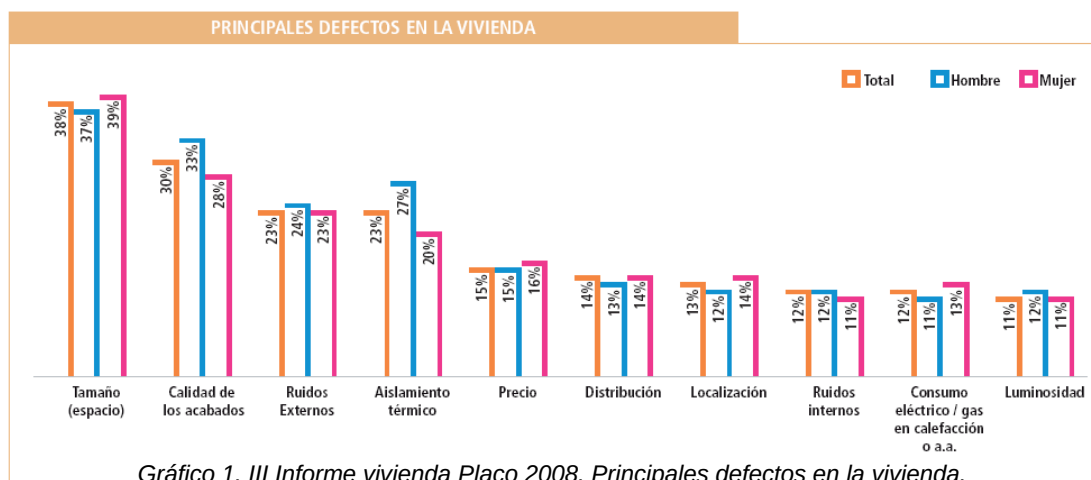
ATEDY – Asociación de Fabricantes de Yeso. Sección PYL.

joan.recasens@consultoriateg.com; alberto.calvo@saint-gobain.com

1. INTRODUCCIÓN

La estimación oficial que realiza el Ministerio de Fomento del parque de viviendas en España hasta el año 2010 es de 25.837.108 viviendas, de las cuales, cerca de 300.000 se terminaron de construir durante el año 2010. Teniendo en cuenta que el Documento Básico de Protección frente al ruido DB HR entró en vigor en abril del año 2009, solo en una pequeña parte de las viviendas construidas en el último año, les es de aplicación las nuevas exigencias normativas. Por tanto, la gran mayoría de las viviendas de España están construidas en base a la antigua normativa acústica NBE-CA88 o anteriores a esta.

No obstante en el contexto actual de la sociedad española, es interesante conocer la opinión de los usuarios de estas viviendas, cuando se les pregunta por los principales defectos que consideran tienen las viviendas que habitan. En este sentido, el III Informe Vivienda de Saint Gobain Placo aporta información al respecto.



El 23% de los encuestados consideran que el ruido proveniente del exterior de su vivienda es el tercer defecto, por detrás de otros factores como la superficie (el tamaño de la vivienda) y la calidad de los acabados. Por tanto, y puesto que el ruido exterior se considera uno de los principales problemas que los usuarios encuentran en ellas, las viviendas que quieran adaptarse a los nuevos niveles de confort acústico deberán rehabilitarse, empleando en ellas soluciones constructivas que:

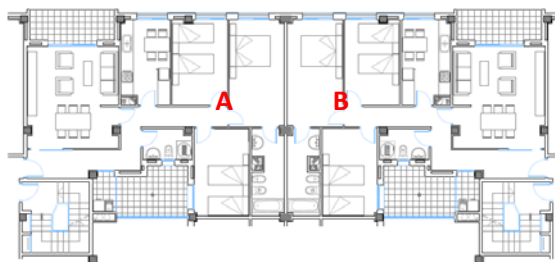
- Sean de espesor reducido para no disminuir la superficie útil de las viviendas.
- Sean eficaces desde el punto de vista acústico y funcional.
- Sean ligeras, de modo que su empleo en los trabajos de rehabilitación no incrementen las cargas permanentes que actúan sobre la estructura, de forma que los trabajos de rehabilitación acústica no conlleven necesariamente labores de refuerzo de los elementos estructurales del edificio.

En esta ponencia se desarrolla un ejemplo muy simple de rehabilitación acústica de una vivienda mediante la aplicación de la opción general del DB HR (calculando todas las transmisiones según UNE EN 12354) utilizando la herramienta de cálculo del Documento Básico de protección frente al ruido, empleando para su rehabilitación sistemas de placa de yeso laminado (de entramado autoportante).

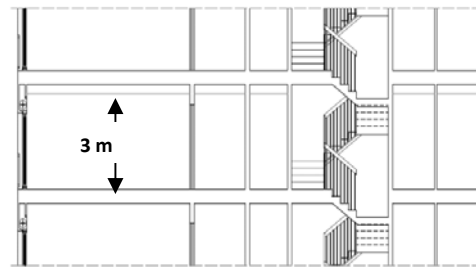
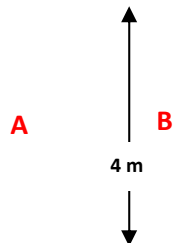
A través de este supuesto se puede comprobar que también en rehabilitación, para obtener un buen resultado en el aislamiento acústico, es imprescindible actuar en todos los elementos constructivos que delimitan los recintos, evitando en lo posible las transmisiones indirectas o por flancos.

2. VIVIENDA OBJETO DEL ESTUDIO

La vivienda está situada en el segundo piso de un bloque de cuatro plantas construido en 1989-90. La vivienda a rehabilitar es la más general en el citado bloque y consta de tres dormitorios, salón, dos cuartos de baño, cocina, tendedero y una pequeña terraza.



Los elementos de separación vertical que separan las viviendas (unidades de uso), se encuentran entre recintos habitables (baños) y recintos protegidos (dormitorios). No obstante, el nivel de aislamiento acústico actual es mínimo, debido a los elementos constructivos que se emplearon en su construcción.



Los sistemas constructivos empleados son:

- Estructura: Hormigón armado
- Forjado: Losa de hormigón de 14 cm de espesor y masa 351 kg/m^2 .
- Fachada: Fabrica de $\frac{1}{2}$ pie de ladrillo perforado cara vista guarnecido una cara.
- Elementos de separación entre viviendas: Fábrica ladrillo cerámico hueco doble de 8 cm de espesor, guarnecido y enlucido de yeso por las dos caras.
- Tabiquería interior: Tabique de ladrillo cerámico hueco simple de 4 cm de espesor, guarnecido y enlucido por las dos caras.
- Solado: Terrazo 30 x 30 interior viviendas, rasilla en lavaderos y terrazas.
- Falsos techos: Guarnecido y enlucido de yeso de 15 mm de espesor.
- Carpintería metálica: De hierro, pintada en exteriores.

Es de suponer que las mediciones “in situ” que pudieran realizarse según las recomendaciones UNE EN ISO 140, Parte 4 (ruido aéreo) y parte 7 (ruido de impacto), no alcanzarían unos niveles mínimos de confort, ya que los valores conocidos obtenidos en laboratorio de los diferentes elementos constructivos son los siguientes:

PRESTACIONES ACÚSTICAS DE LOS ELEMENTOS A REHABILITAR Valores R_A obtenidos por ensayo en laboratorio según UNE EN ISO 140-3: 1995		
Elemento	Masa (kg/m²)	R_A (dBA)
Losa de hormigón de 14 cm	351	52,8
Fábrica cerámica LHD de 8 cm, guarnecido dos caras	103	42,7
Fábrica cerámica ½ pie LP cara vista guarnecido una cara	161	47,7
Fábrica cerámica LHS de 4 cm. guarnecido y enlucido dos caras	70	35
Elemento	Masa (kg/m²)	$L_{n,w}$ (dB)
Losa de hormigón de 14 cm	351	80

Los valores anteriores son totalmente insuficientes si se aplican las exigencias del DB HR, debiendo tener en cuenta además que estos datos no contemplan las transmisiones por flancos, la geometría de recinto receptor, ni la corrección de ecos.

Se pretende pues, rehabilitar acústicamente la vivienda, de forma que se alcancen los valores de confort acústico que se indican en el DB HR, empleando para ello sistemas de placa de yeso laminado, limitando el ruido aéreo interior (rosa) y el ruido de impacto. Las soluciones de aislamiento del ruido exterior (tráfico) se solventaron en remodelaciones anteriores mediante dobles acristalamientos en los huecos de las fachadas.

Exigencias Aislamiento acústico a ruido aéreo según DB HR	$D_{nT,A}$ (dB)
Recinto protegido a otra unidad de uso	50
Recinto protegido a zona común	50
Recinto protegido a recinto de instalaciones	55
Habitable a otra unidad de uso	45
Habitable a zona común	45
Habitable a recinto de instalaciones	45

Exigencias Aislamiento acústico a ruido de impacto según DB HR	$L'_{nT,w}$ (dB)
Recinto protegido a otra unidad de uso	65

3. EVALUACIÓN DE LA VIVIENDA SIN REHABILITAR

Se evalúa la situación actual de la vivienda mediante el uso de la opción general que propone el DB HR, para de esta manera, poder comparar la situación de la vivienda antes y después de su rehabilitación. Para ello se emplea la herramienta de cálculo del Documento Básico de protección frente al ruido.

Se elige la geometría real de los recintos a estudiar, en donde F es el flanco del recinto emisor y f es el flanco receptor.

Los datos de partida de la vivienda sin rehabilitar son:

Elemento separador

Ancho l_1 (m) = 4

Alto l_2 (m) = 3

Superficie = 12 m²

Fábrica cerámica LHD de 8 cm con guarnecido de yeso en ambas caras de 1,2 cm de espesor

Masa = 103 kg/ m²

R_A (aislamiento a ruido aéreo en laboratorio) = 42,7 dBA

Referencia	Elemento estructural básico	kg/m ²	R_{fA} (dBA)
P 39	Separación de viviendas, fábrica de ladrillo cerámico hueco doble de 8 cm, guarnecido de yeso ambas caras de 1,2 cm	103	43 dBA

Recinto emisor (otra unidad de uso)

Elemento	Referencia	Elemento estructural básico	kg/m ²	R_{fA} (dBA)
F1 (Suelo)	F ₀ 60	Losa de hormigón de 14 cm	351	53
F2 (Techo)	F ₀ 60	Losa de hormigón de 14 cm	351	53
F3 (Pared)	F 11	Fachada de fábrica sin cámara, pared de ladrillo perforado cara vista	225	51
F4 (Pared)	P0 .1	Tabique de fábrica con apoyo directo	70	35

Aristas

Elemento	Referencia	Elemento estructural básico	K_{Ff}	K_{Fd}	K_{df}
1 Elemento suelo	T0.1	Unión rígida en T elementos homogéneos	-0,2	7,3	7,3
2 Elemento techo	T0.1	Unión rígida en T elementos homogéneos	-0,2	7,3	7,3
3 Elemento pared	T0.1	Unión rígida en cruz elementos homogéneos	0,3	6,0	6,0
4 Elemento pared	T0.1	Unión rígida en cruz elementos homogéneos	8,2	5,9	58,9

Los resultados obtenidos se indican en la tabla siguiente, siendo valores que no cumplen las actuales exigencias del DB HR:

Aislamiento acústico a ruido aéreo		
$D_{nT,A}$	Requerimiento DB HR	Resultado
38 dBA	50 dBA	<i>NO CUMPLE</i>
Aislamiento acústico a ruido de impacto		
$L'_{nT,w}$	Requerimiento DB HR	Resultado
83 dB	65 dB	<i>NO CUMPLE</i>

4. EVALUACIÓN DE LA VIVIENDA REHABILITADA

Se han estudiado dos opciones:

- Intervención en una sola de las viviendas.
- Intervención en las dos viviendas.

La intervención en una sola de las viviendas no alcanza los niveles de aislamiento acústico deseados, por lo que en esta ponencia solo se muestran los resultados obtenidos al intervenir en las dos viviendas a rehabilitar.

La rehabilitación acústica se plantea mediante la construcción en ambas viviendas de los mismos elementos constructivos:

- Trasdoso autoportante sobre el elemento de separación vertical, compuesto por una placa de yeso laminado de 15 mm atornillada a una estructura de 48 mm de ancho, y lana mineral en el interior de la cámara. Ancho total del trasdoso de 63 mm.

- Techo suspendido bajo forjado, compuesto por una placa de yeso laminado de 15 mm y lana mineral de 50 mm de espesor.
- Solera flotante PYL de 20 mm de espesor y lana mineral de 20 mm de espesor.
- Sustitución de la tabiquería original cerámica por tabiques de entramado autoportante, formados por una placa de yeso laminado de 15 mm de espesor a ambos lados de una estructura metálica de 48 mm. Cámara interior rellena con lana mineral de 40 mm de espesor.

En todos los casos, la resistividad al flujo de aire de la lana mineral es $5 \geq r \leq 40 \text{ Kpa.s/m}^2$.

Los datos a introducir en la herramienta son:

Elemento separador

Ancho l_1 (m) = 4

Alto l_2 (m) = 2,8 (300 cm. – 4 cm solera flotante-17 cm techo suspendido)

Superficie = 12 m^2

Referencia	Elemento estructural básico	kg/m ²	R _F A (dBA)
P 39	Separación de viviendas, fábrica de ladrillo doble hueco de 8 cm. guarnecido de yeso ambas caras de 1,2 cm	103	43
Revestimiento recinto emisor			
R 0. 11	Trasdosado de entramado PYL de 15 mm. sobre estructura de 48 y LM	Δ 15 dBA	
Revestimiento recinto receptor			
R 0. 12	Trasdosado de entramado PYL de 15 mm. sobre estructura de 48 y LM	Δ 7 dBA	

Recinto emisor (otra unidad de uso)

Elemento	Referencia	Elemento estructural básico	kg/m ²	R _F A (dBA)
F1 (Suelo)	F ₀ 60	Losa de hormigón de 14 cm.	351	53
F2 (Techo)	F ₀ 60	Losa de hormigón de 14 cm.	351	53
Revestimiento				
T 02c		Techo suspendido PYL 15 con LM de 5 cm	$\Delta 14 \text{ dBA}$	
Elemento	Referencia	Elemento estructural básico	kg/m ²	R _F A
F3 (Pared)	F 11	Fachada de fábrica sin cámara pared de ladrillo perforado cara vista	161	48 dBA
Revestimiento				
R 0.11		Trasdosado de entramado PYL de 15 mm sobre estructura de 48 y LM	$\Delta 15 \text{ dBA}$	
Elemento	Referencia	Elemento estructural básico	kg/m ²	R _F A
F4 (Pared)	P 0.3	Tabiquería de entramado autoportante	25	43 dBA

Aristas

Elemento	Referencia	Elemento estructural básico	K_{Ff}	K_{Fd}	K_{df}
1 Elemento suelo	T0.5	Unión en T entre elementos de entramado autoportante con elemento homogéneo	-2,9	15,3	15,3
2 Elemento techo	T0.5	Unión en T entre elementos de entramado autoportante con elemento homogéneo	-2,9	15,3	15,3
3 Elemento pared	T0.5	Unión en T entre elementos de entramado autoportante con elemento homogéneo	-1,1	13,4	13,4
4 Elemento pared	C0.6	Unión en + entre elementos de entramado autoportante	22,3	16,1	16,1

Los resultados obtenidos se indican en la tabla siguiente. En este caso, sí que se alcanzan los valores de las actuales exigencias del DB HR:

Aislamiento acústico a ruido aéreo		
$D_{nT,A}$	Requerimiento DB HR	Resultado
55 dBA	50 dBA	CUMPLE
Aislamiento acústico a ruido de impacto		
$L'_{nT,w}$	Requerimiento DB HR	Resultado
59 dB	65 dB	CUMPLE

5. CONCLUSIONES

La rehabilitación acústica mediante el empleo de sistemas de placa de yeso laminado (En los elementos de separación vertical entre recintos, en los trasdosados en fachadas, en soleras flotantes, en los techos suspendidos y también en la tabiquería interior), permite la adecuación de viviendas a los nuevos parámetros de confort que plantea el DB HR, debido a las prestaciones acústicas del conjunto de las soluciones aplicadas, y en particular, a la mejora en los encuentros entre elementos (Aristas).

En el tanteo previo se ha podido comprobar que el incremento del aislamiento global $D_{nT,A}$ debido a la solera flotante PYL y a la sustitución de los tabiques tradicionales por otros de entramado, es de 6 dBA. Así pues si la actuación se hubiera centrado exclusivamente en el elemento separador y en el trasdosado de fachadas, el valor $D_{nT,A}$ solo hubiera alcanzado 49 dBA, no cumpliendo las exigencias del DB HR. Por tanto, la rehabilitación acústica debe entenderse como una actuación global en los recintos a rehabilitar, de forma que se traten todos los elementos constructivos que delimitan los recintos, es decir, el concepto “caja dentro de la caja”.

4.6 Soluciones cerámicas para la rehabilitación acústica

Elena Santiago Monedero; Ana Ribas Sangüesa; José Luis Valenciano Estévez
HISPALYT - Asociación Española de Fabricantes de Ladrillos y Tejas de Arcilla Cocida
hispalyt@hispalyt.es

1. INTRODUCCIÓN

Entendemos que siempre que se lleve a cabo una rehabilitación arquitectónica, en la medida en que sea posible, se debería mejorar el edificio original en lo que se refiere a su seguridad, habitabilidad y funcionalidad.

Como es natural, las exigencias a las que se ve sometido un edificio se han visto incrementadas con el paso del tiempo, y no solo nos referimos a las exigencias técnicas sino también a las exigencias que la sociedad actual demanda, dentro de las cuales, y cada vez en mayor medida, se encuentran las exigencias de confort acústico.

Si la rehabilitación a realizar es calificada como “integral” de acuerdo a los criterios establecidos en el CTE, es de obligado cumplimiento el DB-HR. La cuestión que se nos plantea es qué hacer si la rehabilitación no es de tipo “integral”, ¿hasta dónde podemos o queremos llegar en la mejora de las condiciones acústicas del edificio a rehabilitar?.

Tal pregunta no tiene una respuesta sencilla y desde luego admitiría diversas respuestas en función de múltiples variables, tales como las económicas, las funcionales, las de viabilidad geométrica, compatibilidad con el grado de protección del edificio a rehabilitar, etc.

La realidad es que todas estas incógnitas solo pueden responderse estudiando caso por caso, edificio por edificio, y aun siendo cierto también que algunas de estas variables no dependen exclusivamente de los técnicos redactores del proyecto de rehabilitación, trataremos de dar respuesta a la cuestión antes planteada desde criterios meramente técnicos.

En este artículo se describirán soluciones constructivas cerámicas orientadas a la mejora de las condiciones acústicas de los edificios tras su rehabilitación.

2. PAREDES SEPARADORAS CERÁMICAS PARA LA REHABILITACIÓN ACÚSTICA

Antes de presentar las soluciones de paredes cerámicas para la rehabilitación acústica de edificios, es importante recordar que el aislamiento acústico entre recintos no sólo es función del aislamiento acústico del elemento separador entre los mismos. Si bien unas buenas prestaciones acústicas en laboratorio de la pared separadora es condición necesaria para mejorar el aislamiento acústico entre recintos, en dicho aislamiento influyen además otros factores como la geometría de los recintos, las prestaciones acústicas de todos los elementos constructivos que conforman los recintos y el diseño de las uniones.

Por ello, la elección de la solución de pared separadora más adecuada para cada caso, deberá llevarse a cabo pensando en el edificio en su conjunto y considerando las limitaciones que tenemos para mejorar, tanto las prestaciones acústicas de todos los elementos constructivos existentes en el edificio, como el modo en que dichos elementos se encuentran unidos entre sí. De otro modo, en algunos casos puede suceder, que debido a los elementos constructivos de partida y al grado de intervención viable sobre algunos de ellos, por mucho que mejoremos los restantes elementos constructivos, no podamos alcanzar niveles de aislamiento acústicos por encima de un determinado valor, y que a partir de un determinado momento, las mejoras que apliquemos al resto de elementos constructivos sólo conduzcan a sobredimensionar y a encarecer injustificadamente la obra de rehabilitación. Por ejemplo, si el edificio a rehabilitar presenta un forjado muy antiguo con unas prestaciones acústicas bastante reducidas, a pesar de que en la rehabilitación se coloque un suelo flotante, posiblemente dicho elemento vaya a ser el que limite el aislamiento acústico en horizontal entre recintos, y por tanto, el que nos establezca el grado de intervención adecuada.

En la gran mayoría de los casos de los edificios a rehabilitar, partiremos de un elemento separador vertical de una sola hoja. En este caso, tanto si se trata de una hoja pesada (ladrillo perforado, bloque etc.), como si se trata de una hoja ligera (ladrillo hueco), la rehabilitación con soluciones cerámicas consistiría en aplicar un trasdosado cerámico con bandas elásticas perimetrales y material absorbente en la cámara, bien por una o por las dos caras del elemento separador vertical de partida. De este modo, las posibles soluciones de paredes separadoras SILENSIS resultantes de la rehabilitación serían las siguientes:

1) Separadoras SILENSIS TIPO 2B o SILENSIS TIPO 2A con bandas elásticas en una sola hoja:

Pared de dos hojas formada por una hoja pesada o ligera (pared base de partida) y un trasdosado formado por una hoja ligera de ladrillo hueco, con bandas elásticas perimetrales y material absorbente en la cámara.

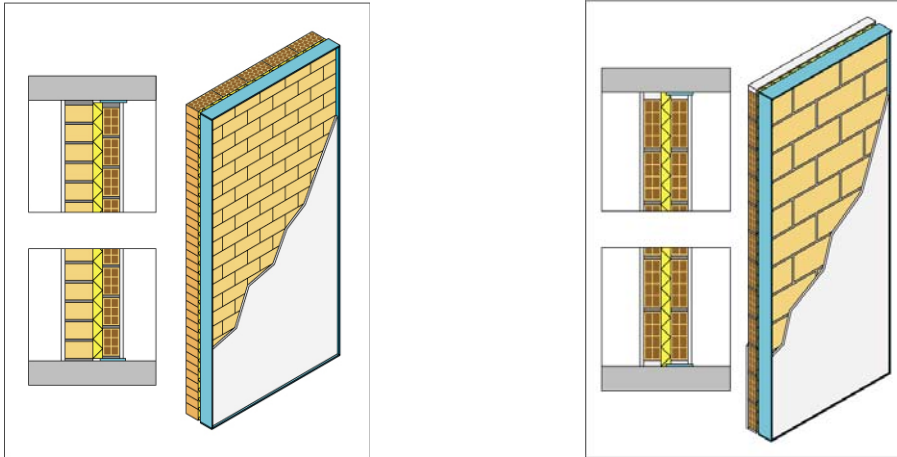


Figura 1.- Separadora Silensis Tipo 2B y Separadora Silensis Tipo 2A con bandas elásticas perimetrales en una hoja

2) Separadora SILENSIS TIPO 1B:

Pared de tres hojas formada por una hoja pesada o ligera (pared base de partida) y un trasdosado a cada lado de la misma formado por una hoja ligera de ladrillo hueco, con bandas elásticas perimetrales y material absorbente en la cámara.

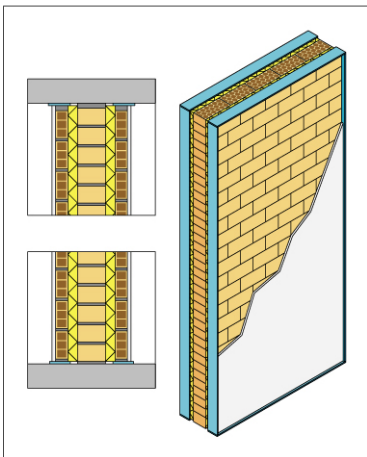


Figura 2.- Separadora Silensis Tipo 1B

Las separadoras SILENSIS TIPO 2B o SILENSIS TIPO 2A con bandas elásticas en una sola hoja, son soluciones idóneas para el caso en que solo se pudiera actuar por un lado de la pared separadora, siendo un ejemplo muy habitual en las reformas interiores en donde el usuario que pretende rehabilitar su vivienda solo puede actuar dentro de los límites de la

misma. En el caso de la separadora SILENSIS TIPO 1B, la simetría de la solución, implicaría necesariamente la actuación a ambos lados de la pared separadora.

Lógicamente, cuando el alcance de la rehabilitación implique la demolición de la pared separadora preexistente, se podría emplear cualquiera de las soluciones de paredes separadoras cerámicas englobadas dentro del sistema SILENSIS.

El comportamiento acústico de estos trasdosados cerámicos con bandas elásticas perimetrales ha sido ampliamente estudiado por el Instituto de Acústica y el Centro Tecnológico Labein Tecnalia dentro de los proyectos de I+D+I llevados a cabo por Hispalyt en los últimos años para el desarrollo de soluciones cerámicas de altas prestaciones acústicas. La colocación de las bandas elásticas perimetrales en los trasdosados cerámicos elimina el puente acústico estructural entre las hojas de la pared separadora, consiguiendo que dichos trasdosados aporten una mejora a ruido aéreo en valores globales sobre el aislamiento acústico del elemento base sobre el que se aplican que varía desde los 16 dBA hasta los 19 dBA.

Hispalyt ha realizado una amplia batería de ensayos en distintos laboratorios tales como el Laboratorio del Gobierno Vasco (Labein), Instituto de Acústica, Acusttel, etc. En la siguiente tabla se recogen a modo de ejemplo los resultados de algunas de las soluciones ensayadas:

SOLUCIÓN SILENSIS	Descripción de la muestra	R _A (dBA) PARED BASE	R _A (dBA) PARED COMPLETA	Estimación ΔR_A (dBA) TRASDOSADO CERÁMICO
SILENSIS Tipo 2A con bandas elásticas perimetrales en sólo una hoja	ENL 1 cm + LH 7 cm + LM 4 cm + LH 7 cm con bandas elásticas perimetrales de EEPS + ENL 1cm	34	54,3	19
SILENSIS Tipo 2B	ENL 1 cm + ½ pie LP + LM 4 cm + LHS 5 cm con bandas elásticas perimetrales de EEPS + ENL 1cm	46	61,9	16
	ENL 1 cm + ½ pie LP + LM 4 cm + LHGF 5 cm con bandas elásticas perimetrales de EEPS + ENL 1cm	42,8	61,4	18
	ENL 1 cm + BCA + LM 4 cm + LHS 5 cm con bandas elásticas perimetrales de EEPS + ENL 1cm	45	63,1	18
	ENL 1 cm + ½ pie LP + LM 4 cm + LHD 7 cm con bandas elásticas perimetrales de EEPS + ENL 1cm	44,3	61,5	17
SILENSIS Tipo 1B	ENL 1 cm + LHGF 5 cm con bandas elásticas perimetrales de EEPS + ½ pie LP + LM 4 cm + LHGF 5 cm con bandas elásticas perimetrales de EEPS + ENL 1cm	42,8	70	27

Figura 3.- Resultados de ensayos de las soluciones cerámicas Silensis con trasdosados con bandas elásticas perimetrales.

Como valor de referencia para el cálculo del aislamiento acústico de la pared rehabilitada tras la colocación del trasdosado, se puede considerar de acuerdo con lo recogido en el Catálogo de Elementos Constructivos del Ministerio de Vivienda, que un trasdosado cerámico de ladrillo hueco de pequeño o gran formato con bandas elásticas perimetrales de EEPS con un revestimiento interior y lana mineral de 4 cm aporta una mejora a ruido aéreo de 16 dBA. Dicho valor es un valor de mínimos, ya que en la realidad, tal y como se ha visto con los resultados de ensayo mostrados en la tabla anterior, en la mayoría de los casos se superan los 16 dBA.

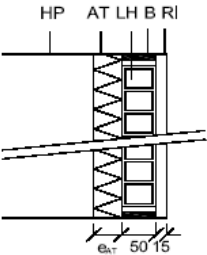
Código	Sección	e_{AT} (mm)	ΔR_A
TR3		40	16
HP: Hoja principal T: Trasdoso AT: Lana mineral o cualquier material absorbente acústico o amortiguador de vibraciones con una resistividad al flujo del aire, $r \geq 5 \text{ kPa.s/m}^2$. LH: ladrillo hueco de pequeño o gran formato de 5 cm de espesor B: Bandas elásticas de EEPS RI: Revestimiento interior (guarnecido o enlucido)			

Figura 4.- Caracterización del trasdosado cerámico con bandas elásticas perimetrales en el Catálogo de Elementos Constructivos.

Se puede por tanto considerar una estimación adecuada para el cálculo del valor de aislamiento acústico de la pared completa cuando se aplique un trasdosado cerámico con bandas elásticas perimetrales sobre una pared base: $R_A \text{ pared completa} = R_A \text{ pared base} + 16$.

Si bien en este artículo estamos presentando soluciones orientadas a la rehabilitación acústica de los edificios, no debemos olvidarnos de que la rehabilitación del edificio debe, en la medida de lo posible, introducir mejoras en todos los aspectos relativos a la seguridad, habitabilidad y funcionalidad. Por ello, a la hora rehabilitar un edificio debemos analizar el edificio en su conjunto y establecer soluciones integrales que nos permitan alcanzar unos niveles óptimos de prestación en todos estos aspectos.

En este sentido, cabe destacar el hecho de que las soluciones de paredes separadoras SILENSIS aquí planteadas, además de ser soluciones muy económicas y de altas prestaciones acústicas, tienen otras muchas cualidades técnicas en lo referente a su aislamiento térmico, comportamiento al fuego, resistencia a cargas suspendidas y seguridad frente al intrusismo.

Las soluciones Silensis de dos o tres hojas, garantizan sobradamente valores de $U \leq 1,2 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, considerando el espesor mínimo de 4 cm de lana mineral. Por otro lado, una de las ventajas de las paredes de ladrillo es su inercia térmica, que ayuda a conseguir una mayor estabilidad térmica, ayudando a reducir el gasto en aire acondicionado y calefacción, y favoreciendo el máximo confort térmico en el interior de las viviendas.

Asimismo, todas las soluciones de separadoras Silensis garantizan, de acuerdo con los ensayos realizados, una resistencia al fuego de EI 240 min, la máxima clasificación posible.

Por otro lado, las soluciones cerámicas (con y sin bandas elásticas) garantizan la estabilidad, seguridad frente al intrusismo y resistencia a cargas suspendidas, habiendo superado satisfactoriamente los ensayos de seguridad de uso según la guía DITE 003 (EOTA) / Edición Diciembre 1998 para elementos de división interior usados como muros no portantes, a la categoría de cargas "a" y uso "III".

3. ENCUENTRO DE LOS TABIQUES Y TRASDOSADOS DE FACHADA CON LAS PAREDES SEPARADORAS. MEJORA DEL AISLAMIENTO ACÚSTICO EN HORIZONTAL.

Si bien cuando añadimos un trasdosado cerámico con bandas elásticas perimetrales al elemento base sobre el cual se actúa, estamos mejorando notablemente el aislamiento acústico del elemento separador, para lograr mejorar adecuadamente el aislamiento acústico entre recintos, sería necesario interrumpir la unión rígida entre los tabiques y hojas interiores de fachada y el elemento base de partida al cual acometen.

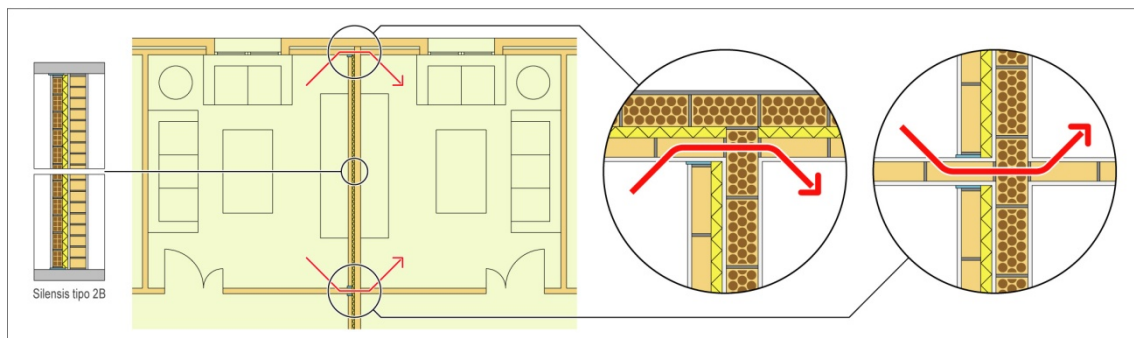


Figura 5.- Transmisiones del ruido a través de los tabiques y hojas interiores de fachada en una rehabilitación en la cual se mantiene la unión rígida de los tabiques y hojas interiores de fachada al elemento base preexistente.

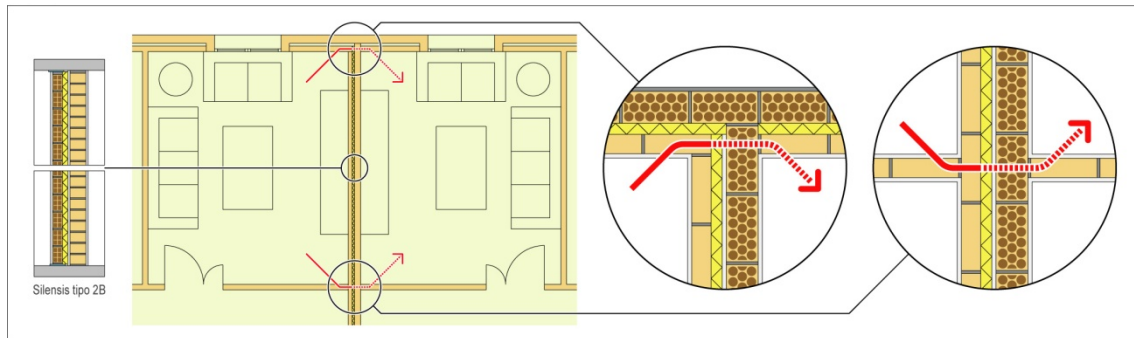


Figura 6.- Transmisiones del ruido a través de los tabiques y hojas interiores de fachada en una rehabilitación en la que se han interrumpido los tabiques y hojas interiores de fachada en el encuentro con el trasdosado cerámico de la pared separadora Silensis Tipo 2B.

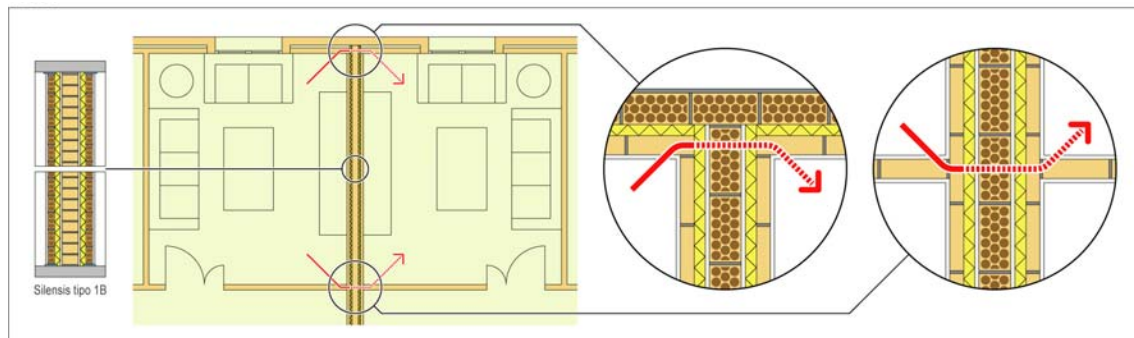


Figura 7.- Transmisiones del ruido a través de los tabiques y hojas interiores de fachada en una rehabilitación en la que se han interrumpido los tabiques y hojas interiores de fachada en el encuentro con el trasdosado cerámico de la pared separadora Silensis Tipo 1B.

Cuando interrumpimos los tabiques y hojas interiores de la fachada y los acometemos contra el trasdosado cerámico con bandas elásticas de la separadora, las transmisiones indirectas de ruido a través de los mismos se atenúan en la cámara de la separadora, dejando de ser caminos críticos con respecto a otros caminos de transmisión del ruido.

En este caso, la unión de los tabiques y hojas interiores de la fachada al trasdosado de la separadora se realizaría “rígidamente” (mediante traba o a testa), no siendo necesaria la colocación de las bandas elásticas laterales en el trasdosado para interrumpir el puente acústico estructural entre las dos hojas de la separadora. Esto, desde el punto de vista constructivo tiene su importancia, puesto que nos evitaría el tener que realizar la desconexión en vertical de los revestimientos.

Es importante resaltar que la atenuación de dichas transmisiones con este montaje, interrumpiendo los tabiques y hojas interiores de fachada en su encuentro con el trasdosado cerámico de la separadora, es bastante más elevada que la atenuación que se produciría en el caso de que se interpusieran bandas elásticas en el encuentro de los tabiques y hojas interiores de la fachada con el elemento base de la separadora. A este respecto, destacar que en el “Anejo D. Cálculo del índice de reducción de vibraciones en uniones de elementos

constructivos” del DB HR comentado desarrollado por la Secretaría de Estado de Vivienda y Actuaciones Urbanas, se han incorporado unos kij específicos los elementos constructivos de dos hojas de fábrica con bandas elásticas perimetrales (soluciones Tipo 2), no contemplados en la norma UNE EN 12354-1.

4. TABIQUES Y TRASDOSADOS DE FACHADA CON BANDAS ELÁSTICAS EN LA BASE. MEJORA DEL AISLAMIENTO ACÚSTICO EN VERTICAL.

En el aislamiento acústico entre distintos recintos colindantes verticalmente, las transmisiones de ruido a través los tabiques y trasdosados de fachada, en función de cómo sea su encuentro con los forjados, tendrán una mayor o menor influencia en el aislamiento acústico a ruido aéreo y de impactos in situ.

Tradicionalmente el montaje de las fábricas de ladrillo se ha realizado arrancando la fábrica sobre el forjado inferior sobre una cama de pasta de agarre o con una banda de arranque con una función acústica limitada, y recibiendo con yeso al forjado superior. En la medida en que en la rehabilitación se actúe sobre ellos, reduciremos muy notablemente las transmisiones indirectas de ruido aéreo en vertical, mejorando el confort acústico final del edificio. Este tipo de transmisiones se pueden reducir de manera muy significativa mediante la colocación de bandas elásticas en la base de los tabiques y los trasdosados de fachadas del edificio.

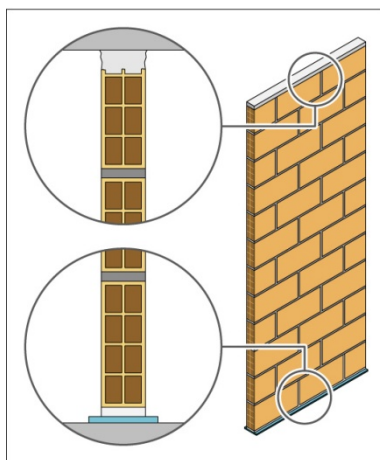


Figura 8.- Tabique Silensis con bandas elásticas en la base y recibido con yeso al forjado superior

Si bien lo habitual para conseguir unos buenos niveles de confort acústico, es que las bandas elásticas únicamente se coloquen en la base de tabiques interiores y trasdosados de fachadas y medianerías, recibiendo las fábricas con yeso contra el forjado superior, en determinadas circunstancias en las que se quieran obtener unas todavía mejores prestaciones acústicas, pueden colocarse bandas elásticas también en la cima. Esta solución es idónea en el caso de que no se pudiera actuar en la planta superior, siendo un ejemplo muy habitual en las reformas interiores en donde el usuario que pretende rehabilitar su vivienda solo puede actuar dentro de los límites de la misma.

La mejora de aislamiento acústico que proporciona la colocación de bandas elásticas en la base de las fábricas, nos permite optimizar las láminas anti-impacto y emplear fábricas de espesores y masas menores, evitando la sobrecarga de la estructura y aumentando la superficie útil.

5. EJECUCIÓN DE LAS SOLUCIONES SILENSIS

Si bien las soluciones SILENSIS conllevan unos ligeros cambios en el sistema de montaje con respecto a las soluciones cerámicas tradicionales, hay que resaltar la simplicidad de las reglas de ejecución en relación con otros sistemas mucho más complejos de ejecutar.

Los resultados de los múltiples ensayos de aislamiento acústico realizados en distintas promociones de viviendas, cumpliendo en todos los casos las exigencias a ruido aéreo y de impactos del DB HR del CTE, garantizan la robustez del sistema a posibles errores de ejecución.

No es objeto de este artículo la exposición en detalle de las reglas de ejecución del sistema Silensis, que pueden encontrarse en distintos documentos divulgativos desarrollados por Hispalyt, tales como la Ponencia Silensis, Folleto de instaladores y Video de ejecución Silensis, accesibles desde la Web de SILENSIS (www.silensis.es), así como en el “Manual de ejecución de fábricas de ladrillo para revestir” que Hispalyt está desarrollando en colaboración con el Instituto Eduardo Torroja Ciencias de la Construcción y que verá la luz durante el mes de Diciembre de 2011, pero si al menos nos parece importante detenernos a comentar los aspectos fundamentales a controlar para el adecuado funcionamiento acústico del sistema, resumidos en los siguientes puntos:

- 1.- Se comprobará que se han colocado las bandas elásticas donde corresponda (base, laterales o perímetro) en función de la solución constructiva de que se trate (tabique interior, pared separadora, etc), de acuerdo con lo indicado en proyecto.
- 2.- En aquellos puntos en los que se haya colocado banda elástica, se comprobará que no se hayan producido conexiones rígidas a través de las rebabas de la pasta de agarre.



Montaje CORRECTO una vez eliminadas las rebabas de mortero de cemento

Montaje INCORRECTO sin eliminar las rebabas de mortero de cemento sobre la banda elástica que conectan la fábrica con el forjado inferior

Figura 9.- Limpieza de las rebabas pasta de agarre en contacto con el forjado inferior tras el levantamiento de la fábrica

3.- Se comprobará que se han rellenado adecuadamente las juntas horizontales y/o verticales (en función del tipo de pieza) con pasta de agarre, garantizando en todo momento la correcta trabazón de las piezas al ejecutar la fábrica.

4.- En aquellas soluciones en las que se coloque un material absorbente acústico, se comprobará que se coloca rellenando toda la superficie de la primera hoja de la separadora asegurándonos de que no sufra desperfectos ni roturas durante su colocación.

5.- Se comprobará el correcto retacado de las fábricas, bien contra el forjado superior en las paredes que no lleven banda elástica superior, bien contra la banda elástica en las que si la lleven.

6.- Se comprobará la correcta ejecución y sellado de las rozas. Las rozas de las paredes deberán sellarse adecuadamente quedando rellenas de yeso, pasta o mortero, según sea el caso. En las fábricas que lleven bandas elásticas, se interrumpirá el macizado de las instalaciones en el encuentro de la fábrica con los forjados inferior y superior, para evitar la unión rígida de la fábrica con los forjados y así las transmisiones de ruido.

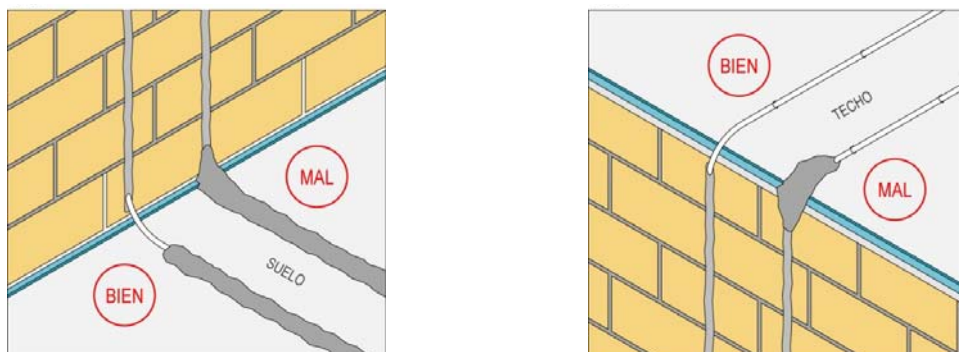


Figura 10.- Interrupción del macizado de las instalaciones en el encuentro de la fábrica con los forjados inferior y superior.

7.- En las paredes con bandas elásticas, se comprobará que se han desconectado los revestimientos en aquellos puntos en donde sea necesario.

De acuerdo con las reglas de ejecución del sistema SILENSIS, dicha desconexión podrá realizarse bien mediante la realización de un corte en el yeso hasta alcanzar la banda elástica o bien mediante el mantenimiento de la desconexión de los yesos durante la propia aplicación de los mismos. Posteriormente, se colocará una banda de papel para ocultar esa desconexión y conseguir un acabado acústico y estético óptimo.

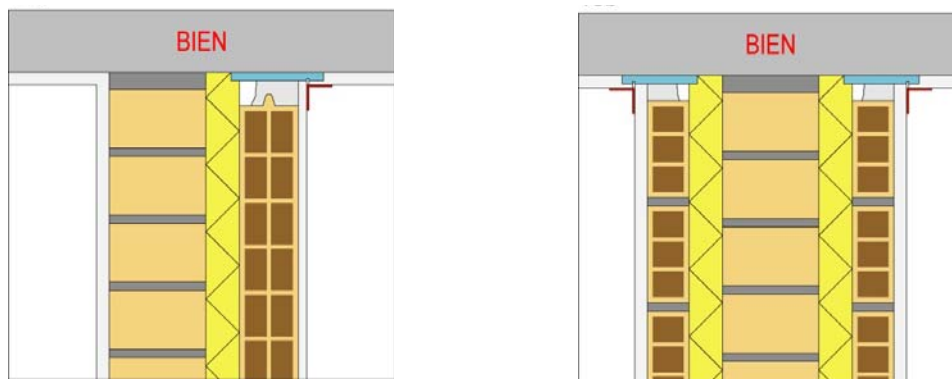


Figura 11.- Desconexión mediante corte del yeso en el encuentro de las hojas ligeras de las paredes separadoras de doble hoja Silensis Tipo 2B y Silensis Tipo 1B con el forjado superior.

En general, en una vivienda vamos a tener muy pocos metros en los cuales vaya a ser necesario realizar la desconexión de los revestimientos. Generalmente, sólo será necesario realizar dicha desconexión en el encuentro de las hojas de ladrillo hueco con bandas elásticas de las separadoras SILENSIS con el forjado superior, siempre y cuando se apliquen revestimientos continuos. En aquellas zonas de la vivienda en las que se coloque falso techo (generalmente baños, cocinas, vestíbulos y pasillos), no será necesario realizar la desconexión.

8.- Se comprobará que el suelo flotante se ha interrumpido en su encuentro con las separadoras Silensis y se ha ejecutado de tal modo que se evita en todo momento que la capa rígida entre en contacto con las hojas de las separadoras Silensis y con el forjado inferior.

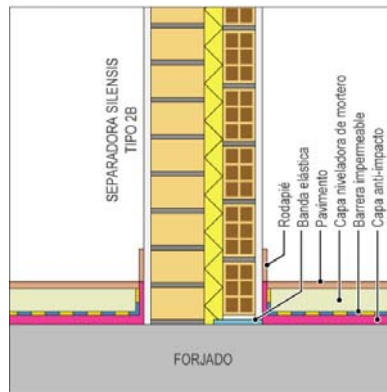
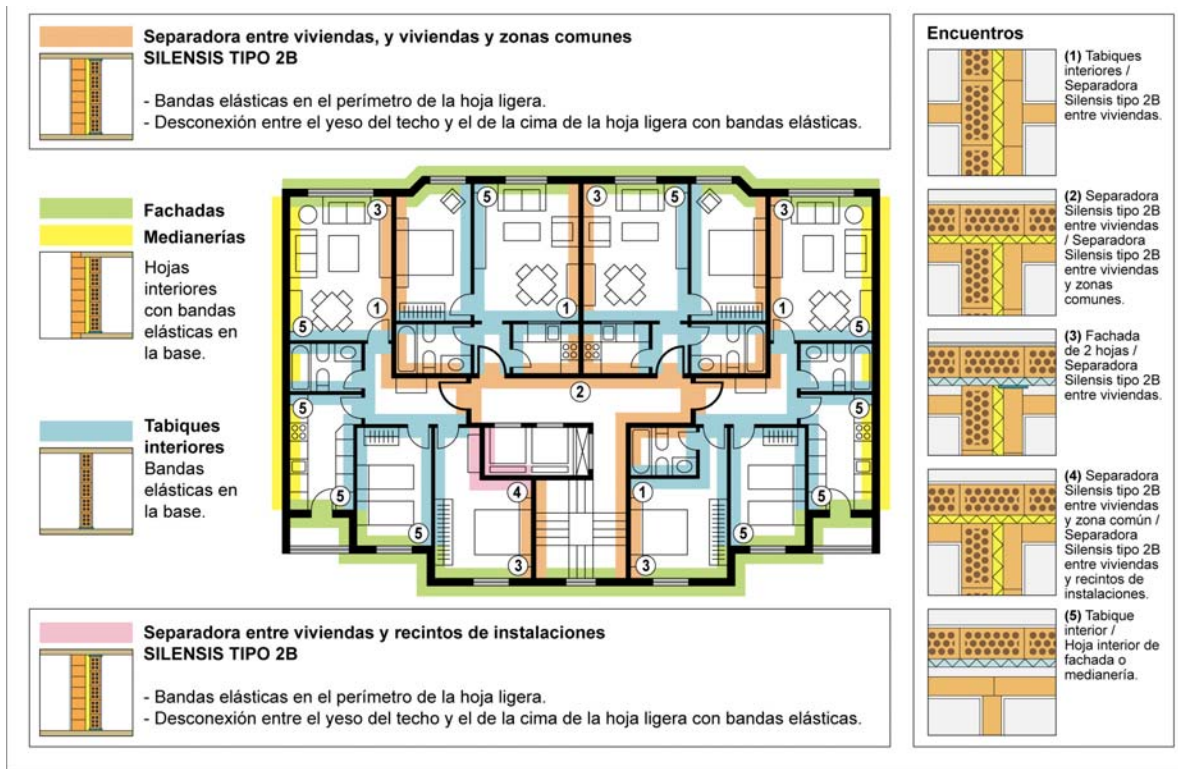


Figura 12.- Interrupción Encuentro de una separadora Silensis Tipo 2B con el forjado inferior cuando el arranque de la separadora se realice sobre el forjado.

A continuación, con el fin de ilustrar la colocación de las bandas elásticas y desconexión de los revestimientos, a modo de ejemplo se incluye la planta de un edificio con soluciones de paredes separadoras entre viviendas, y entre viviendas y zonas comunes SILENSIS TIPO 2B, y tabiques interiores y trasdosados de fachada y medianería con bandas elásticas en la base.



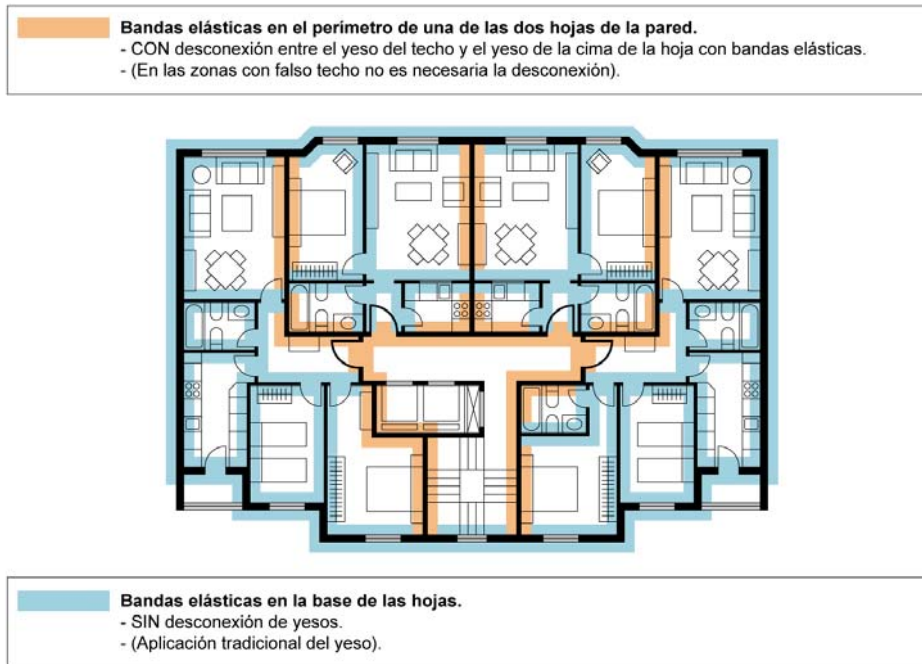


Figura 13.- Colocación de bandas elásticas y desconexión de los revestimientos en un edificio con separadoras Silensis Tipo 2B y tabiques y trasdosados de fachada y medianería con bandas en la base.

Como breve apunte económico, es importante decir que el incremento de coste de las soluciones constructivas cerámicas SILENSIS debido a la colocación de las bandas elásticas perimetrales y a la desconexión de los revestimientos, respecto del coste de las soluciones constructivas cerámicas con montaje tradicional es prácticamente despreciable.

6. CONCLUSION

Las soluciones cerámicas Silensis para rehabilitación basadas en el empleo los trasdosados cerámicos con bandas elásticas perimetrales y tabiquería con bandas elásticas en la base, nos permiten mejorar el aislamiento acústico del edificio de forma muy económica, al tiempo que se mejoran otras prestaciones relativas al aislamiento térmico, comportamiento al fuego, resistencia a cargas suspendidas y seguridad frente al intrusismo, gracias a las características inherentes a la cerámica.

Rehabilitación acústica a ruido exterior en vivienda social: un caso práctico.

Suárez Medina, Rafael

Instituto Universitario de Arquitectura y Ciencias de la Construcción. Universidad de Sevilla.
rsuarez@us.es.

1. Introducción.

“Las ciudades en las que viviremos dentro de 20 años ya están construidas”

Bernardo Secchi, 1984.

La actual situación social, ambiental y económica ofrece un nuevo marco en el que la rehabilitación del parque residencial será una de las principales actuaciones que se habrán de abordar en los próximos años, con el fin de mejorar su habitabilidad, reducir su impacto ambiental y propiciar un marco económico estable.

La actual normativa se basa en parámetros propios de la construcción de obra nueva, lo cual supone en ocasiones una barrera que dificulta la rehabilitación. En este panorama, es necesario ofrecer un marco de actuación diferente que de respuesta a las actuales demandas de sostenibilidad.

Gran parte de las viviendas están obsoletas e inadecuadas ante las actuales demandas de confort, no sólo térmico, sino también acústico. La actual concienciación social ante el ruido supone un aumento en las exigencias acústicas en las viviendas frente al ruido exterior. A pesar de ello, el actual DB-HR, en su ámbito de aplicación, no fomenta la adecuación de la edificación existente a esta demanda, excepto cuando se trata de rehabilitación integral.

Así pues, las actuaciones de rehabilitación de edificios residenciales constituyen una excelente oportunidad para aumentar las prestaciones del edificio mejorando sus condiciones acústicas. Las actuaciones sobre la envolvente exterior, tanto desde el punto de vista térmico como

acústico, redundan no sólo en el ahorro de energía, sino también en mejorar el ambiente interior y el confort acústico del usuario.

El presente estudio se centra en un conjunto de actuaciones de rehabilitación en viviendas de protección oficial en régimen de alquiler de la promotora municipal Viviendas Municipales de Córdoba (VIMCORS), acogidas a financiación a cargo del Fondo Estatal para el Empleo y la Sostenibilidad Local ¹, incluidas en el artículo 9 d): obras municipales destinadas a impulsar el ahorro y la eficiencia energética, así como la accesibilidad y utilización de energías renovables.

A principios del año 2010, se han redactado una serie de proyectos de rehabilitación sobre unas 800 viviendas de diferentes tipologías, desde casco histórico a bloque plurifamiliar, con una edad media de 13 a 20 años. En estas actuaciones se incorpora el vector energético como motor de la acción rehabilitadora, con el fin de mejorar las condiciones de habitabilidad y confort interior de las viviendas, complementándose con una mejora de las condiciones acústicas al ruido exterior en cerca del 60% de las viviendas.

2. Objetivo.

El objetivo del presente trabajo es ofrecer una serie de pautas y estrategias de intervención para la rehabilitación acústica frente al ruido exterior en el sector residencial, a través del análisis y estudio de casos concretos de rehabilitación en edificios de viviendas de protección oficial en régimen de alquiler en Córdoba recientemente concluidos.

La singularidad propia de cada proyecto de rehabilitación hace difícil establecer una guía de actuación, haciéndose necesario en cada caso definir la solución más eficiente en términos de costos y prestaciones. La dificultad de plantear soluciones de intervención generalistas nos lleva a plantear el estudio de casos concretos, a partir de los cuales se podrán extraer criterios generales de actuación de manera que puedan servir de modelo de actuación y acicate para la mejora de las condiciones acústicas de las viviendas existentes, ofreciéndoles unas condiciones de habitabilidad y de confort ante el ruido exterior similares a las viviendas de obra nueva según el CTE.

3. Diagnóstico acústica.

En primer lugar se realiza un análisis de las condiciones iniciales, tanto de los factores vinculados al edificio: situación, configuración arquitectónica, factores fuera del alcance de la intervención, como de la caracterización de los sistemas constructivos del edificio, mediante inspección visual, análisis de documentación de los proyectos originales, datos geométricos de los recintos, junto con las condiciones de mantenimiento y ejecución principalmente en uniones y encuentros. Para conocer las condiciones de comportamiento acústico iniciales y detectar las

carencias acústicas del edificio se asimilan las soluciones constructivas a soluciones conocidas y ensayadas, por lo que es de utilidad el empleo del Catálogo de Elementos Constructivos como referente conservador ya que corresponde con descripciones genéricas de productos.

El aislamiento de la envolvente acústica de cada edificio es función de²:

- El aislamiento del cerramiento de fachada o cubierta.
- El aislamiento del hueco.
- Los elementos constructivos que delimitan el recinto y sus uniones en la conexión a la fachada, responsables de las transmisiones indirectas, aunque en el caso de las fachadas, en general, se pueden considerar despreciables.
- La forma de la fachada, la existencia de petos, balcones, voladizos, retranqueos, elementos que puede modificar las reflexiones del sonido y disminuir la presión acústica en el interior de los recintos. Se estima que el aumento del aislamiento acústico debido a la forma de la fachada es insignificante.
- El volumen del recinto receptor y el porcentaje de hueco en la fachada.

De estos condicionantes, el hueco es el elemento crítico, presenta el menor aislamiento acústico y limita el aislamiento acústico a ruido aéreo con el exterior del conjunto.

Las principales características comunes de la envolvente acústica exterior del conjunto de las viviendas sobre las que se ha actuado son:

- Generalizado empleo de acristalamiento simple de 4 / 5 mm.
- En el casco histórico carpinterías de madera con bajo nivel de mantenimiento, muy deterioradas con rendijas de 3 / 5 mm. Suelen tener como sistemas de oscurecimiento postigos o persianas de cadenilla exteriores.
- Importante número de carpinterías de aluminio correderas.
- En carpinterías de aluminio sistemas de persiana de PVC con capialzados o cajones de persiana, sistema monoblock.
- Empleo de cerramientos de dos hojas con aislamiento en cámara de aire. En ocasiones existen cerramientos exteriores de una hoja sin aislamiento, bien muros de carga en casco histórico o fachadas de bloques cerámicos de 24 / 29 cm.
- Cubiertas planas con forjados de hormigón y aisladas térmicamente.
- Cubiertas inclinadas sobre forjados y sobre elementos ligeros con estructuras de madera o metálicas en edificios más antiguos del casco histórico.

Como se ha comentado anteriormente el objetivo de las actuaciones no es cumplir con los valores límite de aislamiento definidos en el DB-HR, sino contribuir a la mejorar de las condiciones de habitabilidad y confort acústico de las viviendas. No obstante, se toma este valor límite como índice de referencia y de comparación frente a las actuaciones en obra nueva.

Así pues, para cumplir la exigencia para el aislamiento acústico a ruido aéreo entre el recinto y el exterior, $D_{2m,nT,Atr}$, el DB HR presenta como novedad la dependencia del aislamiento del nivel de ruido de fondo, valores del índice de ruido día L_d , definido en el Anexo I del Real Decreto 1513/2005, en función de la zona donde se ubica el edificio según las condiciones establecidas en el apartado 2.1.1.a.v del DB HR, cuantificándose la exigencia de aislamiento con los valores límite indicados en la tabla 2.1 del documento en función del uso del edificio.

La cuantificación del aislamiento a ruido exterior se realiza aplicando la opción general, procedimiento de cálculo basado en el modelo simplificado para la transmisión acústica estructural de la UNE EN 12354 partes 1, 2 y 3, mediante el empleo de la herramienta informática desarrollada por el Ministerio de Vivienda junto con el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (CSIC)³.

4. Propuesta de intervención. Diseño y dimensionado de soluciones acústicas.

Tras el análisis del aislamiento acústico a ruido exterior de las viviendas, se definen las alternativas de mejora de aislamiento acústico, técnica, económica y socialmente viables en base a las exigencias normativas actuales de confort interior y de habitabilidad.

Se buscan soluciones simples y flexibles, ajustadas económicamente a los estándares de vivienda social, compatibles con el grado de intervención y naturaleza de la rehabilitación, así como con las exigencias térmicas DB HE1 y de salubridad DB HS3.

Dado que el edificio sobre el que se propone actuar son viviendas de protección oficial en régimen de alquiler y las obras se ejecutan con los inquilinos en sus viviendas, las actuaciones tienden a minimizar el impacto en el interior de la vivienda, actuándose principalmente por el exterior o con afección mínima desde el interior.

Se exponen a continuación diferentes tipos de actuaciones realizadas sobre la envolvente exterior de las viviendas.

4.1. Fachadas.

Previamente a definir estrategias de intervención, para tener una visión homogénea de conjunto de lo que representa cada actuación se calibra cuál es su repercusión sobre los valores de aislamiento acústico a ruido exterior sobre el elemento del recinto más desfavorable. Para ello se ha realizado el estudio comparativo para la elección de las consideraciones más desfavorables, ajustándose al "peor caso posible" en caso de indeterminación en algún punto del problema.

Se han establecido las siguientes simplificaciones que permiten comparar las actuaciones realizadas, como casos más desfavorables:

- Consideración del recinto receptor como recinto protegido.
- Tabiquería cerámica, fachada de doble hoja cerámica con aislamiento y forjados de hormigón.
- Determinación del recinto geoméricamente más desfavorables. Se analizan la relación entre porcentaje de hueco y volumen del recinto receptor para los diferentes recintos de la vivienda (tabla 1), fijando una altura tipo de 2,65 m (la altura en las viviendas de casco histórico presentan una altura mayor).

Uso	Superficie (m ²)	Ancho mínimo fachada m	Superficie fachada m ²	Volumen (m ³)	% hueco	Ventana tipo
Dormitorio	6	2,2	5,83	15,9	25	1,20 x 1,20
	8	2,2	5,83	21,2	25	1,20 x 1,20
	10	2,4	6,36	26,5	23	1,20 x 1,20
	12	2,4	6,36	31,8	23	1,20 x 1,20
Salón	18	3,0	7,95	47,7	39	2,20 x 1,40

Tabla 1. Relaciones más desfavorables entre porcentaje de hueco y volumen recinto receptor.

Tras el análisis de los recintos el más desfavorable para uso dormitorio es el que tengan un mayor porcentaje de hueco y un menor volumen del recinto receptor, es decir, el dormitorio más pequeño de 6 m². Comparando este dormitorio con el salón, la relación entre los dos parámetros anteriores, porcentaje de hueco y volumen del recinto receptor, resulta igualmente más desfavorable para el caso del dormitorio de menor superficie, siendo además el recinto con mayor exigencia de aislamiento a ruido exterior. Por ello se extiende el análisis de las distintas soluciones empleadas al caso y configuración geométrica desfavorable de este dormitorio.

Para evaluar la influencia de las diferentes actuaciones se comparan los valores de aislamiento a ruido exterior $D_{2m,nT,Atr}$ del estado inicial: cerramiento cerámico de doble hoja ($R_{Atr} \cong 47$ dBA) y hueco formado por ventana corredera con vidrio de 4 mm ($R_{Atr} \cong 26$ dBA), con o sin capitalizado/cajón de persiana, y la propuesta, evaluando el parámetro de intervención en cada caso mediante el análisis de las propuestas en hipótesis simples, extendiéndose en cada uno de los edificios proyectados a hipótesis combinadas y a condiciones geométricas específicas de los recintos para obtener el aislamiento acústico a ruido exterior.

4.1.1. Aislamiento del cerramiento opaco.

En los edificios con cerramientos sin ningún tipo de aislamiento, cerramientos de 1 hoja de bloque cerámico de 24-29 cm y fachadas de muros de carga de ladrillo, se ha procedido, en determinados casos, a dotarlas con sistemas de aislamiento que aportan una importante mejora térmica mediante:

- Sistemas de aislamiento térmico por el exterior (SATE), que no aportan mejora acústica, $R_{Atr} \cong 47$ dBA (figura 1).
- Fachada ventilada aislada con lanas minerales, con escasa incidencia acústica $R_{Atr} \cong 51$ dBA (figura 2) .



Figura 1. Aislamiento exterior.
(SATE)



Figura 2. Aislamiento exterior
Fachada ventilada



Figura 3. Aislamiento interior.
Trasdoso.

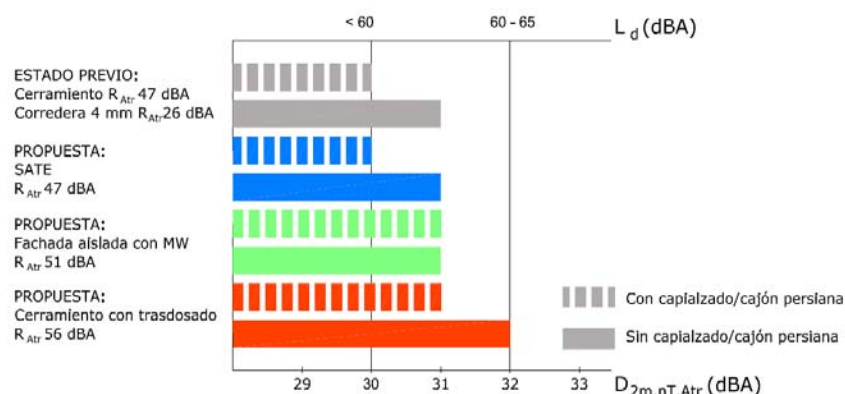


Figura 5. Comparativa de mejora de aislamiento acústico mediante aislamiento del cerramiento opaco.

Estas soluciones de aislamiento por el exterior implican un bajo nivel de molestias a los usuarios durante su ejecución, y pueden traducirse en una importante renovación estética en la configuración del edificio (figura 4), pero apenas suponen mejora del aislamiento acústico aéreo a ruido exterior.

En casos excepcionales se procede a realizar aislamiento interior con trasdosado de entramado autoportante (figura 3) existiendo una mejora del aislamiento del cerramiento ($R_{Atr} \cong 56$ dBA) pero con escasa variación de $D_{2m,nT,Atr}$. Esta solución presenta la desventaja de la reducción de la superficie útil, dificulta la ejecución y gestión teniendo en cuenta que las viviendas se encuentran ocupadas, al tener que realizar trabajos en el interior, pero tiene la ventaja de no obligar a rehabilitar todo el edificio, pudiéndose realizar actuaciones de forma parcial.

Del análisis comparativo de las diferentes opciones se deduce, que en general, el aislamiento de la parte ciega de la fachada tiene poca incidencia en el aislamiento global de la fachada (figura 5).

4.1.2. Mejora de aislamiento en huecos.

Los huecos son los elementos más débiles de la fachada y responsables de la limitación en el aislamiento acústico frente al ruido exterior del conjunto. El aislamiento acústico máximo del conjunto (hueco + parte ciega) que puede obtenerse es aproximadamente de 4 a 5 dBA superior al aislamiento del elemento de menor aislamiento: el hueco, como se refleja en la figura 1.7 de la Guía de aplicación del DB-HR, por lo que las actuaciones de mejora se centran en el incremento del aislamiento acústico de este elemento.

El principal elemento del hueco es la ventana. El tipo de material de los marcos de ventana apenas tiene influencia acústica, dependiendo el aislamiento de la ventana parcialmente del tipo de vidrio y sobre todo de la permeabilidad al aire de la carpintería. Cabe destacar que los valores de aislamiento a ruido aéreo recogidos en el Catálogo de Elementos Constructivos (valores recogidos en la norma UNE EN 14351-1) son conservadores, en el mercado las ventanas con valores buenos de permeabilidad al aire (clase 3 ó 4 para oscilobatientes y clase 3 para correderas) pueden garantizar valores de aislamiento acústico superiores.

En todos los casos se proyecta doble acristalamiento con dos hojas de vidrio monolítico de diferente espesor, frente a la solución de dos hojas de igual espesor, ya que mejora el aislamiento al evitar el efecto de resonancia entre las hojas. La influencia del tipo de acristalamiento es poco significativa, ya que el aspecto determinante es la permeabilidad al aire de la carpintería. En carpinterías correderas la transmisión se realiza mayoritariamente, vía directa, a través de las holguras entre hojas.

Se presentan diferentes escenarios y actuaciones en huecos:

- Sustitución de vidrios simples por doble acristalamiento 4+8+6 adaptándose a las diferentes condiciones de la carpintería:
 - o En carpinterías correderas en buen estado con permeabilidad al aire superior a clase 2 $R_{Atr} \cong 27$ dBA, pero sin ancho suficiente para alojar el doble acristalamiento, se dispone perfil de adaptación que posibilita su instalación (figura 6).
 - o En carpinterías correderas inadecuadas o deterioradas cambio de las hojas correderas por nuevas hojas con permeabilidad al aire clase 3, $R_{Atr} \cong 27$ dBA.
 - o Cambio de vidrio en carpintería abatible mediante sustitución de junquillos corrigiendo la estanquidad, $R_{Atr} \cong 30$ dBA.
- En carpinterías deterioradas, principalmente de madera, y en edificios con mayor exigencia acústica por mayor ruido exterior se sustituye la ventana, generalmente corredera, por carpintería abatible u oscilobatiente y cajón de persiana (sistema monoblock) o manteniendo el capialzado original, con permeabilidad al aire de la ventana clase 4 y doble acristalamiento 6+8+4 ($R_{Atr} \cong 30$ dBA) ó 6+6+10 con rotura de puente térmico, $R_{Atr} \cong 32$ dBA (figura 7).
- Para situaciones de mayor contaminación acústica se dispone doble ventana manteniendo la existente y disponiendo una exterior corredera, con permeabilidad al aire superior a clase 2 y vidrio simple, con una cámara entre carpinterías de al menos 10 cm (figura 8). Además se mejora la estanquidad de la carpintería existente mediante el adecuado sellado perimetral.
- Sustitución de persianas de PVC por persianas de lamas de aluminio rellenas de espuma de poliuretano de alta densidad, con una cámara de unos 10 cm con la carpintería, aumentando el aislamiento al presentar una frecuencia de resonancia inferior a 125 Hz.



Figura 6. Acristalamiento con perfil adaptación.



Figura 7. Sustitución carpintería



Figura 8. Doble ventana.

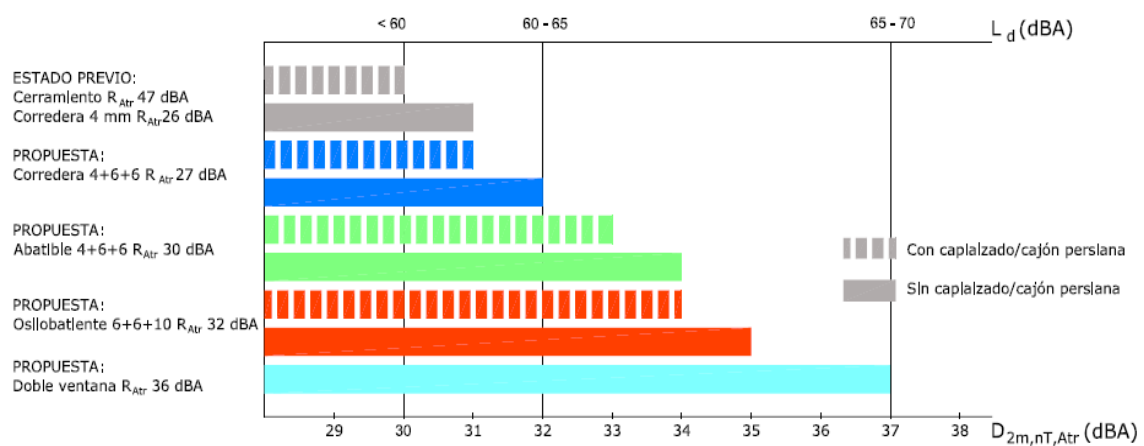


Figura 9. Comparativa de mejora de aislamiento acústico en ventanas (con y sin capitalizado) .



Figura 10. Análisis de filtraciones mediante imagen termográfica en ensayo de presurización/despresurización (Fuente: Proyecto Eficacia).

En función del nivel de ruido día L_d , se opta por diferentes soluciones que posibilitan una mejora del aislamiento acústico de las ventanas, permitiendo dar solución a las diferentes exigencias (figura 9).

El grado de estanquidad al aire de los edificios a través de su envolvente es uno de los aspectos que en mayor medida afectan tanto a las condiciones higrotérmicas y de calidad del aire interior como al aislamiento acústico frente a ruido exterior. Los ensayos de presurización/despresurización⁴, utilizando como equipo la Blower Door, demuestran que la mayor parte de las infiltraciones se realizan en el contorno de las ventanas y especialmente en los cajones de persiana como se puede observar en el análisis termográfico (figura 10).

El aislamiento térmico por el exterior de las fachadas, tanto con fachadas ventiladas como con sistemas SATE, mejora la permeabilidad al aire de los huecos al disminuir las infiltraciones entre un 25-30% al mejorar las diferentes soluciones de encuentro de esas ventanas con los paramentos de fachada (figura 11), reduciendo la tasa de infiltración en el entorno del 0.30-0.35 renovaciones/hora, frente a los valores iniciales de 0.45 y la tasa constante de 1 renovaciones/hora en edificios de nuevo planta adaptados al CTE.



Figura 11. Mejora permeabilidad al aire por aislamiento exterior.



Figura 12. Mejora permeabilidad junta de cierre de tapa de registro de capitalzado.



Figura 13. Producto multicapa en tapa registro

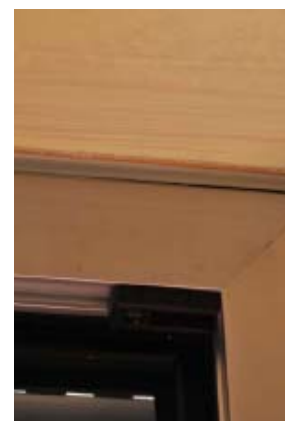


Figura 14. Sellado perimetral capitalzado.

El capialzado o el cajón de persiana es el elemento de menor aislamiento acústico de la fachada ya que el principal problema es su falta de estanquidad; pues penetra el aire y por lo tanto el ruido. En estas condiciones los valores del índice global de reducción acústica para ruido de automóviles, $R_{A,tr}$ difícilmente superan los 25 dBA .

Los puntos débiles ante el ruido del cajón de persiana son:

- Transmisión a través de la junta de cierre de la tapa de registro. Se minimiza colocando burletes de caucho adhesivos en el perímetro de la tapa para conseguir minimizar la permeabilidad al aire de los capialzados (figura 12) o disponiendo cierres tipo click en las cajas de persianas de los sistemas monoblock.
- Transmisión directa por tapa de registro que presenta escasa masa. Se refuerza la masa de la tapa en sistemas monoblock con productos multicapas que incorporen lámina de plomo de 0.35 mm (figura 13).
- Transmisión por vía de unión de caja de persiana con carpintería. Sellado perimetral del capialzado o cajón de persiana (figura 14).

Para conseguir una reducción eficaz del ruido por absorción se emplean soluciones que reducen la intensidad sonora que penetra en el recinto del capialzado, rellenando el capialzado con absorbente acústico de al menos 25 mm de espesor, no siendo efectiva la utilización generalizada de aislamiento térmico (figura 15). Esta solución tiene la dificultad de acoplar el aislamiento a la sección del capialzado. En los sistemas monoblock no existe espacio suficiente por lo que se opta por disponer un producto multicapa formado por lámina de espuma de polietileno reticulado de 3 mm, lámina de plomo de 0.35 mm y lámina de polietileno reticulado de 3 mm que además refuerza la parte ciega del cajón de persiana (figura 13)



Figura 15. Aislamiento térmico capialzado



Figura 16. Aislamiento acústico en aireador.

La corrección de patologías higrotérmicas y de mejora de las condiciones de calidad del aire interior, mediante la disposición de un sistema de ventilación mecánico supone la incorporación de aireadores, generalmente en el hueco. La incorporación del aireador supone una pérdida importante en el aislamiento acústico a ruido exterior, por lo que el aireador debe estar dotado de material fonoabsorbente interior (figura 16) que garantice una diferencia de nivel normalizada $D_{n,e,Atr}$ superior al valor del índice global de reducción acústica del elemento constructivo mixto, $R_{m,Atr}$, para que no se produzca una merma significativa del aislamiento acústico de la fachada.

4.1.3. Puesta en obra del conjunto.

En el proceso de ejecución de las diferentes soluciones es importante verificar los valores de aislamiento acústico de cada uno de los productos requiriendo el correspondiente marcado CE o ensayo acústico, de especial importancia en sistemas compuestos como el conjunto formado por la ventana y el cajón de persiana.

Además es importante garantizar la correcta ejecución de las uniones y encuentros de los distintos elementos ya que una incorrecta ejecución es responsable de una significativa pérdida de aislamiento del conjunto. En los huecos es importante minimizar las holguras realizando un adecuado sellado de las juntas:

- Sellado de la holgura entre marco y premarco mediante un material aislante: espuma de poliuretano, que garantiza el aislamiento térmico y acústico del hueco de obra.
- Sellado de la junta exterior entre marco y obra, especialmente en fachadas de cara vista, con un material impermeable, como silicona neutra, para garantizar la estanquidad al aire y al agua del hueco de obra (figura 17).
- Sellado perimetral de juntas (precerco-cerco) con masilla de alta densidad y silicona o recibido de mortero (cerco-albañilería).
- Evitar el exceso de huelgo entre persiana arrollable y ranura de entrada a caja de persiana, limitándolo a unos 20 mm (figura 18).



Figura 17. Sellado carpintería a fábrica.



Figura 18. Corrección holgura entrada caja persiana con perfil aluminio.

4.2. Cubiertas y suelos con el exterior.

Generalmente la rehabilitación de las cubiertas viene asociada a la aparición de patologías, siendo habitual las actuaciones de simple sustitución de elementos, sin aprovechar la intervención para mejorar las prestaciones acústicas.

Los suelos en contacto con el exterior con forjados pesados, superiores a 300 kg/m^2 , como unidireccional con bovedillas de hormigón de canto 22+4 presentan un índice de reducción acústica a ruido de tráfico $R_{Atr} = 48 \text{ dBA}$, mientras que el mismo elemento estructural formando parte de una cubiertas plana, según los datos del apartado 4 del Catálogo de Elementos Constructivos para forjados tiene un valor $R_{Atr} = 50 \text{ dBA}$, al estar enlucido el forjado en su cara interior. En ambos casos presentan un aislamiento aéreo a ruido exterior $D_{2m,nT,Atr} = 47 \text{ dBA}$, según tabla 3.4 del DB HR para cálculo por la opción simplificada, valor adecuados para altos niveles de ruido día L_d . En ambos casos las actuaciones con incorporación de aislamiento tienen una función térmica, ya que las prestaciones acústicas son importantes y suficientes.



Figura 19. Cubierta ligera deteriorada con rehabilitación desde exterior.



Figura 19. Cubierta ligera rehabilitada desde interior.

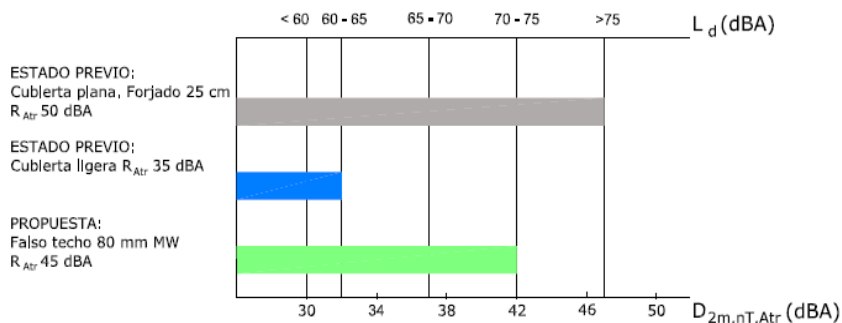


Figura 20. Comparativa de aislamiento acústico en cubiertas.

Cuando las cubiertas no presentan elementos pesados, sino estructuras ligeras metálicas o de madera, soluciones con peso inferior a 125 kg/m², propias de las edificaciones antiguas en casco histórico el índice de reducción acústica disminuye ligeramente $R_{Atr} = 35$ dBA con falso techo, o $R_{Atr} = 30$ dBA sin falso techo, pero se mantiene en valores apropiados a las exigencias acústicas(figura 19).

En estas cubiertas ligeras, independientemente de la posición del aislamiento térmico, rehabilitando por el exterior o interior, la mejora acústica se consigue mediante la construcción de un falso techo autoportante con 50 – 80 mm de absorbente acústico como aislante térmico y acústico que incorpora una importante mejora del índice de reducción acústica con valores superiores a 8 dBA y que pueden alcanzar valores de 13/15 dBA.

5. Conclusiones.

El parque residencial existente tiene un gran potencial de mejora de las condiciones acústicas frente al ruido exterior, que junto a la demanda de aumento de confort interior, por parte de los usuarios, hace necesario intervenir sobre lo existente, convirtiéndose en las vías más sostenibles económica, social y ambientalmente.

Las intervenciones bajo la directiva o tutela de la administración pública, muchas veces asociadas a un enfoque energético, se materializan como magníficas oportunidades para aumentar los niveles de confort acústico y habitabilidad de los edificios residenciales llegando a alcanzar niveles de prestación similares a los recogidos en el DB HR, sin que tenga una importante repercusión económica, siendo además una oportunidad de renovación física del parque residencial.

Una adecuada cultura de rehabilitación debe sustentarse en la consideración de la rehabilitación no como un mero gasto de mantenimiento o conservación sino como una inversión social y económica. Al ser los edificios propiedad municipal en régimen de alquiler, la inversión efectuada aumenta el valor de la vivienda y disminuye los futuros costes de mantenimiento, favoreciendo además la valoración del inmueble por parte del inquilino.

¹ Real Decreto Ley 13/2009 de 26 de octubre Fondo Estatal para el Empleo y la Sostenibilidad Local.

² Guia de aplicación del DB-HR

³ http://www.codigotecnico.org/web/recursos/aplicaciones/contenido/texto_0011.html

⁴ Mediante procedimiento de medida descrito en la norma UNE 13829:2002 Thermal performance of buildings. Determination of air permeability of buildings.Fan pressurization method

5.2 Rehabilitación acústica: mejora continua

Xavier Ventura i Mensa.
Grupo Restaura.
xventura@restaura.com

1. PRÓLOGO

En primer lugar, es importante ver las características principales de la rehabilitación desde un punto de vista más amplio, de conjunto.

Así, podemos decir que:

1.1.- La Rehabilitación es Compleja

Campo de actividad prácticamente infinito. Es importante desde la rehabilitación parcial de los edificios, como por ejemplo la restauración de una fachada, hasta la rehabilitación integral de los mismos, pasando por una buena actuación en la rehabilitación de las viviendas existentes o la introducción de un ascensor.

Des de fuera, podría parecer que sólo la rehabilitación integral de un edificio necesita grandes decisiones. En cambio, es quizá la casuística más evidente: normativamente está muy clara, se asimila en todo a una obra nueva, y las limitaciones en las actuaciones se reducen a encajar nuestra actuación con el edificio existente.

En el otro extremo, nos encontramos con el mantenimiento y reparación ocasional. Es aquello de sólo actuar cuándo algo ya se ha caído o cuando está a punto de hacerlo, casi siempre a modo de remiendo. Este tipo de actuaciones es evidente que no aportan demasiado valor añadido...

La rehabilitación en edificios con un cierto grado de ocupación, que pretende ir más allá de la simple actuación de mantenimiento, plantea multitud de situaciones que necesitan de un

estudio individualizado, muchísimas pequeñas grandes decisiones y, sobretodo, criterio y profesionalidad.

Por ejemplo, desde el punto de vista normativo no se ha trabajado en un análisis de la situación en profundidad. La complejidad de la rehabilitación se ha reducido a una simplificación extraordinaria: o bien se asimila a una obra nueva, o bien hablamos de operaciones de pequeña rehabilitación.

Por ejemplo, desde el punto de vista de la contratación de servicios técnicos e industriales se producen situaciones muy similares. Nos encontramos con profesionales que dominan perfectamente las herramientas para la obra nueva, y buenos profesionales del mantenimiento de los edificios. Ahora bien, cada vez que Restaura ha debido iniciar la actividad en una nueva ciudad, cuesta muchísimo encontrar los colaboradores con las que tirar adelante los procesos rehabilitadores.

La complejidad de la actividad rehabilitadora es tan grande que abordarla como debe ser requiere un esfuerzo, unos criterios y una profesionalidad difíciles de conseguir.

Cómo tirar adelante la instalación de un ascensor si su paso implica 'robar' espacio a toda una vertical de viviendas, muchas de ellas ocupadas?

Cuando se rehabilita un balcón de piedra de un edificio antiguo y de cierto valor arquitectónico, modificamos su solución constructiva o bien la respetamos? Y si en lugar de un balcón es el remate superior del antepecho de la cubierta y no dispone de vierteaguas, provocando regueros en la fachada? Y si...



Rehabilitamos los elementos comunes de un edificio más tres de sus viviendas.Cuál es la mejor solución para reubicar las zonas húmedas de las 'nuevas' viviendas? Qué condiciones mínimas de habitabilidad serían lógicas para este tipo de actuaciones? Si fueran más de tres viviendas ya deberíamos hablar de rehabilitación integral y asimilarlo todo a obra nueva...? NO olvidemos que se trata de un edificio ocupado!



Cómo podemos hacerlo cuando podemos rehabilitar todo un edificio pero no puedo acceder a los locales comerciales? Cómo trabar dicha operación con la gestión de las ventas de esos locales comerciales? O quizá son de otro propietario y hace falta llegar a un acuerdo más que difícil, pactando plazos, zonificando...?

Cuando instalamos un ascensor en una finca que no dispone de él, muchas veces hace falta modificar la escalera en la planta baja si queremos eliminar totalmente las barreras arquitectónicas. Además de poderlo instalar haciendo que las medidas de escalera y rellanos sean correctas, qué es prioritario cuando nos encontramos con arcos, columnas, y en general, vestíbulos, interesantes arquitectónicamente? O bien sólo nos tenemos que fijar en el trazado de la escalera y que los espacios enfrente del ascensor sean 'reglamentarios'?



Otro aspecto de la Rehabilitación y su complejidad es que muchas veces requiere de una importante integración de distintos procesos: los aspectos jurídicos, técnicos y económicos van íntimamente relacionados, con los aspectos fiscales sobrevolándolo todo. Y todo ello, de nuevo, es válido desde las actuaciones de menor coste a las de mayor coste económico, la cual cosa acentúa su particularidad.

1.2.- La Rehabilitación es Necesaria

Hace ya tiempo que escuchamos en la amplia mayoría de foros que la Rehabilitación es necesaria y que es una actividad con mucho futuro.



Por nuestra parte lo creemos evidente. Miremos algunos de los aspectos más básicos, y por ello más relevantes:

- Revitalización de los centros urbanos
- Puesta en valor del patrimonio edificatorio común
- No consumo del territorio
- Menor generación de residuos
- Mejora de las condiciones de vida de la mayor parte de las personas: parque existente gigantesco

1.3.- La Rehabilitación es Gratificante:

La actuación rehabilitadora es muy directa, puesto que trata de tú a tú con las condiciones de vida de las personas.

La actuación rehabilitadora es muy rápida, no precisa de desarrollo de suelo, no precisa (normalmente) de fases de derribo total y posterior cimentación, estructura... Por ello, los plazos son más cortos y las diferencias entre lo que nos encontramos y la finalización de la obra permiten ver claramente el cambio producido.

- Estado Actual / Estado Reformado: una vez se finaliza el proceso y se mira atrás, es una de las actividades que más 'valor añadido' aportan. Mejora sustancial en la amplia mayoría de casos.
- Mejora de las condiciones de habitabilidad, entendida ésta en un amplio sentido de la palabra.

Gran Via Corts Catalanes 582, Barcelona - Restaure recupera el estado original de la casa Jeroni Granell

1907

~1970

2004



Por todo ello, la actuación rehabilitadora es **APASIONANTE**.

2. REHABILITACIÓN Y ACÚSTICA

La reglamentación acústica, como bien sabemos, no es nueva. Sí es cierto que el tiempo transcurrido entre la reglamentación existente, DB-HR, y la anterior, NBE-CA-88, nos da una idea de la complejidad del campo a la hora de abordarlo.

La reglamentación técnica en el campo de la rehabilitación ofrece una visión simplista de la situación: o bien estamos hablando de rehabilitación integral, o bien estamos trabajando en mantenimiento y pequeña reparación. Si volvemos al factor tiempo, está claro que debe ser un campo muy complejo puesto que a día de hoy aún no se ha hecho normativa específica al respecto.

La reglamentación urbanística en el campo de la rehabilitación depende, como bien sabemos, de los planes generales de las localidades en las que trabajemos. Hay muchos planes generales con grados de trabajo bien definidos, si bien su posterior aplicación a la licencia de obra no siempre es tan clara.

Probablemente, el único campo normativo que sí ha incidido en la rehabilitación es el de la accesibilidad: escaleras, vestíbulos, rampas, ascensores... Y seguramente lo ha hecho porque era imprescindible, porque las personas tenemos que poder llegar a casa, al trabajo, etcétera. Y los lugares en los que mejor ha funcionado esta normativa son aquéllos en los que se ha querido hacer partiendo de las casuísticas reales para estudiarlas y ver cuáles son los mejores métodos para afrontarlas. Y no al revés. Si partimos de premisas teóricas y las queremos

aplicar siempre de la misma manera, siempre con las mismas medidas, la casuística nos superará.

Es por ello, que creemos esencial poner el conocimiento teórico y la tecnología al servicio de los edificios para aportar, para mejorarlos. El diseño de las soluciones constructivas, el conocimiento de las características de los materiales y, crucial, la correcta ejecución de todo ello, serán las herramientas para obtener el éxito, mejorar el patrimonio urbano de nuestras ciudades y adecuar los edificios a los estándares de calidad actuales así como a las nuevas formas de vivir y trabajar.

3. LA ACTUACIÓN REHABILITADORA: MEJORA CONTINUA

A través de la rehabilitación, podemos conseguir el doble objetivo anteriormente mencionado, mejorar el patrimonio urbano de nuestras ciudades y adecuar los edificios a los estándares de calidad actuales así como a las nuevas formas de vivir y trabajar.

La conciencia acústica existente en la sociedad actual es mucho mayor que en el pasado. Por ejemplo, el Ayuntamiento de Barcelona asegura que las reclamaciones acústicas son la tipología principal de denuncia que recibe, y con mucha diferencia.

Así pues, debemos aprovechar que el estándar de confort acústico ha aumentado de forma considerable e integrarlo en el proceso constructivo.

Las viviendas son 'seres vivos'. De la misma forma los edificios también lo son. Si algo nos ha enseñado el tiempo que llevamos dedicándonos a la rehabilitación es precisamente eso: los edificios y las viviendas, cambian. Y cambian mucho, constantemente.

La mayor parte de edificios en los que hemos actuado tienen multitud de soluciones y variantes, sobrepuestas al edificio original. No siempre, ni mucho menos, aportando mejoras al mismo.

Es este último punto el que creemos que puede llevarnos al doble objetivo que nos hemos propuesto: si todas las actuaciones que hacemos, aportan, mejoran, dotan de mayores prestaciones (del tipo que sea) al edificio, avanzaremos de forma continua, sostenible y rigurosa.

Hablamos de un modelo aspiracional, de fomentar la mejora, de perseguirla.

Toda mejora es importante.

Para que con una única actuación podamos llevar los edificios a las máximas prestaciones posibles, tenemos que llevar a cabo una rehabilitación integral. En cambio, si cada actuación de rehabilitación sube al menos un nivel en las prestaciones, podemos aspirar a la mejora continua.

El proceso de la rehabilitación integral requiere esfuerzos de inversión y condiciones de partida de los edificios que difícilmente se producen fuera del ámbito de la promoción inmobiliaria. Además, dichas actuaciones sabemos cómo acometerlas y qué normativa cumplir.

El proceso de la rehabilitación parcial afecta a la inmensa mayoría de nuestro parque inmobiliario, lo pueden realizar prácticamente todos los agentes del sector, no necesita de inversiones imposibles y sobre todo, se produce de forma constante, con mayor o menor

intensidad, evidentemente. El único pero es la inexistencia de normativa técnica al respecto que da pie a indefiniciones.

Eso sí, para que aporten y mejoren los edificios y las viviendas que tenemos debemos tener en cuenta una serie de actuaciones aunque la normativa vigente no nos obligue a realizarlas.

A continuación relacionamos casuísticas habituales que nos encontraremos:

- Los sistemas constructivos tradicionales basados en muros de carga, provocan que la mayoría de medianeras entre fincas tengan un grosor que por si sólo puede funcionar medianamente bien a nivel acústico.

Cuando hablamos de fachadas exteriores, fachadas a patios interiores y divisorias entre viviendas - caja de escalera normalmente seguimos hablando de muros de carga, de menor espesor normalmente. Si bien su rendimiento es menor, en una mayoría casos estamos hablando de una funcionalidad a mejorar pero aceptable.

La estructura de muros de carga va formando 'cajas', de manera que muchas veces quedan las divisorias entre viviendas a merced de tabiques de una única hoja, de espesores mínimos, con un aislamiento acústico pésimo. **En este tipo de casos es imprescindible el trasdosado del tabique, incorporando alguna de las soluciones de aislamiento acústico existentes.** Es cierto que invertiremos ~6 cm en grosor de pared y que ello puede penalizar el espacio disponible, pero será una de las mejores inversiones que hagamos. El coste? Entendemos que más que razonable. Además, en la mayoría de ocasiones, ese nuevo trasdosado albergará nuevas instalaciones, que en caso de no hacer el trasdosado aumentará la dramática situación del tabique original.

Mejora continua: el edificio original, dispone de un tabique de ladrillo de 4-6 cm de grosor. Si una de las dos viviendas que ese tabique separa lo trasdosa, tenemos una capa de cartón yeso + 4-5 cm de aislante + 4-6 cm de ladrillo: esto ya es otra cosa, no es magnífico pero ya es otra cosa. Si la otra vivienda al cabo de algún año hace lo propio podemos tener: una capa de cartón yeso + 4-5 cm de aislante + 4-6 cm de ladrillo + 4-5 cm de aislante + doble capa de cartón yeso. Esta solución ya la quisieran para sí muchos edificios realizados en años no muy lejanos...

- Los forjados de nuestros edificios de más de 40 años, serán la mayoría hechos con vigas de madera o metálicas con los entrevigados de rellenos y/o arenas, con algún tipo de cerámica a modo de bovedilla en su parte inferior. En función de la región y del momento de construcción nos encontraremos múltiples variantes. Todas ellas con poca inercia y con mucha transmisión del ruido de impacto.

Introducir falso techo se antoja una aportación muy relevante. Y si le añadimos aislante acústico, aún más. Dotar a la vivienda de falso techo conlleva un coste, como todos

sabemos, pero de nuevo se trata de una inversión que conllevará un aumento de las prestaciones notable.

Si dotamos a la vivienda de un nuevo pavimento, que seguramente lo haremos por motivos estéticos por ejemplo, introducir una lámina aislante al impacto es un coste muy bajo que de nuevo aportará al edificio. Y digo al edificio, no a la vivienda, puesto que es probable que al usuario que realiza la rehabilitación no le revierta en exceso en mejora a sí mismo, sino que se trata de una operación en pro de la mejora del edificio, y de que sus hijos puedan jugar en el suelo con más tranquilidad y menos probabilidades de que suba el vecino de abajo...

Mejora continua: si un promotor decide acometer la rehabilitación de una vertical completa de las plantas primeras de un edificio y dota a las viviendas de falso techo y/o de nuevo pavimento con aislamiento, la mejora es evidente. Su coste es relativamente bajo, sus clientes estarán encantados y es probable que las otras viviendas del edificio lleguen a observar la mejora producida por ese tipo de actuación, aplicándolas ellas mismas en un futuro.

Mejora continua: si es la persona que rehabilita la vivienda y realiza únicamente el falso techo puesto que no cambia el pavimento, dicha persona obtendrá una mejora importante en cuanto al ruido que percibirá. Si dentro de un tiempo, el vecino superior realiza mejoras e introduce un nuevo pavimento con aislamiento acústico, la solución constructiva final sería aproximadamente: parquet de madera + lámina acústica anti impacto + forjado tradicional + falso techo. Hemos pasado de tener una transmisión muy importante del ruido a través del forjado original a una solución constructiva que garantiza un correcto aislamiento entre las viviendas en cuestión.

Puede darse el caso de no disponer de la altura libre necesaria para realizar según qué actuaciones. En este tipo de casos deberemos priorizar y, sobre todo, ver si las condiciones de partida que nos encontramos se pueden mejorar: si eliminamos los pavimentos sobrepuestos, en muchos casos ya hemos ganado más centímetros de los que necesitamos para introducir el nuevo pavimento más la lámina acústica. Además, habremos descargado al edificio, lo cual será una nueva mejora para el mismo.

También nos podemos encontrar que estamos trabajando en un edificio noble que dispone de falsos techos y/o pavimentos de un importante valor arquitectónico. Si sólo uno de los dos elementos es interesante, nos obligará a actuar de forma especial en el otro. Si lo fueran los dos, la única opción que nos queda es la de intentar actuar en la cámara de aire del falso techo; ardua tarea.

- La vidriería de los edificios a rehabilitar normalmente será de una única hoja, y de un espesor bastante reducido. Además, puede ocurrirnos que el espacio de que dispongamos para la sustitución por un nuevo vidrio sea de sólo ~1 cm.

Los vidrios de doble hoja con cámara de aire, en estos momentos son parte del estándar de trabajo habitual del sector. Debemos tener en cuenta que aunque no utilicemos grosores más allá de 6+8+6, habremos aumentado de forma importantísima las prestaciones del conjunto de la carpintería.

Normalmente, deberemos contentarnos con espesores menores, 6+6 ó 4+6+4 o soluciones similares que nos permitan estar entre 1 cm y 1,5 cm, de manera que los podamos instalar sin excesivos problemas en las carpinterías que nos encontramos.

Los despieces de los vidrios existentes en numerosas ocasiones, podemos acometerlos con un único vidrio y simulándolo con junquillos, o bien con tantos vidrios como requiera el despiece. Nosotros hemos optado por el vidrio único, con resultados de aislamiento excelente y mimetizando convenientemente la estética del edificio en que se encuentran.

Mejora continua: si cada vez que se produce una rehabilitación instalamos este tipo de vidrios, el nivel de aislamiento irá aumentando considerablemente.

- La carpintería exterior seguiría un proceso similar al de los vidrios. La carpintería de las fachadas principales de los edificios suele estar dañada por los agentes meteorológicos, pero 'nada más'. Su estado suele ser correcto. En cambio en los casos de patios interiores, patinejos, cajas de escalera... aun siendo no tan expuestas a las inclemencias, su estado suele ser mucho peor, puesto que no se ha tenido cuidado de las mismas.

En contra de lo que se pueda pensar, la carpintería exterior de madera ha dado un muy buen resultado al paso de los años, no siendo, ni mucho menos, un material a eliminar. En ocasiones, hemos actuado con un panel de madera nuevo en su parte baja en sustitución del existente, podrido debido al agua, manteniendo el resto de carpintería. En muchas ocasiones hemos sustituido la carpintería de madera por una nueva y otras veces hemos introducido el aluminio.

Mejora continua: en cualquier caso, dotar a la fachada de carpinterías en condiciones es lo importante para su correcto rendimiento acústico. El material a emplear responderá más a la estética del edificio, a la zona geográfica de la intervención y a la homogeneidad de la fachada en cuestión.

- Todas las mejoras que realicemos en forjados y paredes son inversiones de largo recorrido. Es cierto que no son visibles, pero son prioritarias puesto que su aportación se nota. Las inversiones de coste destinadas a las mejoras de las condiciones esenciales del edificio, y el aislamiento lo es, las entendemos prioritarias, puesto que si bien representan un coste añadido, su aportación a las prestaciones del edificio es esencial.

Las operaciones de mejores acabados son más visibles pero se pueden realizar en cualquier momento de la vida del edificio.

Modificar sus características esenciales sólo lo haremos en momentos de actuaciones de rehabilitación: modificación de distribución, implantación de nuevas instalaciones generales, introducción de nuevo pavimento y a poder ser de una base homogénea para

ello además de la lámina acústica, paso de instalaciones por falso techo y falso techo, con aislamiento si es posible...

Tan importante como realizar estos trabajos es eliminar prácticas que van en contra de la buena construcción: NO realizar rozas horizontales, NO dejar las juntas de dilatación correspondientes según los elementos en los que estemos actuando, NO hacer solidarios ciertos elementos constructivos para reducir el número de puentes acústicos...

3.1.- La actuación rehabilitadora: evolución técnica

Un campo en el que nos queda mucho camino por recorrer es el de la obtención de datos técnicos claros que nos permitan saber el grado de mejora producido por el tipo de actuaciones que se ha estado comentando.

En nuestras latitudes no existen demasiados ejemplos de actuaciones de rehabilitación parcial de edificios que hayan podido extraer datos objetivos, mediciones acústicas del trabajo realizado.

Estamos seguros que llevar a cabo el tipo de actuaciones mencionadas nos acercará más de lo que a priori parece a los requerimientos del DB-HR. Y aún más, si persistimos en llevar a cabo dichas actuaciones, entonces conseguiremos prestaciones más que correctas para nuestros edificios.

En esa línea estamos trabajando, puesto que en colaboración con AECOR se están realizando ensayos para determinar las mejoras producidas, para SABER QUÉ PASA con los edificios cuándo actuamos sobre ellos. De esta manera sabremos dónde estamos y esperamos romper tabúes respecto de los requisitos necesarios para obtener según qué resultados.

De hecho, la experiencia de los clientes que han comprado sus viviendas rehabilitadas a Restaura nos permite ser optimistas, puesto que se aprecia el trabajo realizado en este sentido.

3.2.- La actuación rehabilitadora: agentes

Las rehabilitaciones las encargarán básicamente tres tipologías de clientes, promotores, comunidades de propietarios y propietarios/inquilinos de viviendas.

Las personas que rehabiliten sus viviendas darán un impulso importantísimo si optan por trasdosar tabiquería, realizar nueva tabiquería, introducir falsos techos... en las actuaciones que vayan a acometer.

Las viviendas se renuevan con cierta frecuencia, por lo que generalizar el tipo de actuaciones propuestas en este radio de acción es importantísimo para conseguir el doble objetivo marcado.

Las comunidades de propietarios son el siguiente estadio, y las que mejor pueden acometer la mejora del aislamiento en elementos como fachadas y cubiertas.

Este agente es bastante reacio a realizar operaciones más allá de la reparación y el mantenimiento mínimo. Se trata de una cuestión probablemente más cultural que otra cosa. Lograr avances en lo que aquí se propone mediante actuaciones por parte de CC.PP. es a día de hoy difícil, puesto que es una de las 'instituciones' de la vida de los ciudadanos que más recorte de inversión está sufriendo.

Por el contrario, cada vez más la propiedad de los edificios es horizontal, por lo que la importancia de las CC.PP. lejos de disminuir tenderá a aumentar. Ello entendemos que deberá derivar en una profesionalización de los administradores de las mismas y en unos calendarios de mantenimiento y mejora más exhaustivos y reales a la vez.

El campo de los promotores se encuentra en un momento más que complicado, como todos sabemos. Es el campo de actuación más amplio y que puede conseguir mejoras más importantes puesto que las operaciones de rehabilitación pueden afectar de forma general a bastantes elementos del edificio.

Rehabilitar los elementos comunes de los edificios –fachadas, cubierta, caja de escalera, patios, renovación de instalaciones, introducción de ascensor...- es una tarea muy interesante y que puede aportar muchísimo en la mejora de nuestros edificios.

Si a ello le sumamos que en esos mismos edificios se rehabiliten también las viviendas que estén libres, vacías, las posibilidades en el campo de la acústica en concreto y del edificio en general se multiplican, pudiéndose conseguir objetivos muchísimo más ambiciosos.

Para ello, a parte de una coyuntura más favorable que la actual, sería importante disponer de una normativa sectorial aspiracionista, destinada a la consecución de mayor grado de prestaciones en cada actuación rehabilitadora.

La implicación de arquitectos y aparejadores en la consecución de las mejoras acústicas y de toda índole es absolutamente imprescindible.

Personalmente, como arquitecto, creo que aunque no haya obligatoriedad normativa es mi deber procurar mejorar, aportar, dotar al edificio de mayores prestaciones en todos los campos posibles, y el de la acústica cada vez es más importante, como ya he comentado anteriormente.

Finalmente, los industriales que ejecutan las obras son los que deben llevar a la realidad lo que se ha venido diciendo en este seminario y en todos los proyectos que se realicen, por lo que su aportación es clave.

Deben ser conscientes de la gran diferencia que hay entre el trabajo bien hecho y el que no lo está. En el campo de la acústica, provocar puentes acústicos es sumamente fácil; evitarlos no es difícil. Se trata de una cuestión de formación y de llevar a cabo las soluciones constructivas como tienen que ser, siguiendo las fichas técnicas de los materiales, utilizando los medios correctos y siempre siguiendo el proyecto y las decisiones de la DF.

Evidentemente, la DF debe conocer cómo llevar a cabo las soluciones constructivas de forma correcta y que sean las mejores posibles para cada caso.

Proyecto de Rehabilitación Acústica de la Antigua Real Fábrica de Tabacos de Sevilla

T. Zamarreño; J.J. Sendra; M. Galindo; A.L. León; C. Ramírez-Balas; A. Alonso.
Instituto Universitario de Arquitectura y Ciencias de la Construcción, E. T. S. de Arquitectura,
Universidad de Sevilla, Av. Reina Mercedes, 2, 41012 – Sevilla.
teofilo@us.es

1. INTRODUCCIÓN

La Antigua Real Fábrica de Tabacos, actual sede central de la Universidad de Sevilla, es una de las construcciones industriales más importantes de las edificadas en Europa en el siglo XVIII. Ocupa una superficie en planta de $185 \times 147 \text{ m}^2$ (Figura 1) y consta de dos plantas con amplias terrazas, que debieron servir para el secado del tabaco, y ocho lucernarios barrocos en su cubierta que permiten el paso de la luz a las galerías de la planta principal. Su proyecto original se debe a un ingeniero militar, Ignacio Sala, aunque el principal director de sus obras fue otro ingeniero militar, Sebastian van der Borch, a quien se debe el núcleo fundamental del edificio y sus partes más representativas: la crujía de la fachada principal, los patios, las galerías y gran parte del foso; la doble escalera monumental debió ser trazada también por van der Borch [1],[2],[3]. Es en esta fábrica de tabacos donde trabajaba la cigarrera Carmen, universalmente conocida gracias a la novela homónima de Prosper Mérimée y a la ópera de Georges Bizet, cuyo libreto se inspira en la novela (Figura 2).

La decisión de trasladar la sede de la Universidad de Sevilla a la Antigua Real Fábrica de Tabacos se produjo años después de la Guerra Civil, decisión adoptada mediante Decreto de la Presidencia del Gobierno. La adaptación del edificio a la nueva sede fue realizada por los arquitectos Delgado Roig, Balbontín Orta y Toro Buiza. La Facultad de Derecho fue inaugurada



Figura 1. Vista panorámica de la Antigua Real Fábrica de Tabacos de Sevilla.

por el entonces ministro Joaquín Ruiz-Giménez en 1954, siendo Rector Carlos García Oviedo. Un año después el cardenal Bueno Monreal bendijo la nueva Facultad de Ciencias, siendo Rector Juan Manzano y Manzano, y en 1956 se instalaba provisionalmente la Facultad de Filosofía y Letras, siendo Rector José Hernández Díaz.



Figura 2. Las cigarreras en la Fábrica de Tabacos, vistas por Constantin Meunier en 1883.

Actualmente se está acometiendo un Plan Director para el edificio, tras el traslado de la Facultad de Derecho a una nueva sede, con el fin de recuperar y poner en valor el carácter patrimonial del edificio, manteniendo los usos administrativo y docente. Uno de los objetivos de este plan es mejorar la funcionalidad de las diferentes estancias, lo que incluye el aspecto acústico. De ahí el encargo hecho por la Universidad de Sevilla a nuestro grupo de investigación para hacer propuestas de acondicionamiento acústico *respetuosas con el carácter patrimonial* del edificio. El objetivo de esta ponencia es presentar la metodología desarrollada y resultados previos que han servido de base para la toma de decisiones, desde un punto de vista acústico, en la elaboración del citado Plan Director. Cuando finalice dicho plan tendremos ocasión de comprobar hasta qué punto se han alcanzado los objetivos del proyecto de rehabilitación acústica del edificio.

2. METODOLOGÍA

Para la realización del estudio acústico, dado el tamaño del edificio, la multiplicidad de recintos de diferente geometría y la diversidad de usos posibles de éstos, se definieron una serie de unidades espaciales (UE) tipo como muestra representativa de todas las existentes en el estado previo, y que sirvieran de base para configurar las nuevas unidades de uso tras la rehabilitación del edificio. Este proceso se realizó en estrecha coordinación y siguiendo las directrices de los técnicos responsables del Plan Director.

Finalmente ese estudio se limitó a seis unidades espaciales, cuyos volúmenes y codificación aparecen en la figura 3, adaptadas a los usos que a continuación se detallan:

- UE1: Modelo “bóveda de cañón” (Figura 3.a). Nuevo uso: administrativo (despachos, sala de reuniones y archivo).
- UE2: Zona de cafetería actual (Figura 3.b). Nuevo uso: nueva cafetería y dos comedores.
- UE3: Modelo “bóveda vaída tipo” (Figura 3.c). Nuevo uso: administrativo (despachos) y docente (aulas).

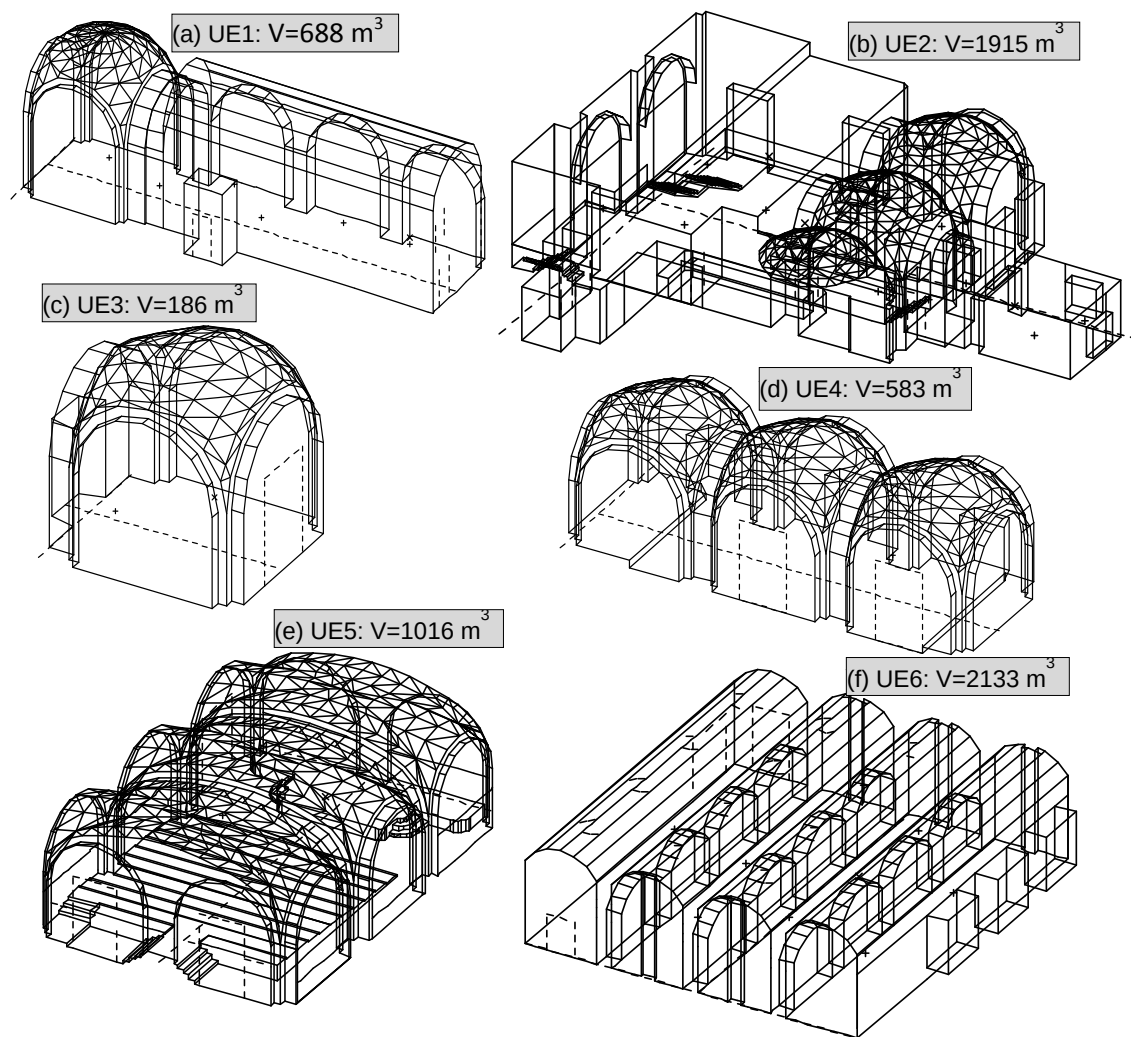


Figura 3. Modelos 3D de las unidades espaciales tipo seleccionadas para implementar el estudio con indicación de sus volúmenes. No están a la misma escala

- UE4: Modelo “tren de bóvedas vaídas” (Figura 3.d). Nuevo uso: docente (aulas, en un caso con dos bóvedas y en otro con tres) o administrativo (despachos).
- UE5: Modelo “bóveda de arista años 50” (Figura 3.e). Nuevo uso: administrativo (dos disposiciones diferentes para despachos, área de trabajo y circulaciones) o docente (con dos aulas, una mayor abarcando dos módulos y otra menor con uno, en un caso con dos bóvedas y en otro con tres).
- UE6: Modelo “tren de bóvedas de cañón” (Figura 3.f). Nuevo uso: administrativo (despachos y áreas de trabajo).

Las paredes de esas unidades espaciales son normalmente gruesas, masivas y están enlucidas; por tanto, son claramente reflectantes. Los suelos son de mármol. Las bóvedas, de diversos tipos según las distintas unidades espaciales, también están enlucidas y son asimismo reflectantes. Las puertas son generalmente de madera, de gran formato, de una o dos hojas y pesadas. Cuando hay cerramientos acristalados, como por ejemplo en la UE5, suelen ser ligeros y grandes, con vidrios montados sobre perfilaría metálica.

A partir de estas unidades básicas, se han elaborado hasta trece modelos diferentes de nuevas unidades de uso, y, para cada una de ellas, se han simulado al menos dos hipótesis diferentes de terminaciones. Ello implica la evaluación de casi una treintena de modelos acústicos para controlar el acondicionamiento acústico en el marco del Plan Director citado.

2.1. Medidas experimentales

Una de las ventajas que se tiene, en general, en los procesos de rehabilitación es la disponibilidad de los espacios para poder realizar medidas en el estado actual. Ello facilitará cuantificar la magnitud del problema para alcanzar los objetivos pretendidos. Para realizar las medidas, se ha optado por seguir el procedimiento normalizado recogido en la norma ISO 3382-1 [4], llevándolas a cabo en cinco de las seis unidades espaciales objeto de estudio (no se midió en la UE2, por haberse iniciado ya las obras de reforma). Los espacios estaban desocupados (tan sólo estaba presente el equipo técnico, compuesto por 2 personas) y, en general, sin mobiliario significativo, pues había sido retirado previamente.

En cada una de las unidades se han utilizado dos posiciones de fuente, colocándola en cada caso a 1,60 m sobre el nivel del suelo. Para cada posición de la fuente se han utilizado entre 3 (para el módulo más pequeño) y 7 (para los mayores) posiciones de micrófono, situándolo a 1,20 m sobre el suelo.

Las condiciones ambientales se monitorizaron durante el periodo de medida (una mañana), tomando al menos dos registros en cada uno de los espacios, uno al principio y otro al final de la medida. La temperatura se mantuvo en el intervalo 25-28 °C y la humedad relativa varió entre el 45% y el 58% durante todo el proceso de toma de datos.

También se midió el espectro del ruido de fondo en el interior, promediando durante 5 minutos, con el analizador SVAN 958. En la Figura 4 se muestran, superpuestos sobre las curvas NCB [5], los espectros máximo y mínimo registrados. El mínimo corresponde a la UE1, la más protegida; todas las demás unidades presentan un comportamiento más parecido al máximo, de modo que, salvo para la citada UE1, que se puede valorar como NCB-30, el ruido de fondo en las demás se valora como NCB-45. Se ha de remarcar que, como ya hemos

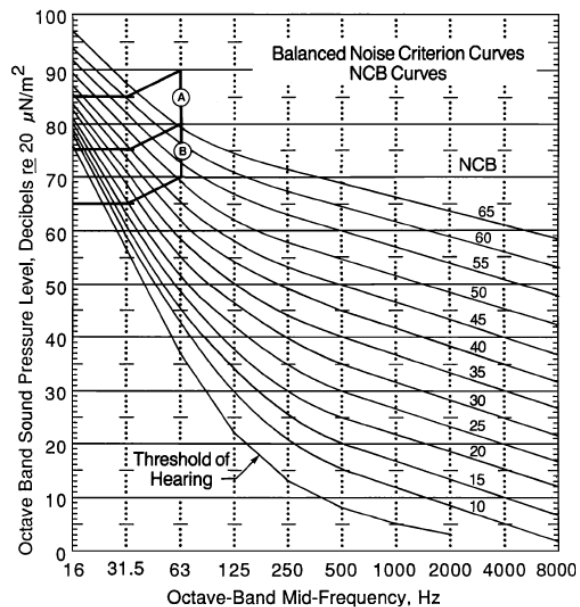


Figura 4. Espectros medidos del ruido de fondo (máximo y mínimo) valorados sobre las curvas NCB.

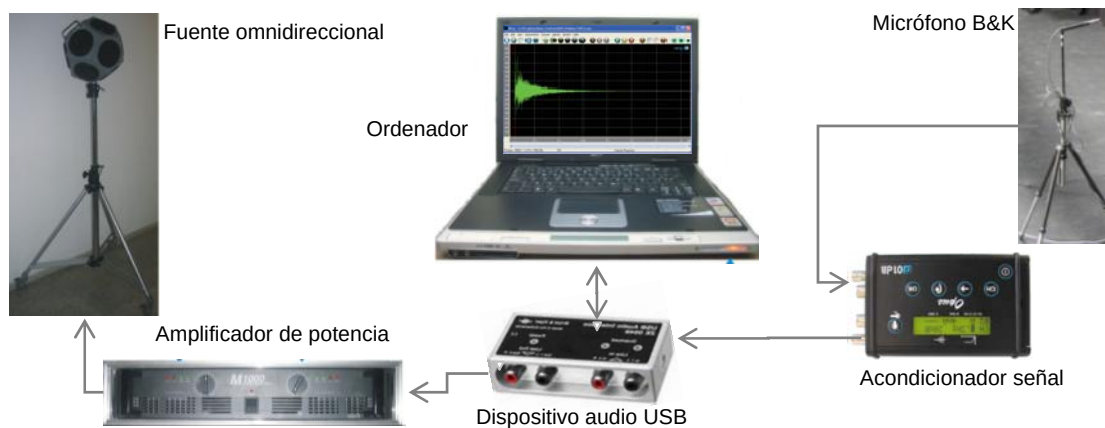


Figura 5. Esquema del sistema de medida.

indicado, habían comenzado las obras de reforma en la UE2 y el ruido generado en ésta es la causa principal de los altos niveles medidos en el resto de recintos. Durante el uso normal es de esperar que el espectro se acerque más a la valoración NCB-30 tras la rehabilitación, si se cuidan las posibles fuentes internas.

Los valores de los parámetros acústicos se han derivado de las respuestas al impulso (RI) registradas en cada uno de los recintos. Éstas se han obtenido excitando el espacio con señales sinusoidales de barrido exponencial en frecuencia. Tanto el rango de frecuencia, como la duración de cada barrido, se ajustaron para adaptarse a las condiciones del entorno a fin de tener RI de calidad adecuada. En concreto la relación señal/ruido para las bandas de octava comprendidas entre 125 y 4000 Hz ha sido superior a 45 dB.

Todo el proceso de generación de la señal, registro de la respuesta y análisis de la misma, se ha realizado mediante el sistema DIRAC 4.1 [6] instalado en un ordenador portátil. La entrada-salida de la señal al ordenador se ha hecho a través del dispositivo de sonido USB ZE-0948 de Brüel&Kjaer. La señal generada alimentaba el amplificador INTER-M 1000, para ser reproducida por una fuente omnidireccional DO12. La respuesta al impulso en cada posición de recepción era captada por el micrófono omnidireccional B&K 4165, con el preamplificador B&K 2669, conectado mediante el acondicionador de señal OPUS de 01dB a la entrada del dispositivo USB ZE-0948. En la Figura 5 se muestra el esquema del equipo de medida.

2.2. Modelos 3D y proceso de calibración

Se ha elaborado un modelo 3D de cada una de las unidades medidas y se ha simulado el campo acústico en el interior de las mismas mediante el software CattAcoustic v-8.0k [7]. Los resultados simulados se comparan con los medidos con el fin de confirmar que, tras el proceso de calibración de los modelos a partir del tiempo de reverberación [8], los valores obtenidos para el resto de los parámetros son simulados con suficiente precisión. Esto nos permi-

tirá calificar el comportamiento acústico del recinto con suficiente grado de aproximación, a partir de las simulaciones realizadas, para frecuencias $f > 4f_s$, donde f_s es la denominada frecuencia de Schröder, que depende del volumen del recinto (V) y del tiempo de reverberación del mismo (T), que se puede calcular mediante la expresión:

$$f_s = \sqrt{\frac{c^3 T}{8,8V}} \approx 2000 \sqrt{\frac{T}{V}}$$

El proceso de calibración mencionado implica ajustar los coeficientes de absorción y dispersión para los materiales cuyos datos son más inciertos, de manera que los valores del tiempo de reverberación simulados coincidan con los que se midieron in situ, promediados espacialmente. El software utilizado dispone de un algoritmo interactivo que facilita este proceso sin necesidad de realizar una simulación completa. El modelo calibrado se da por aceptable cuando los valores simulados difieren menos de 1 JND (Just Noticeable Difference, 5% en el caso de T) respecto de los medidos, para cada una de las bandas de octava de interés. Esas diferencias se mantuvieron, en general, inferiores al 3%.

Tras comprobar la validez de los modelos 3D elaborados para las unidades espaciales medidas, se han implementado los modelos 3D de las nuevas unidades espaciales previstas en el proceso de rehabilitación contemplado en el Plan Director: en unos casos se trata de las mismas unidades con varias propuestas de ocupación espacial, en otros de nuevas unidades obtenidas por agregación o fragmentación de las preexistentes. En todos ellos se han contemplado, para cada unidad, esencialmente dos propuestas de acondicionamiento acústico: una en la que se tratan sólo los cerramientos verticales y otra en la que, además, se añade un tratamiento específico para las bóvedas. En total se han evaluado unos 30 modelos diferentes. En cualquier caso, dado el carácter patrimonial del edificio, la intervención, y por tanto las soluciones de acondicionamiento propuestas, deben de ser compatibles con ese carácter, por lo que las decisiones se han tomado de acuerdo con las sugerencias de los arquitectos responsables del Plan de Director.

La elaboración de modelos 3D de las nuevas unidades espaciales permite predecir los valores de sus parámetros acústicos después de la rehabilitación, y comparar las diferentes hipótesis que se han barajado para cada una de esas unidades, con el fin de facilitar la toma de decisiones en la selección de los tratamientos más adecuados, en función del uso al que se van a destinar y de su coste.

3. RESULTADOS

En esta sección se aplica la metodología descrita a una unidad espacial significativa contemplada en la intervención, la denominada UE5, para obtener tanto los datos experimentales como los simulados, en el estado inicial y en las propuestas de intervención analizadas. En la



Figura 6. Vistas interiores de la UE5: hacia el estrado y el fondo, arriba; y hacia los laterales, abajo.

Figura 6 se muestran diversas vistas interiores de la misma que nos ayudan a configurar una imagen del espacio y en la Figura 7 aparece un esquema de la planta con indicación de las posiciones de la fuente (S1 y S2) y de los receptores (R), utilizadas tanto en las medidas *in situ* como en la simulación.

El anterior uso de esta unidad espacial era docente, en concreto, era el aula 9 de la antigua Facultad de Derecho. Su superficie interior total es de unos 754 m² y su volumen es, aproximadamente, 1000 m³. A partir de ella se han recreado y simulado tres unidades diferentes con usos distintos que se presentan más adelante.

3.1. Medidas experimentales en estado previo

Uno de los indicadores de la calidad de los registros de las respuestas al impulso es la relación señal/ruido impulsiva. En la Figura 8 se ha representado el valor medio espectral y la dispersión (valorada por la desviación estándar) de esta relación para los registros realizados en la UE5. Podemos observar que, para todas las bandas de octava de interés, tiene un valor superior a los 45 dB, lo que permite una evaluación fiable del T_{30} .

En la Figura 9 se muestra una respuesta al impulso típica registrada en el recinto, la correspondiente a

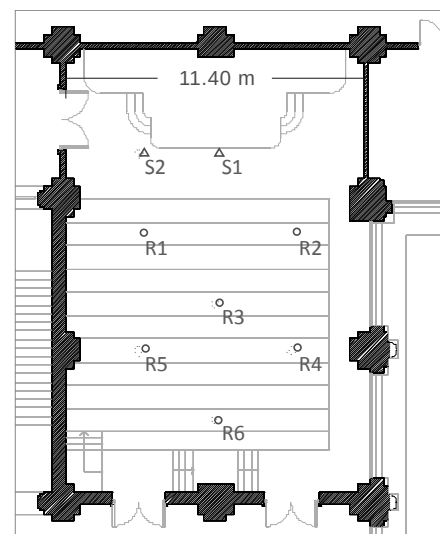


Figura 7. Planta de la UE5, con indicación de las posiciones de la fuente y de los receptores.

la posición de la fuente S2 y del receptor R3, y la curva de caída, o integral de Schröder, asociada, filtrada para la banda de octava de 1 kHz.

La Tabla 1 muestra los valores promedio de T_{30} utilizados en el proceso de calibración del modelo, así como la diferencia relativa porcentual entre éstos y los simulados con el modelo calibrado. Podemos observar que, para todas las bandas de octava, esta diferencia es menor que el 3%. Así mismo se muestran estos valores

promedio (columna *Med.*) para las dos posiciones de la fuente, y la desviación estándar asociada (columna *SD* adyacente), como medida de la dispersión espacial, del tiempo de caída inicial (*EDT*), de la definición (D_{50}) y del tiempo central (T_s). Se han seleccionado estos parámetros porque se relacionan subjetivamente con el uso docente al que se destinaba el aula. Para una mejor visualización, estos datos se presentan de forma gráfica en la Figura 10.

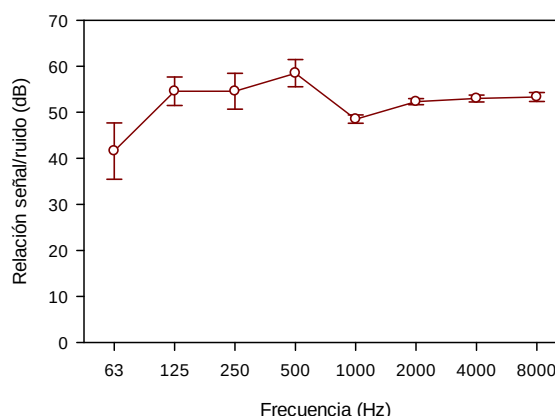


Figura 8. Comportamiento espectral promedio y dispersión espacial (valorada por la desviación estándar) de la relación señal /ruido impulsiva para los registros realizados en la UE5.

Tabla 1. Parámetros acústicos promediados espacialmente, medidos (*Med.*) y simulados (*Sim.*), para cada banda de octava, y las correspondientes desviaciones estándar (*SD*) para describir la dispersión espacial. La columna *Dif.* contiene las diferencias porcentuales relativas entre los valores medidos y simulados de T_{30} .

Frec. (Hz)	T_{30} (s)			EDT (s)				D_{50}				T_s (ms)			
	Med.	Sim.	Dif. (%)	Med.	SD	Sim.	SD	Med.	SD	Sim.	SD	Med.	SD	Sim.	SD
125	4,76	4,72	0,88	4,76	0,52	4,76	0,07	0,18	0,06	0,14	0,03	325,9	42,9	342,8	13,4
250	4,62	4,70	1,64	4,62	0,40	4,73	0,06	0,15	0,05	0,14	0,04	324,3	32,5	338,7	13,9
500	4,65	4,64	0,25	4,65	0,29	4,68	0,05	0,16	0,04	0,14	0,03	323,9	20,1	336,9	12,3
1000	3,52	3,57	1,35	3,52	0,19	3,60	0,06	0,20	0,03	0,19	0,04	248,3	14,9	255,5	14,4
2000	2,54	2,48	2,33	2,54	0,16	2,52	0,07	0,24	0,05	0,25	0,06	185,3	15,9	177,8	13,3
4000	1,86	1,81	2,87	1,86	0,12	1,82	0,04	0,31	0,05	0,33	0,07	134,1	10,0	126,5	11,8

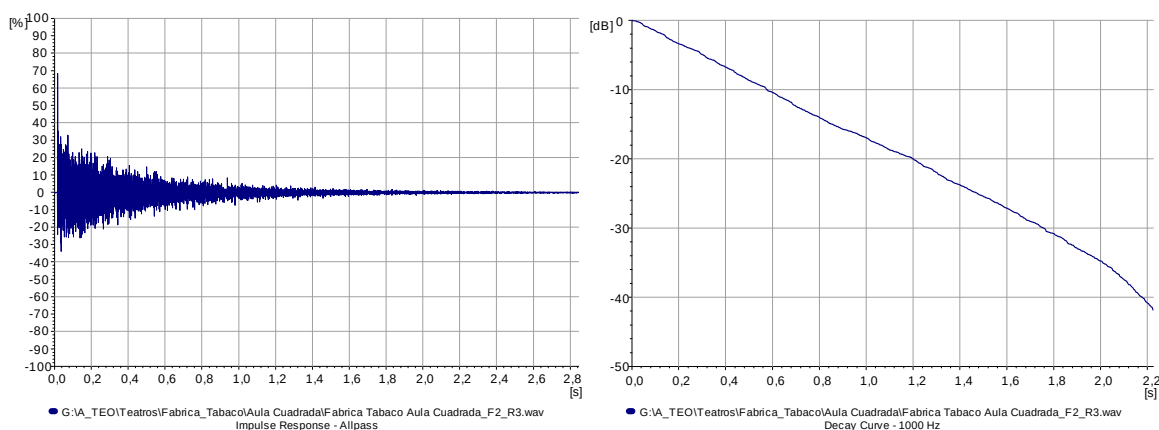


Figura 9. Respuesta al impulso típica y curva de caída correspondiente a la banda de octava de 1 kHz

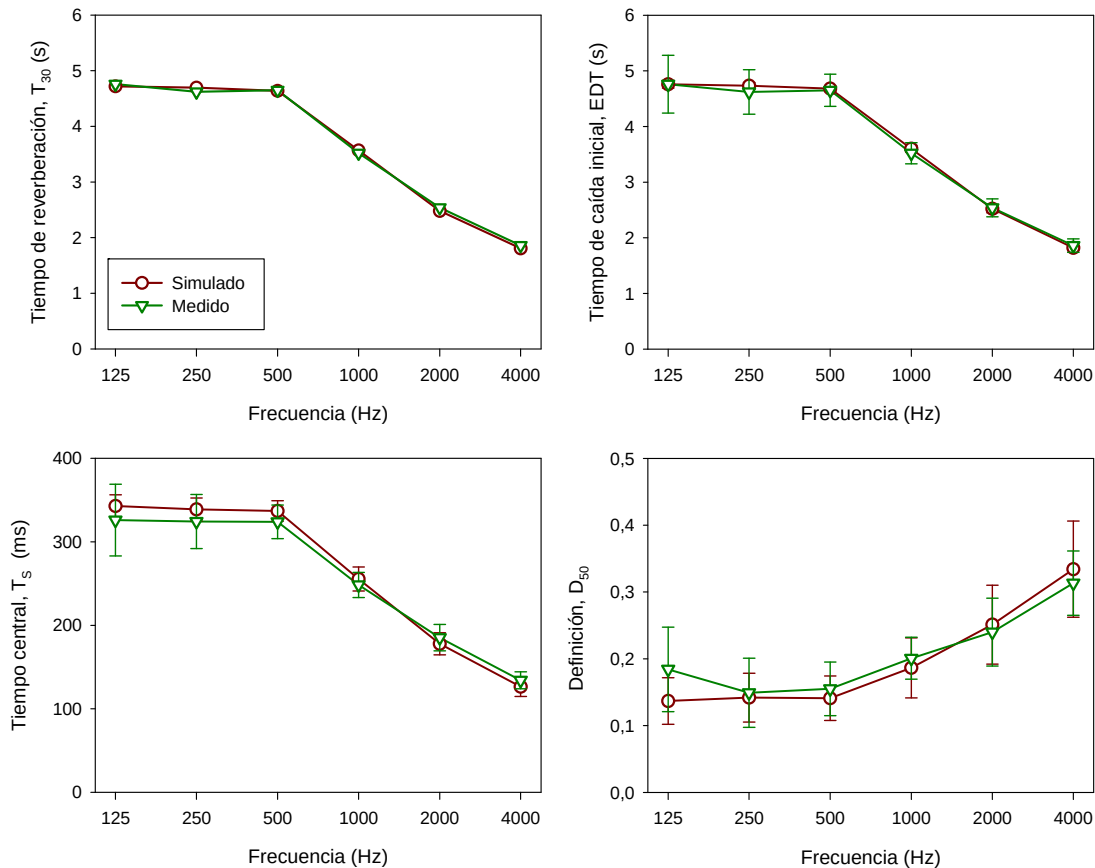


Figura 10. Comportamiento espectral de los valores promediados espacialmente de los parámetros acústicos, medidos y simulados, en el estado actual en la unidad espacial UE5. La dispersión espacial se valora mediante la desviación estándar indicada por las barras de error.

En la Figura 11 se ha representado el valor del índice *RASTI* frente a la distancia emisor-receptor. Los valores medidos se han derivado a partir de las respuestas al impulso sin calibrar, es decir, las mismas que se han utilizado para obtener el resto de los parámetros. Ello se ha hecho así porque, en todos los casos, predomina el efecto de la reverberación sobre el del ruido de fondo durante el uso habitual del recinto, sin la presencia de las obras. La escala de la derecha califica cualitativamente la inteligibilidad en función del rango de valores del índice *RASTI*: M, “mala”; P, “pobre”; A, “aceptable”; B, “buena” y E, “excelente”.

A partir de los datos de la Tabla 1, representados en la Figura 10, podemos realizar las siguientes observaciones:

- Los valores del tiempo de reverberación son bastante elevados a todas las frecuencias, lo que califica al espacio como claramente reverberante.
- Tiempos de reverberación medidos a bajas frecuencias en torno a 4,5-5 s,

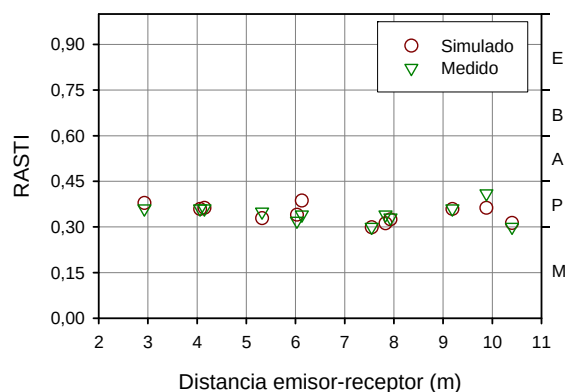


Figura 11. Valores del índice *RASTI*, medidos y simulados, frente a la distancia fuente-receptor.

de 4-4,5 s a medias frecuencias y 2-2,5 s a altas frecuencias, todos ellos con la sala vacía; valores muy alejados de los recomendables: entre 0,9 y 1,0 s para las frecuencias medias y con la sala vacía.

- Los valores de EDT son muy similares a los de T_{30} , aunque la dispersión espacial es sensiblemente mayor, sobre todo a bajas y medias frecuencias.
- Valores del tiempo central (indicador de la nitidez del sonido) muy altos: en torno a 325 ms para las frecuencias bajas, de 250-325 ms para las frecuencias medias y de 135-185 ms para frecuencias altas. Estos valores están en consonancia con los tiempos de reverberación medidos.
- Para aumentar la nitidez del sonido habría que reducir los valores del tiempo central de las frecuencias medias a valores del orden de 100 ms.
- Valores de la definición (D_{50}) bajos: entre 0,15 y 0,20 para las bajas y medias frecuencias, subiendo a altas frecuencias a 0,25-0,30.
- Habría que aumentar considerablemente los valores de la definición, para alcanzar el rango 0,60-0,70, aproximadamente.
- Como consecuencia de todo lo anterior, los valores de la inteligibilidad, medidos a través del índice RASTI, son bajos, entre 0,30-0,40 para todos los puntos, lo que es indicador de una inteligibilidad “pobre”.
- Habría que aumentar los valores del RASTI al rango 0,60-0,75 para que esa inteligibilidad pueda ser calificada, al menos, como “buena”.
- Los valores de todas las variables medidas indican la absoluta necesidad de aumentar la absorción sonora del recinto, principalmente con la inclusión de revestimientos absorbentes en las paredes (donde no haya grandes cristaleras) y bóvedas. El revestimiento de corcho de las paredes probablemente se puso en su día con fines acústicos, pero resulta evidente que, con el montaje realizado, solo a altas frecuencias se nota su presencia.

3.2. Resultados simulados en el estado actual

El modelo tridimensional elaborado para simular las condiciones del estado actual se muestra en la Figura 12 y, en la Tabla 2, se aportan los datos de los principales materiales utilizados en el modelo: superficie y coeficientes de absorción de cada uno de ellos. Los valores de los coeficientes de absorción y dispersión de materiales usuales se pueden encontrar en [9],

Tabla 2.- Superficies y coeficientes de absorción de los materiales utilizados en el modelo de la UE5.

Material	Superficie (m ²)	Coeficientes de absorción (%)					
		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
Superficies enlucidas	379,5	1	1	1	1	3	5
Suelo de mármol	225,5	1	1	1	1	2	2
Panel de corcho pegado	58,4	28	32	32	40	46	46
Panel madera	33,4	18	12	10	9	8	7
Ventanal de vidrio	35,2	18	6	4	3	2	2
Puerta de madera	21,7	14	10	6	8	10	10
$S_{TOTAL} =$	753,6						

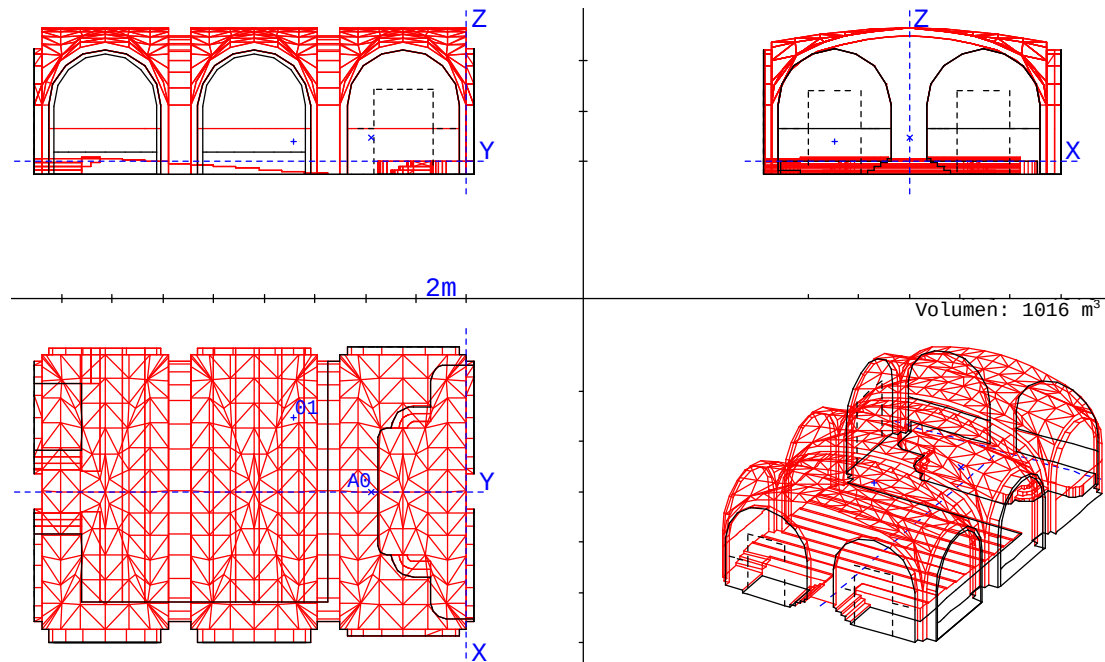


Figura 12. Modelo de la unida espacial UE5 implementado para simular el estado actual.

[10], [11]. En este caso, para todas las superficies se utilizó un valor del coeficiente de dispersión de 10%. La frecuencia de Schröder de este modelo es 137 Hz, lo que indica que los resultados simulados son fiables a partir de la banda de octava de 500 Hz.

Los valores simulados de los parámetros acústicos, promediados espacialmente, aparecen en la Tabla 1 en las columnas epigrafiadas *Sim.* y los de las correspondientes desviaciones estándar, para valorar la dispersión espacial, en las columnas adyacentes tituladas *SD*. Estos valores se comparan gráficamente con los medidos *in situ* en la Figura 10. Esta información pone de manifiesto que los valores medidos y simulados muestran diferencias menores de 1 JND tanto para *EDT*, como para *T_S* y *D₅₀*. La dispersión espacial es muy similar, salvo en las frecuencias más bajas, donde la dispersión de los valores medidos es mayor que la de los simulados.

En la Figura 11 se comparan, a su vez, los valores del índice RASTI frente a la distancia emisor-receptor. Podemos observar que los valores medidos y simulados son muy similares para todos los puntos, casi independientes de la distancia y que, como ya observamos al comentar los datos experimentales, permiten calificar la inteligibilidad del espacio como “*pobre*”.

A partir de la información presentada, podemos concluir que el modelo implementado, una vez calibrado siguiendo el procedimiento descrito, permite calcular con suficiente precisión los parámetros acústicos que califican el comportamiento acústico del recinto en relación al uso del mismo.

3.3. Resultados simulados en el estado reformado

El proyecto de rehabilitación contempla la división de esta unidad espacial en otras dos con un uso también docente (Figura 13.a y 13.b) y la constitución de una tercera (Figura 13.c), por agregación de espacios adicionales, con un uso administrativo, en la que además se construye una entreplanta, de modo que se configuran dos subespacios acústicamente diferenciados (planta baja y planta alta) que se han analizado de forma separada.

Para cada una de estas tres unidades espaciales, se han simulado dos opciones de acondicionamiento: en la primera (hipótesis 1) se tratan las paredes laterales con un panel de yeso perforado, trasdosado con lana de roca (producto comercial Knauf STO) y terminado con revestimiento poroso (STO Silent); en la segunda (hipótesis 2), además, se tratan las bóvedas con BASWAPHON 407, un producto con terminación porosa y que se puede aplicar con facilidad sobre bóvedas y cúpulas. En el caso de la unidad de la Figura 13.c el falso techo de la entreplanta es perforado y registrable (Knauf Cleaneo). Los valores de los coeficientes de absorción utilizados en el proceso de simulación se han tomado de los datos técnicos del fabricante y de la bibliografía habitual ya citada, [9], [10] y [11]. En la Tabla 3 se muestran algunos datos técnicos y los valores de los coeficientes de absorción acústica de los tratamientos utilizados en las simulaciones, extraídos de las hojas técnicas de los fabricantes. Los de dispersión que se indican han sido estimados a partir de los factores geométricos.

Las frecuencias de Schröder de la unidad espacial de la Figura 13.a, para cada una de las hipótesis de revestimientos, son $f_{s1}=101$ Hz para la primera hipótesis y $f_{s2}=83$ Hz para la segunda, lo que indica que los resultados serán fiables a partir de las bandas de octava de 500 y 250 Hz, respectivamente. Para el espacio de la Figura 13.b estos valores son, respectivamente, 83 y 60 Hz, por lo que las simulaciones serán fiables a partir de la banda de 250 Hz. Para la unidad de la Figura 13.c son 65 y 35 Hz, lo que supone resultados admisibles para las bandas de octava a partir de 250 y 125 de Hz, respectivamente.

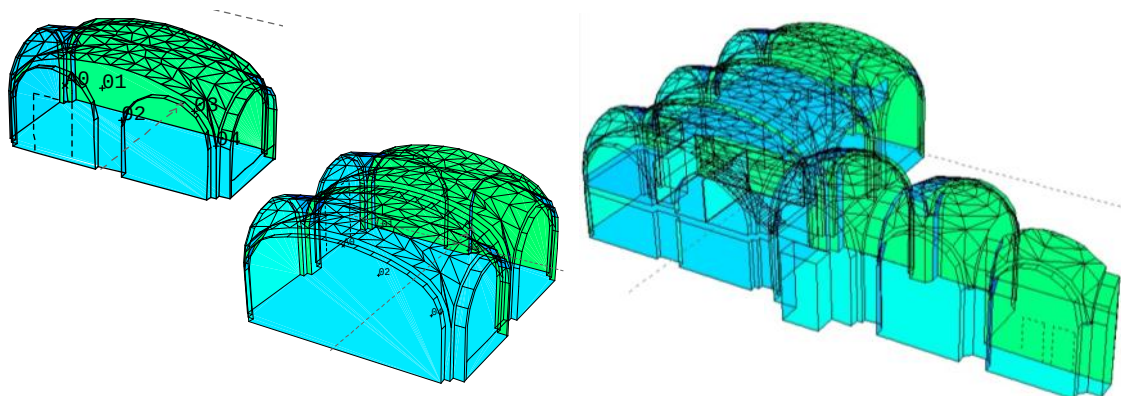
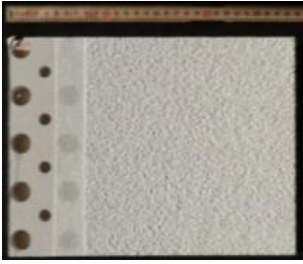
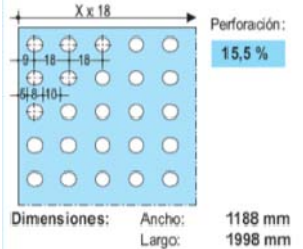


Figura 13. Modelos 3D para las tres unidades conformadas tomando como base la unidad inicial UE5.

Tabla 3. Descripción y características acústicas de los materiales propuestos para la corrección acústica.

DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	COEFICIENTES: <ABSORCIÓN><DISPERSIÓN>
BASWAPHON		
Este sistema permite obtener un acabado con superficie muy lisa similar a un enlucido de yeso.	El sistema se compone de 2 elementos: - Material poroso de lana mineral adherido directamente sobre el elemento soporte con un espesor de 30 - 65 mm. - Capa de acabado micro-poroso BASWAPHON 407 con varias posibilidades de terminación (pueden aplicarse varias capas) con un espesor total de 2,5 – 3,5 mm.	<57 82 77 65 63 49><10 10 10 10 10 10> 
KNAUF STO		
Placa de yeso laminado perforada. Alma de yeso con fibra de vidrio y cartón en sus dos caras. Posee un velo de fibra de vidrio en su dorso. Clasificación al fuego M-1. Nuevo borde FF para facilitar y agilizar el tratamiento de juntas. Las placas se suministran con velo blanco.	- Placa perforada con un espesor de 12,5 mm y perforaciones circulares con diámetros de 12/20/46 mm. - Tiras de placas de yeso laminado (4 tiras longitudinales en cada placa) de 18 mm de espesor y 60 mm de anchura. - Hueco entre tiras relleno de lana mineral de 20 mm de espesor. Cara oculta con lámina de aluminio que cierra de manera estanca. - Acabado con revestimiento poroso STOSILENT	<62 60 72 74 58 53><10 15 15 20 20 20> 
KNAUF CLEANEO		
Placa de yeso laminado con perforaciones circulares. Alma de yeso con fibra de vidrio y cartón en sus dos caras. Velo de fibra de vidrio en su dorso.	- Están compuestas de una placa perforada con un espesor de 12,5 mm. - Perforaciones circulares 8 mm y densidad de perforación del 15,5 %.	<67 94 76 80 55 64><10 10 10 10 10 10> 

El comportamiento espectral promediado espacialmente de los parámetros acústicos, para cada una de las unidades y para cada una de las hipótesis de revestimientos, se muestra en la Figura 14. No se han incluido las barras verticales para valorar la dispersión espacial por razones de claridad y porque, además, son del mismo orden de magnitud que las del estado actual. Los valores del índice RASTI aparecen en la Figura 15 para cada una de las unidades y para las dos hipótesis de tratamientos analizadas.

En el caso de la unidad de la Figura 13.a observamos que el tiempo de reverberación, si se aplica el tratamiento de la hipótesis 1, se sitúa ligeramente por encima de los 0,7 s que fija el DB HR: protección frente al ruido del Código Técnico de la Edificación CTE [12] para aulas y salas de conferencias con volumen inferior a los 350 m³, como es el caso; si se aplican los tratamientos de la hipótesis 2, los valores de T_{30} son del orden de 0,5 s. La definición pasa desde un valor comprendido entre 0,65 y 0,70, en el caso de aplicar la hipótesis 1, hasta el comprendido entre 0,80 y 0,85 para la hipótesis 2. Para la hipótesis 1 el tiempo central está comprendido entre los 40 y los 50 ms, mientras que si se utilizan los revestimientos de la hipótesis 2, el intervalo se reduce hasta los 30-40 ms. En cuanto al índice RASTI, en ambos casos los valores se sitúan alrededor de 0,75 en todos los puntos, con valores sólo ligeramente más altos en el caso de aplicar los tratamientos de la hipótesis 2. En definitiva, salvo

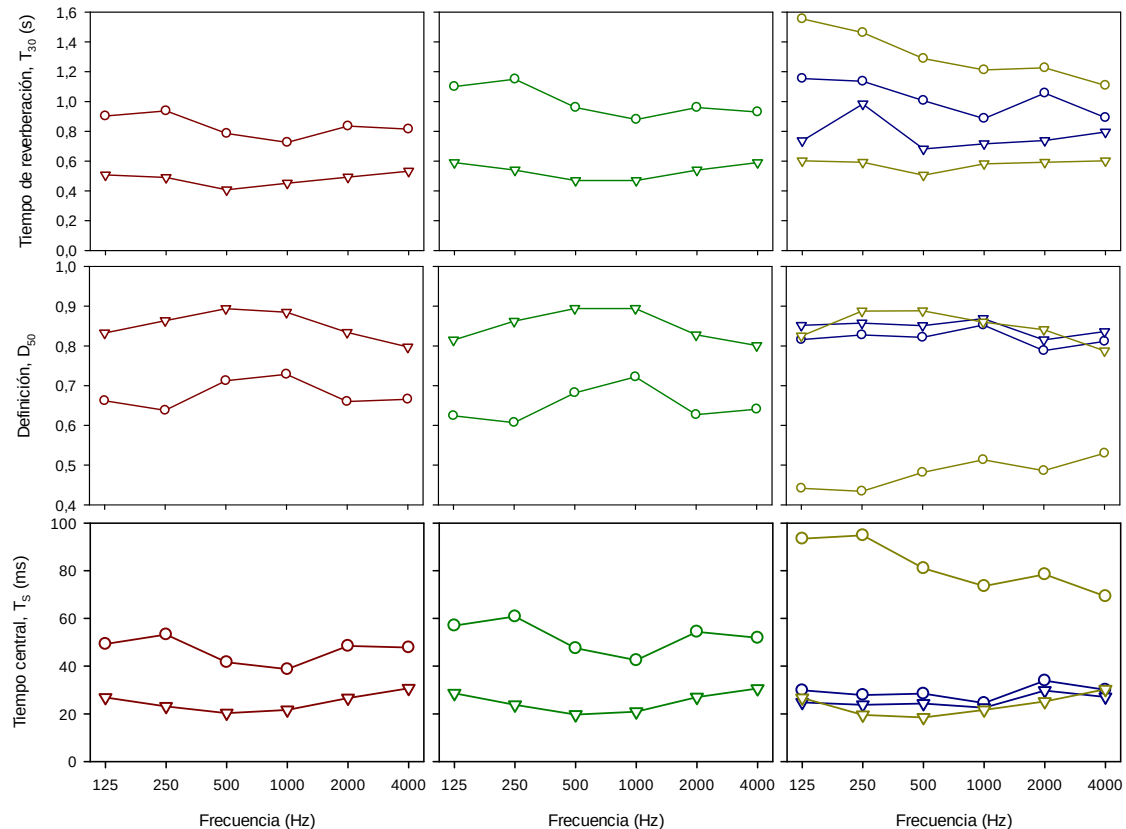


Figura 14. Valores espectrales de los parámetros acústicos simulados, promediados espacialmente, en las tres unidades propuestas en la rehabilitación. Izquierda: unidad UE5(a); en medio: unidad UE5(b); Derecha: unidad UE5(c), en azul la planta baja y en dorado la alta. (O) Hipótesis-1, (∇) Hipótesis-2.

el tiempo de reverberación, que es ligeramente superior al deseable, los demás parámetros adquieren valores aceptables aplicando sólo el tratamiento definido como hipótesis 1.

En el caso de la unidad de la Figura 13.b, observamos que el tiempo de reverberación, si se aplica el tratamiento de la hipótesis 1, se sitúa ligeramente por encima de 1 s. Hemos de señalar que, en este caso, el volumen supera los 350 m³, por lo que su tiempo de reverberación no queda limitado por el DB HR del CTE. Si se aplican los tratamientos de la hipótesis 2, los valores de T_{30} son del orden de 0,6 s. La definición pasa desde un valor comprendido entre 0,60 y 0,65, en el caso de aplicar la hipótesis 1, hasta estar comprendido entre 0,80 y 0,85 para la hipótesis 2. Para la hipótesis 1 el tiempo central está comprendido entre los 50 y los 60 ms, mientras que si se utilizan los revestimientos de la hipótesis 2, el intervalo se reduce hasta los 20-30 ms. En cuanto al índice RASTI, en ambos casos los valores se sitúan alrededor de 0,75 en todos los puntos, con valores algo más altos en el caso de aplicar los tratamientos de la hipótesis 2. En este caso los resultados para T_{30} son ligeramente elevados y, dado el volumen del recinto, sería recomendable aplicar los tratamientos de la hipótesis 2, pues la mejora en el resto de los parámetros es notoria.

En el caso de la unidad de la Figura 13.c, observamos que existe un comportamiento acústico muy diferente en los dos subespacios que configuran el recinto propiciados por la inser-

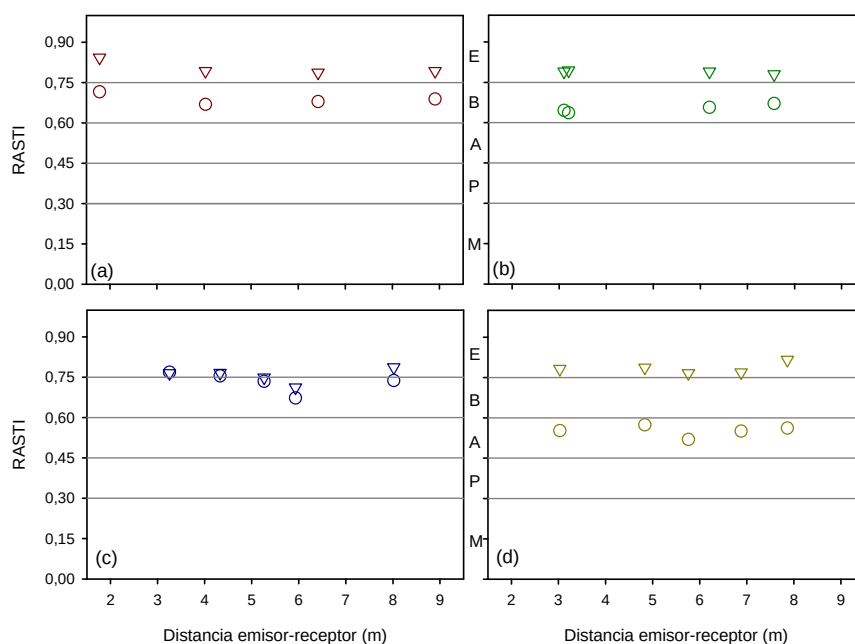


Figura 15. Índice RASTI simulado, frente a la distancia emisor-receptor, en las tres unidades propuestas en la rehabilitación: (a) unidad UE5(a); (b) unidad UE5(b); (c) planta baja unidad UE5(c); (d) planta alta unidad UE5(c). (O) Hipótesis-1, (∇) Hipótesis-2.

ción de la entreplanta. Por eso se presentan separadamente los resultados para cada uno de ellos. La planta baja, con la hipótesis 1 tiene un T_{30} algo elevado: entre 1 y 1,2 s, para el uso que se le va a dar, mientras que si se aplican los tratamientos sugeridos en la hipótesis 2, este valor desciende a 0,8 s, perfectamente asumible. En la planta alta el cambio es más radical: en la condiciones de la hipótesis 1 los valores de T_{30} se sitúan entre 1,2 y 1,5 s, que resultan demasiado elevados para el uso pretendido, mientras que si se tratan las bóvedas, como se contempla en la hipótesis 2, este valor se reduce hasta 0,6 s, que ya se sitúa en el rango aceptable. En cuanto a los valores de D_{50} , en la planta baja apenas hay diferencia entre los valores simulados bajo las condiciones de las hipótesis 1 y 2; en ambos casos estos valores son del orden de 0,85, adecuados para el uso previsto. Los cambios son mucho más significativos para la planta alta si se aplican los tratamientos de la hipótesis 2; en tal caso los valores pasan del rango 0,45-0,50 hasta situarse en el comprendido entre 0,85 y 0,90, de modo que se alcanzan ya los valores deseados. Finalmente, los valores del tiempo central, para la planta baja, independientemente de la hipótesis aplicada, son del orden de 25 ms, mientras que para la planta alta, si consideramos la hipótesis 1 se sitúan en el rango 75-95 ms, algo elevado, mientras que al aplicar la hipótesis 2, estos valores descienden hasta los 30 ms, que son mucho más aceptables.

Buscar la compatibilidad entre una selección de tratamientos superficiales visualmente adecuados, que no alteren el valor patrimonial del edificio, y un comportamiento acústico efectivo ha sido el modo de proceder en el proyecto de rehabilitación acústica, pero se ha de señalar que uno de los inconvenientes que tienen estos tratamientos es que su terminación es micro-

porosa; de modo que cualquier pintura que se aplique puede reducir drásticamente la eficacia de los mismos como absorbente acústico, por lo que, si por razones de mantenimiento, se introduce esta terminación final puede alterar significativamente el comportamiento acústico.

4. CONCLUSIONES

Se ha presentado la metodología utilizada para asesorar el proceso de rehabilitación de la Antigua Real Fábrica de Tabacos de Sevilla, sede de la Universidad de Sevilla, dentro del Plan Director que se está llevando a cabo con el fin de restaurar el valor patrimonial de este emblemático edificio sevillano, escenario donde se desarrolla parte de la ópera Carmen. El proceso de calibración de los modelos informáticos realizados para las unidades en su estado actual, ha permitido obtener información del máximo interés para utilizarla en los modelos de las unidades espaciales contempladas en el proceso de rehabilitación, conformadas, en su mayoría, por agregación o subdivisión de las anteriores.

Hemos de señalar que el confort acústico ha sido una de las deficiencias ampliamente detectadas en etapas previas, principalmente para el uso docente del edificio.

Finalmente se ha utilizado una de las unidades espaciales incluidas en el proyecto de acondicionamiento acústico para mostrar la aplicación de la metodología y los resultados obtenidos. El análisis realizado ha estado guiado por dos criterios fundamentales: los usos docente y administrativo exigen aplicar unos tratamientos superficiales que den lugar a unas buenas condiciones acústicas tras la rehabilitación, y la intervención ha de ser absolutamente respetuosa con el carácter patrimonial del edificio.

Agradecimientos

Este proyecto ha sido financiado por la Universidad de Sevilla.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] T. Falcón: *El patrimonio monumental*. En: T. Falcón, J. Bernal, E. Valdivieso, M. J. Sanz, "Universidad de Sevilla. Patrimonio monumental y artístico", Secretariado de Publicaciones, Universidad de Sevilla, pp. 27-61, 2001.
- [2] J. M. Rodríguez Gordillo: *Historia de la Real Fábrica de Tabacos de Sevilla*, Fundación Focus Abengoa, Sevilla, 2005.
- [3] J. Morales Sánchez: *Arquitectura y proyecto en la Sevilla del siglo XVII. La Fábrica de Tabaco*, Fundación Focus Abengoa, Sevilla, 1991.
- [4] UNE-EN ISO 3382-1 (2010): *Acústica – Medición de parámetros acústicos en recintos. Parte 1: Salas de espectáculos*.
- [5] L. L. Beranek: *Balanced noise-criterion (BNC) curves*. J. Acoust. Soc. Am. 86(2) (1989) 650-664
- [6] DIRAC room acoustic software, user manual v4.0, Brüel&Kjaer.

- [7] CATT-Acoustic v.8 user's manual. Room Acoustics Prediction and Desktop Auralization, CATT, 2010.
- [8] M. Galindo, T. Zamarreño, S. Girón: Acoustic simulations of Mudéjar-Gothic churches. *J. Acoust. Soc. Am.* 126(3), pp. 1207-1218, 2009.
- [9] M. Vorländer: *Auralization, fundamentals of acoustics, modelling, simulation, algorithms and acoustic virtual reality*, Springer-Verlag, Berlin, 2008.
- [10] T. J. Cox, P. D'Antonio: *Acoustic absorbers and diffusers. Theory, design and application*. Spon, London, 2004.
- [11] Physikalisch-Technische Bundesanstalt. <http://www.ptb.de/en/org/1/16/163/datenbank.htm> (visitada el 12/10/2011).
- [12] Disponible en <http://www.codigotecnico.org/web/recursos/documentos/> (visitada el 12/10/2011).

