

Cursos Avanzados 2015

Eduardo Torroja

LIBRO DE PONENCIAS

del 13 de abril al 16 de junio de 2015

S6

Acústica de la edificación. Normativa, materiales, instrumentación y control



LIBRO DE PONENCIAS

SEMINARIO 6

Acústica de la edificación. Normativa, materiales, instrumentación y control

Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja. IETcc
Consejo Superior de Investigaciones Científicas. CSIC

**CURSOS AVANZADOS EDUARDO TORROJA
CURSOS AVANZADOS 2015**

Seminario 6

ACÚSTICA DE LA EDIFICACIÓN. NORMATIVA, MATERIALES, INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL. 29 y 30 de abril

© Los autores

ISBN: 978-84-7292-390-4

Depósito legal: M-9350-2015

Directores del seminario:

Belén Casla Herguedas y José Antonio Tenorio Ríos

Edita:

Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja. CSIC
C/ Serrano Galvache, 4. 28033. Madrid

Presentación del curso

Este año celebramos la XVIII edición del CEMCO, dentro de las actividades que se han organizado con motivo del 80º aniversario de la fundación del Instituto de la Construcción y la Edificación, antecesor del actual Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (IETcc-CSIC). En Mayo de 1934 Eduardo Torroja publicó el primer número de la revista "Hormigón y Acero" y escribía: *"No pretendemos ocupar el sitio de nadie. Tenemos como objetivos primordiales poner en contacto más directo a la técnica española con las figuras extranjeras de más prestigio en estas cuestiones; establecer un intercambio de ideas entre los campos de nuestros ingenieros y nuestros arquitectos, intentando la necesaria compenetración de ambas clases de conocimientos; constituir un resumen de cuanto interesante se haga o escriba en el mundo sobre estudios y métodos de construcción, proporcionando un elemento de archivo, documentado y en orden, fácil para su consulta"*. 80 años después uno de los objetivos fundamentales del IETcc sigue siendo la transferencia de conocimientos, la difusión de los resultados de las actividades de investigación que en él se desarrollan y el intercambio de conocimientos entre los expertos de las distintas áreas. Fieles al espíritu fundacional, además de las revistas publicadas en el IETcc, se desarrollan habitualmente cursos especializados, como los Cursos Avanzados.

Este año celebramos la cuarta edición y los seminarios se han agrupado en torno a tres ejes: la Durabilidad, la Rehabilitación y la Sostenibilidad en la Construcción.

Durabilidad: en este módulo se abordarán aspectos de los materiales y su comportamiento a largo plazo en un momento de evolución acelerada y de cambio continuo. En una sociedad basada en el conocimiento debe ser posible el diseño de estructuras más durables o resistentes a ambientes especialmente agresivos. Asimismo, ante una demanda de sostenibilidad una adecuada inspección y mantenimiento permiten extender la vida útil de las estructuras y los edificios y realizar intervenciones apropiadas que permitan unos adecuados niveles de seguridad y de uso.

Rehabilitación: La actual crisis económica ha desplazado los recursos y los esfuerzos destinados a la construcción desde una, tal vez excesiva, inversión en obra nueva hacia un esfuerzo por rehabilitar y reutilizar nuestro patrimonio construido. En este curso se tratarán temas como la accesibilidad en edificación existente, habitabilidad y descontaminación, el estudio de la energética en edificios existentes.

Sostenibilidad: No podemos ser ajenos al impacto ambiental y a diseñar pensando en el ciclo de vida de las estructuras. En este bloque del curso se abordarán los hormigones especiales, la habitabilidad, la acústica de la edificación, la prefabricación y la innovación en la construcción.

La presente publicación forma parte de la serie de 16 publicaciones, asociadas cada una de ellas a uno de los diferentes Seminarios que constituyen el curso, siendo cada uno de ellos un libro independiente.

Las ponencias aquí recogidas están elaboradas por los profesores de los diferentes seminarios. El perfil de estos profesores, procedentes del campo de la investigación, de la universidad y de la empresa, así como la tradición formativa de las instituciones implicadas, hace de este curso un referente técnico internacional.

Para llegar al máximo número de alumnos se han utilizado las últimas tecnologías, lo que ha permitido la asistencia de alumnos de todas partes sin necesidad de desplazarse hasta la sede del curso, radicada en el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja en Madrid.

Consideramos que estas ponencias van más allá del propio curso y que podrán seguir

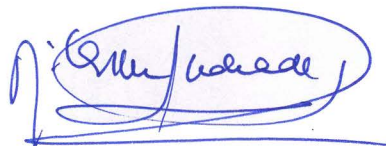
siendo documentos de interés en el futuro, pasando a formar parte de las colecciones de publicaciones del IETcc.

Por último, no sería justo cerrar esta presentación sin agradecer el enorme esfuerzo realizado por todas las personas involucradas en su organización, por los directores de seminario y por todo el profesorado, tanto de los centros organizadores como de empresas y otras entidades. Especial reconocimiento manifestamos hacia los Ministerios de Economía y Competitividad, Fomento e Industria, que han manifestado su apoyo al curso, así como a los patrocinadores y otras entidades que han colaborado con el mismo, y que con su estímulo han hecho posible la organización del presente curso .

Madrid, la dirección del curso.



Javier Sánchez Montero
Director



M.ª Carmen Andrade Perdrix
Directora honorífica



José A. Tenorio Ríos
Director

Seminario 6.

Acústica de la edificación. Normativa, materiales, instrumentación y control.

En esta nueva edición de Cursos Avanzados Eduardo Torroja 2015 no podía faltar un seminario dedicado a la acústica en la edificación.

Es una realidad los usuarios están cada vez más concienciados y son más exigentes con los problemas derivados de la acústica. Todos buscamos estar sometidos a un menor nivel sonoro exterior y también estar protegidos del ruido inherente al edificio.

En cuanto a la edificación, objeto del seminario, no podíamos ser ajenos a las exigencias reglamentarias derivadas del cumplimiento del Código Técnico de la Edificación para obra nueva y también para edificios existentes. En estos últimos el informe de Evaluación del Edificio (IEE) ha supuesto un hito al tener en cuenta la valoración de las prestaciones acústicas del parque edificatorio. En este sentido tampoco podíamos ser ajenos a mostrar las exigencias de los países de nuestro entorno.

Este seminario ha querido dar un paso más allá, para mostrar en forma de paneles tres aspectos que consideramos fundamentales: Los productos de construcción disponibles para lograr soluciones de alto rendimiento en la protección frente al ruido, los métodos de ensayo para evaluar las prestaciones

Directores de seminario,

M^a Belén Casla Herguedas

obtenidas y por último los métodos de simulación aplicables en el proyecto para la predicción del comportamiento acústico de los edificios.

Hemos tratado de seleccionar los ponentes más adecuados, responsables de la elaboración de los reglamentos, del mundo de la investigación y la universidad y también de la empresa, para así poder mostrar no sólo un contenido teórico sino también recoger la experiencia práctica de los desarrollos y las soluciones reales.

En este libro se recoge lo que se ha expuesto en el seminario quedando para su lectura posterior y al igual hemos hecho con los videos de las jornadas que quedan a disposición de todo el que quiera verlos a través de internet.

Sólo queda agradecer el esfuerzo de todos los ponentes que han hecho posible este seminario y al Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. CSIC, del que formamos parte, que nos presta la capacidad para hacerlo.

En nuestro afán por generar conocimiento somos conocedores de lo mucho que falta por hacer en acústica edificatoria pero también tenemos el objetivo de transmitir lo que ya conocemos y es lo que hemos pretendido.

José Antonio Tenorio Ríos

INDICE

Exigencias reglamentarias en protección frente al ruido. Obra nueva y rehabilitación. 10

Luís Vega Catalán

Métodos de evaluación del DB HR. El IEE como evaluación en la edificación existente. 17

Teresa Carrascal García

Amelia Romero Fernández

M^a Belén Casla Herguedas

Evolución y cambios en la normativa europea en acústica de la edificación 28

María Machimbarrena Gutiérrez

Birgit Rasmussen

Patrizio Fausti

Silensis: paredes de ladrillo de alto aislamiento 42

Ana Ribas Sangüesa

Rehabilitación acústica de fachada con sistemas multicapa 55

Dasil Fernández Turrado

Desarrollo de una gama de frisos de madera para acondicionamiento acústico 63

Manuel A. Sobreira Seoane

César García Porto

Sistemas de aislamiento con madera. Cubiertas ligeras. 73

Antonio Trincado Fernández

Comportamiento acústico de las lanas minerales 78

Fernando Peinado Hernández

Soluciones de aislamiento acústico 84

Yago Massó Moreu

Los ensayos acústicos como herramienta de diseño y control	106
Ana E. Espinel Valdivieso	
Ángel Arenaz Gombau	
Localización de fuentes sonoras: intensimetría y beamforming	115
Pedro Geraldo Guerra	
Medidas de aislamiento acústico	117
Jorge Fernández Gimeno	
Cómo analizar y predecir aislamientos acústicos con precisión	127
Salvador R. Domingo Bets	
Software para cálculo de aislamientos según EN 12354. Verificación de calidad acústica en edificación	133
Cástor Rodríguez Fernández	

Exigencias reglamentarias en protección frente al ruido. Obra nueva y rehabilitación

Luis Vega Catalán

Arquitecto. D. G. de Arquitectura, Vivienda y Suelo. Ministerio de Fomento.

Palabras clave: rehabilitación, reglamentación, acústica, DB HR.

Resumen

Las exigencias reglamentarias en el ámbito de la edificación se establecen para satisfacer las demandas sociales de calidad, y por tanto en principio debieran ser iguales con independencia de si el edificio al que se pretenden aplicar es de nueva planta o es un edificio existente que se desea rehabilitar. Pero las exigencias deben responder a un principio de proporcionalidad entre las prestaciones acústicas que se consiguen y el esfuerzo económico técnico que representan, y en el caso de intervenciones sobre edificios existentes las condiciones de contorno son generalmente mayores y más restrictivas que en nueva planta, lo que debe llevar necesariamente a una mayor flexibilidad en la aplicación de las exigencias en este tipo de intervenciones.

Toda intervención en los edificios existentes debe perseguir la mejora progresiva de las condiciones de la edificación para adaptarla a estándares de calidad actuales, siempre que sea técnica, económica y funcionalmente viable. En este sentido, el trabajo del Ministerio de Fomento, con el apoyo técnico del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, ha consistido en la redacción de unos criterios de aplicación del DB HR a edificios existentes, que son el marco para el cumplimiento del DB HR en obras de ampliación, mejora o cambio de uso.

El objetivo de esta ponencia es ahondar en los fundamentos de dichos criterios, y mostrar cómo afectan a la aplicación del DB HR.

1 INTRODUCCIÓN

Las exigencias reglamentarias en el ámbito de la edificación se establecen para satisfacer las demandas sociales de calidad, y por tanto en principio debieran ser iguales con independencia de si el edificio al que se pretenden aplicar es de nueva planta o es un edificio existente que se desea rehabilitar. Pero las exigencias deben responder a un principio de proporcionalidad entre lo prestaciones acústicas que se consiguen y el esfuerzo económico técnico que representan, y en el caso de intervenciones sobre edificios existentes las condiciones de contorno son generalmente mayores y más restrictivas que en nueva planta, lo que debe llevar necesariamente a una mayor flexibilidad en la aplicación de las exigencias en este tipo de intervenciones.

La aplicación de la reglamentación en el ámbito de la rehabilitación es una problemática difícil, que preocupa a todos los técnicos. Como 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 para que el usuario tenga conocimiento del mismo y pueda valorar mejor la intervención.

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).

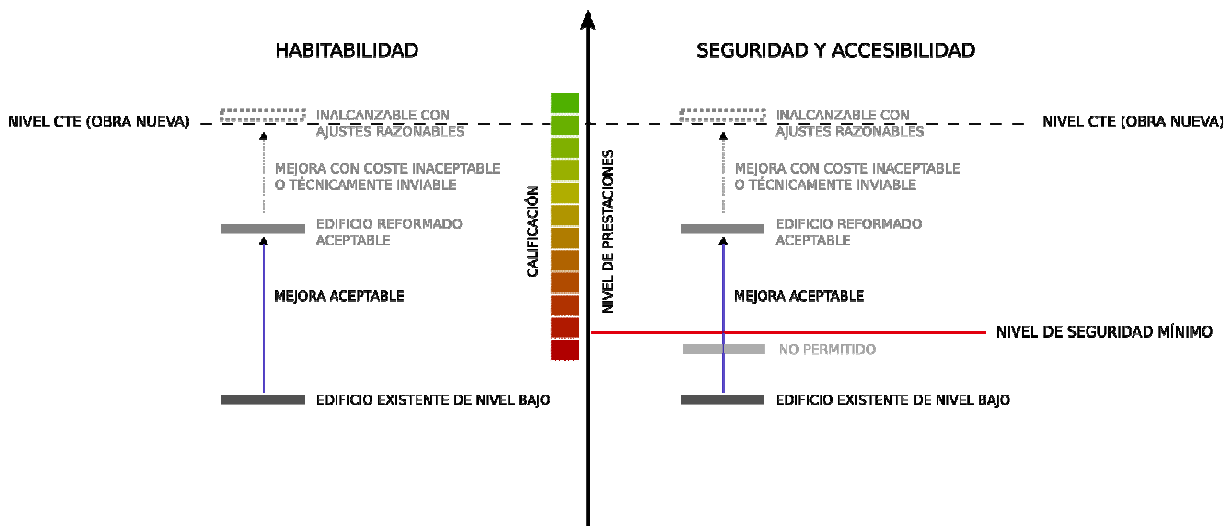


Figura 1. Concepto de mejora aceptable.

2 CRITERIOS GENERALES DE APLICACIÓN DEL CTE EN EDIFICIOS EXISTENTES Y SU PARTICULARIZACIÓN PARA EL DB HR

El objetivo lógico de toda obra de rehabilitación es la mejora de los edificios hasta alcanzar el estándar actual o próximos al estándar actual y así se ha querido recoger en el CTE, donde se han definido una serie de criterios

generales comunes a todos los requisitos que han de cumplirse para todas las intervenciones, siempre que no se especifique lo contrario en algún documento básico.

Salvo en contadas excepciones, las obras de rehabilitación tienen como única finalidad mejorar las condiciones acústicas, sin embargo, cada obra de rehabilitación puede ser una oportunidad aumentar la calidad acústica de nuestros edificios. Estos criterios generales y su particularización para el caso del DB HR son:

- **Criterio de no empeoramiento:** Lógicamente no se pueden reducir las condiciones de seguridad y habitabilidad preexistentes cuando éstas sean menos exigentes que las establecidas en los DBs. En el caso del requisito de protección frente al ruido, si las condiciones existentes son más exigentes únicamente podrán reducirse hasta el nivel del DB HR.
- **Criterio de flexibilidad:** En determinadas ocasiones, se permite limitar la intervención al mayor nivel de adecuación compatible con las condiciones de la intervención, aunque no se llegue a satisfacer los niveles de exigencia de los documentos básicos, es decir, aún cuando no se llegue a cumplir el DB HR, es conveniente conseguir una mejora. Los casos concretos en los que la aplicación del criterio de flexibilidad está permitida se especificaran en los siguientes apartados.

Es importante subrayar que cuando no se alcancen los niveles exigidos en el DB HR, debe dejarse constancia en la **documentación final de la obra del nivel de prestación alcanzado y los condicionantes de uso y mantenimiento**.

3 DETERMINACION NIVELES DE AISLAMIENTO ACÚSTICO ALCANZADOS

En fase de proyecto, la determinación del nivel de aislamiento acústico que puede alcanzarse tras una intervención en un edificio existente siempre es compleja, por varios motivos:

- Los edificios existentes suelen estar contruidos con elementos que no son habituales en la actualidad, cuyas técnicas pueden haber desaparecido y de los que apenas existe información. Dependiendo del tipo de edificación y año de construcción, es frecuente encontrar elementos constructivos que no han sido nunca caracterizados acústicamente, ya que no han sido ensayados y no suelen figurar en manuales, tratados, el catálogo de elementos constructivos...etc. Se trata por ejemplo, de aquellos edificios contruidos con anterioridad a 1940 cuya estructura suele estar formada por de forjados con viguetas de madera y entrevigado relleno de yesones o cascotes y muros de entramado de madera a base de pies derechos y carreras rellenos de fábrica, cascotes, yesones o adobe. El hecho de desconocer las prestaciones de estos elementos suele dificultar el diagnóstico acústico de los edificios, a menos que se realicen mediciones de aislamiento acústico.
- El aislamiento acústico depende también de las formas de unión y de la ejecución. En este sentido, pueden existir flancos dominantes que dificulten la mejora de los niveles de aislamiento obtenidos. Por otro lado, la inspección de los edificios puede revelar la existencia de instalaciones comunes pasantes entre recintos que minimizan el aislamiento acústico.
- Una vez prescritas las actuaciones orientadas a la mejora del aislamiento acústico, **precisar el aislamiento acústico final es complejo**, a menos que tengamos experiencia previa en este tipo de intervenciones. Es especialmente "arriesgado" si se tiene en cuenta que los índices en que están definidas las exigencias reglamentarias del DB HR son índices que indican aislamiento in situ: Diferencia de niveles estandarizada, $D_{nT,A}$, para ruido aéreo y nivel de presión de ruido de impactos estandarizado, $L'_{nT,w}$, para ruido de impactos.

En aquéllos casos, como los enumerados anteriormente en los que no sea posible determinar el aislamiento final in situ, para dejar constancia del nivel de prestación alcanzado, puede optarse por las siguientes opciones:

- Describirse los elementos sustituidos, modificados o incorporados.
- Especificar los índices de reducción acústica de los nuevos elementos constructivos ejecutados.

- Prescribirse la realización de mediciones in situ al final de la obra, de tal forma que sí se tenga constancia del aislamiento acústico final real alcanzado.

Sin embargo, las mediciones in situ no deben utilizarse como método de verificación del cumplimiento de las exigencias de aislamiento acústico cuando en los recintos se encuentren **elementos constructivos que no se han modificado en la intervención**, por los mismos argumentos expuestos en el párrafo anterior, entre otros:

- Incertidumbre a la hora de precisar los niveles finales alcanzados tras la intervención.
- Existencia de flancos dominantes en los que no se ha podido actuar, ya que la naturaleza de la intervención no contempla estas actuar en estos elementos.
- Existencia de instalaciones pasantes o que comuniquen recintos sobre los que no se ha podido actuar, ya que esta actuación excede del objetivo de la intervención...etc.

4 Criterios particulares de aplicación del DB HR a edificios existentes

Las intervenciones en edificios existentes comprenden una gran cantidad de actuaciones de mejora, que van desde las simples operaciones de mantenimiento en los edificios, hasta las rehabilitaciones integrales. En el CTE se definen tres niveles o tipos de intervenciones: Las obras de mejora, las ampliaciones y los cambios de uso. Según sea el tipo de intervención, así serán los requisitos que deben aplicarse.

A continuación se describen los casos particulares del DB HR y su aplicación a reformas, cambios de uso y ampliaciones:

- **Obras de reforma:** Dentro de las obras de reforma, debería diferenciarse entre las **obras de envergadura importante**, que son aquéllas en las que se modifican sustancialmente y de forma simultánea en los recintos particiones, forjados y envolvente y las **intervenciones parciales**, que son aquéllas en las que se interviene sólo en algún elemento constructivo o recinto del edificio.

En el primer caso, en el caso de las **obra de envergadura importante**, debe aplicarse los requisitos del DB HR, ya que son este tipo de actuaciones son asimilables a un proyecto de obra nueva donde se trata de encajar las nuevas soluciones en la arquitectura preexistente.

Si es técnicamente inviable o se trata de una actuación en un edificio de valor histórico o arquitectónico reconocido, se permite limitar la actuación al mayor nivel de adecuación compatible (criterio de flexibilidad).

En el caso de las **intervenciones parciales**, las exigencias del DB HR se aplican a los elementos constructivos o instalaciones sustituidos, modificados o incorporados. Sin embargo, en intervenciones parciales, puede aplicarse el criterio de flexibilidad si:

- Se trata de un edificio de valor histórico o arquitectónico de carácter reconocido, y la obra esto pudiera alterar de manera inaceptable su carácter o aspecto. Por ejemplo, si los acabados interiores de un recinto están protegidos, es inviable trasdosar las particiones o instalar un suelo flotante.
- Su aplicación no suponga la mejora efectiva de las condiciones de protección frente al ruido. En los párrafos siguientes se da una indicación de cuándo puede lograrse una mejora efectiva de los elementos constructivos al actuar sobre ellos.
- No sea técnica o económicamente viable.
- implique cambios sustanciales en otros elementos que delimitan los recintos sobre los que no se fuera intervenir inicialmente. Véanse párrafos siguientes.

A continuación se da una orientación sobre algunos elementos constructivos cuya modificación y sustitución supone fácilmente la mejora efectiva de las condiciones y el cumplimiento de las exigencias de aislamiento acústico en este DB:

- Las ventanas o lucernarios: La sustitución de ventanas y lucernarios es a veces suficiente para el cumplimiento de las exigencias de fachadas, cubiertas y suelos en contacto con el aire exterior, a menos que la parte opaca sea muy ligera y que el edificio esté situado en una zona con unos niveles de ruido día elevados, $L_d \geq 70$ dB;
- Puertas de acceso a unidades de uso. Para mejorar el aislamiento acústico de recintos separados por puertas, la sustitución de la puerta es la medida más efectiva. El DB HR en su apartado 2.1 expresa los valores de índice de reducción acústica que deben cumplir las puertas entre recintos pertenecientes a unidades de uso diferentes.
- Tabiquería interior y medianerías. En estos casos el DB HR establece exigencias aplicables sólo a elementos constructivos:
 - La tabiquería interior de edificios de viviendas debe tener un índice de reducción acústica $R_A \geq 33$ dBA. Por ejemplo, cuando se redistribuya el espacio en una obra de reforma, la tabiquería debe cumplir con este valor.
 - En el caso de las medianerías, el DB HR establece dos exigencias en el apartado 2.1. Sin embargo, en la opción simplificada, el DB HR indica que un índice de reducción acústica de $R_A \geq 45$ dBA es suficiente para cumplir con las exigencias. Conseguir estos valores en una medianería es sencillo.

El caso de los elementos de separación verticales y horizontales es más complejo, ya el aislamiento acústico conseguido en los edificios depende no sólo de su composición, sino a los diferentes elementos constructivos (forjados, cubierta, fachadas, etc.) que forman el recinto y sus uniones, de forma tal, que una intervención parcial puede o no alcanzar los niveles de aislamiento acústico exigidos en el DB HR o una mejora efectiva de sus prestaciones acústicas. Es por ello que, siempre que esto sea compatible con la intervención, se perseguirá la mejora de los mismos (mayor nivel de adecuación a las exigencias), a pesar de que puedan o no satisfacerse las exigencias de aislamiento acústico establecidas en el DB HR.

En aquéllas intervenciones en la que se introduzca, sustituya o amplíe una instalación o equipo susceptibles de originar ruidos y vibraciones se deben seguir las especificaciones del apartado 2.3 del DB HR para proteger a los usuarios de posibles ruidos y vibraciones.

- **Obras de ampliación:**

Cuando se realice una ampliación a un edificio existente, las zonas ampliadas deben cumplir las exigencias establecidas en el DB HR, ya que la ampliación puede asimilarse una obra nueva, incluso los elementos constructivos que separan la parte ampliada de la parte existente, son considerados pertenecientes a la obra nueva y deben cumplir los requisitos del DB HR, a menos que sea técnicamente inviable o que se trate de un edificio de valor histórico o arquitectónico reconocido. En estos casos, se aplicará el criterio de flexibilidad.

Tal podría ser el caso de un edificio en el que se plantea construir varias plantas por encima. El último forjado existente es parte de la ampliación y debe por lo tanto cumplir las exigencias de aislamiento acústico a ruido aéreo y de impactos. Puede que sea necesario instalar un techo suspendido, pero si con ello la altura libre queda muy reducida, por debajo de los límites admisibles, podría ser posible aplicar el criterio de flexibilidad.

- **Cambios de uso:**

Los cambios de uso globales son asimilables a una obra nueva, por lo tanto, deben cumplirse las exigencias del DB HR.

En el caso de los cambios de uso parciales, el criterio es el de proteger los recintos más sensibles (dormitorios, estancias, aulas, viviendas, etc.) de otros recintos. Así se debe aplicar el DB HR cuando se trate de un cambio de uso a vivienda o cuando fruto de la intervención se generen recintos de actividad o de instalaciones que sean colindantes a una unidad de uso¹.

Sin embargo, si se cambia de uso un local a vivienda, se permite utilizar el criterio de flexibilidad, es decir, limitar la intervención al mayor nivel de adecuación compatible, siempre que sólo pueda actuarse por un lado de la vivienda.

Si se genera un recinto ruidoso debe atenderse a lo que establezcan las ordenanzas y reglamentaciones específicas.

Si el cambio de uso se produce de una actividad a otra que genera niveles de ruido menores que los existentes, las condiciones de protección frente al ruido quedarán establecidas por la propiedad, promotor o proyectista en función de las particularidades de la actividad y de las características de su uso.

5 CONCLUSIONES

Los criterios tratan de delimitar de forma lógica la aplicación del CTE a los edificios existentes. A pesar de que pocas veces se lleva a cabo una intervención por motivos acústicos, toda obra de rehabilitación puede aprovecharse para mejorar las condiciones acústicas de los edificios.

Resumiendo, las exigencias de aislamiento acústico deben aplicarse estrictamente en los siguientes casos (Véase figura 2), ya que se trata de situaciones asimilables a una obra nueva:

- Intervenciones de envergadura importante.
- Ampliaciones.
- Cambios de uso globales.
- Cambios de uso a vivienda o cuando fruto de la intervención de cambio de uso se genere un recinto de instalaciones o de actividad colindante con alguna unidad de uso.

Sin embargo, existen algunos casos en los cuales se permite aplicar el criterio de flexibilidad, es decir, mejorar en la medida de lo posible aunque no se lleguen a cumplir las exigencias del DBHR, estos casos son:

- Intervenciones de envergadura importante en las que el cumplimiento de los requisitos del DB HR sea técnicamente inviable;
- Ampliaciones en las que el cumplimiento del DB HR sea técnicamente inviable;
- En aquellas intervenciones y ampliaciones de edificios protegidos por su valor histórico o arquitectónico, en las que las obras que permitieran el cumplimiento del DB HR alteraran de forma inaceptable su carácter o su aspecto;
- Cambio de uso a vivienda en el caso de que las características de la intervención no permita actuar más que por el interior de la vivienda generada (sin ser ésta colindante a ningún recinto ruidoso).

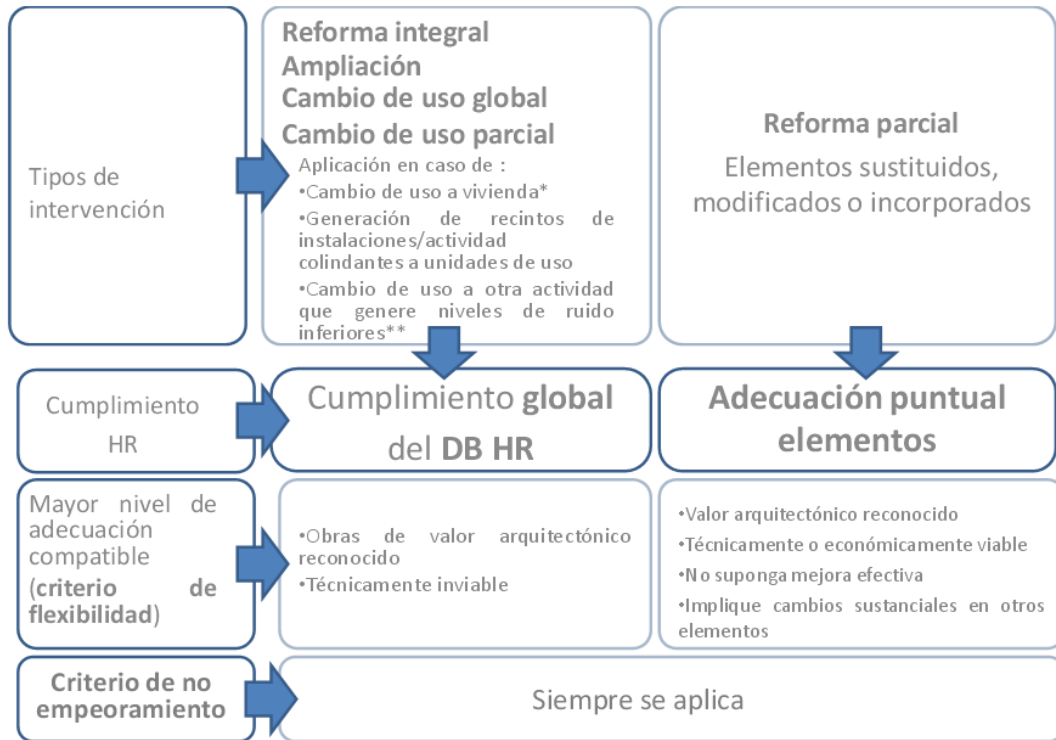
En el caso de las reformas parciales, el DB HR permite limitar la intervención al mayor nivel de adecuación o aplicar el criterio de flexibilidad, siempre que:

- Se trata de un edificio de valor histórico o arquitectónico de carácter reconocido

¹ Según el DB HR, una unidad de uso es un edificio o parte de un edificio que se destina a un uso específico, y cuyos usuarios están vinculados entre, sí bien por pertenecer a una misma unidad familiar, empresa, corporación, bien por formar parte de un grupo o colectivo que realiza la misma actividad. En cualquier caso, se consideran unidades de uso, las siguientes:

- a) en edificios de vivienda, cada una de las viviendas;
- b) en edificios de uso hospitalario, y residencial público, cada habitación incluidos sus anexos;
- c) en edificios docentes, cada aula o sala de conferencias incluyendo sus anexos.

- Su aplicación no suponga la mejora efectiva de las condiciones de protección frente al ruido.
- No sea técnica o económicamente viable.
- Implice cambios sustanciales en otros elementos que delimitan los recintos sobre los que no se fuera intervenir inicialmente.



* aplicable solo si se puede actuar en los dos lados de las particiones verticales u horizontales que separan la vivienda del resto de recintos del edificio.

Aplicable siempre si la nueva vivienda es colindante con un recinto ruidoso.

** las condiciones de protección frente al ruido quedarán establecidas por la propiedad, promotor o proyectista en función de las particularidades de la actividad

Figura 2. Esquema criterios de aplicación a edificios existentes

Métodos de evaluación del DB HR. El IEE como evaluación en la edificación existente

M^a Teresa Carrascal García

Arquitecto. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. CSIC

Amelia Romero Fernández

Ingeniero de Telecomunicaciones. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. CSIC

Belén Casla Herguedas

Ingeniero Técnico Agrícola. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. CSIC

Palabras clave: Informe, evaluación, acústica.

Resumen

El objetivo de esta ponencia es exponer los contenidos y alcance de la parte IV del IEE (Informe de Evaluación del Edificio) relativa a las condiciones acústicas. Este es un informe preliminar orientado a que profesionales de la construcción puedan hacer una evaluación de las condiciones acústicas de edificios de viviendas y detecten aquéllos puntos más problemáticos desde el punto de vista de protección frente al ruido.

El IEE es una lista de chequeo que permite valorar elementos constructivos e instalaciones, en relación a los recintos protegidos de las viviendas y a la posible generación de ruido de los mismos. La parte IV del IEE elaborado por el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja conjuntamente con el Ministerio de Fomento y con la colaboración de Audiotec, puede considerarse una herramienta más para el diagnóstico de viviendas existentes y complementa a las otras herramientas del DB HR: Opción simplificada, Herramienta de cálculo y Guía de aplicación del DB HR protección frente al ruido, que están orientadas a edificios de nueva planta.

1 INTRODUCCIÓN

Esta ponencia se centra en los métodos de evaluación del aislamiento acústico incluidos en el DB HR desde el punto de vista de la redacción del proyecto y de la aplicación de la normativa.

El DB HR contiene dos procedimientos para realizar el diseño y dimensionado de los recintos, que son la opción simplificada y la opción general, que están orientadas al proyecto de edificios de nueva planta.

En el caso de los edificios existentes, toda intervención en los mismos debe empezar por un buen diagnóstico que detecte las deficiencias del edificio. En este sentido, la parte IV del Informe de Evaluación del Edificio (IEE) sobre condiciones acústicas puede servir de ayuda ya que hace hincapié en aquellos aspectos que suelen ser más problemáticos desde el punto de vista del ruido.

Tras el diagnóstico, la intervención debe tener en cuenta todos los condicionantes del edificio, técnicos, urbanísticos, económicos y de protección del patrimonio.

2 El DB HR y los métodos de diseño y dimensionado

El DB HR establece las exigencias de aislamiento acústico aplicables a los edificios.

El DB HR contiene dos opciones de aislamiento acústico, que permiten el diseño de los elementos constructivos de separación. La utilización de las soluciones de aislamiento o el método de cálculo del DB HR, con sus limitaciones, conjuntamente con un buen diseño de los encuentros y una buena ejecución, permiten dar cumplimiento a las exigencias de aislamiento acústico del DB HR.

A continuación se describe brevemente cada una de las dos opciones:

- La opción simplificada, que contiene tablas con soluciones que dan conformidad a las exigencias de aislamiento acústico a ruido aéreo y de impactos.
- La opción general, que consiste en un método de cálculo basado en el modelo simplificado de la norma UNE EN 12354, partes 1, 2 y 3 y para la cual existe una herramienta de cálculo disponible en www.codigotecnico.org.

La tabla 1 muestra una comparativa entre ambas opciones:

En el caso de intervenciones en edificios existentes, la opción general es aplicable a los proyectos de rehabilitación y edificación existente con ciertas condiciones:

- El modelo de cálculo está validado para forjados homogéneos, es decir aquellos forjados de hormigón, macizos o aligerados o mixtos de chapa de acero y hormigón, no siendo aplicable para forjados de madera.
- Deben conocerse los elementos constructivos del edificio existente y sus prestaciones acústicas, es decir, R_A , $L_{n,w}$ y m , masa por unidad de superficie.
- Deben conocerse las uniones entre elementos constructivos desde el punto de vista de la existencia de elementos elásticos que puedan aminorar las transmisiones indirectas o de flancos.

Por el contrario, la opción simplificada es un procedimiento diseñado para obra nueva y salvo excepciones, no resulta de utilidad en los edificios existentes.

Tabla 1. Opciones del DB HR

	Opción simplificada	Opción general
Ámbito de aplicación		
Uso del edificio	Cualquier tipo de edificio, preferiblemente edificios de viviendas.	Cualquier tipo de edificio
Materiales	Sólo aplicable a forjados homogéneos : De hormigón macizo o con elementos aligerantes (bovedillas, casetones) y forjados mixtos de hormigón y chapa de acero. No se aplica a elementos de separación horizontales de vigas de madera o mixtos de hormigón y madera. ²	No existen restricciones ¹ , siempre y cuando se disponga de información veraz sobre el aislamiento acústico de los elementos constructivos y de las uniones entre elementos.
Aplicabilidad	No es necesario realizar cálculos. Simplemente elegir aquellos elementos constructivos adecuados de las tablas de la opción.	El cálculo de aislamiento acústico se realiza por cada pareja de recintos . Lo que obliga a realizar previamente una selección de parejas de recintos del edificio en los que el aislamiento es más desfavorable en función de los volúmenes, superficies y uniones entre elementos. Obliga a realizar los cálculos para ruido aéreo y de impactos simultáneamente.

Ambas requieren el uso del **Catálogo de Elementos Constructivos** o de información³ sobre el aislamiento acústico obtenido en laboratorio de los elementos constructivos.

Además de en el Catálogo de Elementos Constructivos, el aislamiento acústico obtenido en laboratorio de los elementos constructivos puede obtenerse de:

- Mediciones en laboratorio aportadas por fabricantes y realizadas según los procedimientos indicados en la normativa correspondiente;
- La aplicación de métodos de cálculo sancionados por la práctica: Leyes de masa, normas UNE EN 12354, etc.

Se recomienda utilizar ensayos de caracterización de los elementos constructivos al aplicar cualquiera de las dos opciones del DB HR.

3 LA PARTE IV DEL IEE. CONDICIONES ACÚSTICAS

El Informe de Evaluación de los Edificios (en adelante IEE) es un documento en el que se acredita la situación en la que se encuentran los edificios de vivienda colectiva, en relación con su estado de conservación, el cumplimiento de la normativa vigente sobre accesibilidad universal, el grado de su eficiencia energética y las condiciones acústicas.

Aparte de vivienda colectiva, el IEE también puede aplicarse a los edificios destinados a ser ocupados o habitados por un grupo de personas que, sin constituir núcleo familiar, compartan servicios y se sometan a un régimen común, tales como hoteles o residencias.

¹ Las restricciones de la opción general son las mismas que las de la UNE EN 12354. En general este método está basado en la experiencia en viviendas y es aplicable a otros tipos de edificios, siempre que los sistemas constructivos y las dimensiones no sean muy diferentes.

² Sin embargo, la opción simplificada puede utilizarse para fachadas, cubiertas y suelos en contacto con el aire exterior en edificios de estructura de madera, ya que en estos casos, las transmisiones indirectas a través de los elementos constructivos que están conectados a la fachada, cubierta o suelo en contacto con el aire exterior son despreciables.

Están obligados a realizar el IEE los propietarios de viviendas de más de 50 años de antigüedad y los propietarios de cualquier edificio, con independencia de su antigüedad, que pretendan solicitar ayudas públicas para realizar obras de conservación, de accesibilidad universal o eficiencia energética, y siempre con anterioridad a la formalización de la petición de la correspondiente ayuda. Como ayuda en la realización del IEE, los profesionales pueden utilizar la aplicación web disponible en <https://iee.fomento.gob.es/>

En este contexto, la parte IV del IEE sobre condiciones acústicas, es sólo una parte voluntaria que pretende localizar y detectar aquellos puntos críticos problemáticos desde el punto de vista de la protección frente al ruido. Con esto se pretende orientar a aquellos profesionales del sector de la construcción que realizan informes de evaluación u obras de rehabilitación y que no están familiarizados con los conceptos acústicos.

A pesar de ser voluntario, este informe puede ser una oportunidad para guiar a los técnicos en un diagnóstico acústico y que al menos en las intervenciones existentes, se contemplen las condiciones acústicas, que son un aspecto que parece olvidado, pero que afecta a la salud y a la calidad de vida de las personas. De hecho, según la encuesta de condiciones de vida de 2013 el 18,7% de los hogares declaraba sufrir problemas de ruidos provenientes de los vecinos o del exterior, un porcentaje que resultó ser más elevado que el de hogares que declaraba tener otros problemas ambientales, como la contaminación ambiental o la falta de luz.



Figura 1. Aplicación web para la elaboración del IEE. <https://iee.fomento.gob.es/>

3.1 El diagnóstico acústico

Generalmente el término diagnóstico en el contexto de la rehabilitación de edificios suele estar asociado a la existencia de lesiones mecánicas o térmicas, sin embargo, en el caso de las condiciones acústicas, también se puede hablar de un diagnóstico acústico en el sentido de que también es necesario determinar cuáles son los sistemas constructivos del edificio y si sus prestaciones acústicas son las adecuadas. Los pasos para un diagnóstico correcto son:

- Determinar los sistemas constructivos: tipo, materiales, espesor, etc.
- Detectar los daños o aquellos defectos en los sistemas constructivos que pueden disminuir el aislamiento acústico.

- Realizar un análisis del comportamiento acústico de los elementos constructivos y evaluar si es adecuado o no.

Los trabajos que facilitan el diagnóstico son:

- El estudio de la información previa, es decir de la documentación previa, del proyecto de construcción o los sucesivos proyectos de reforma del edificio, si fuera el caso.
- La visita y la realización de otros trabajos de apoyo, como la realización de fotos, catas o de ensayos de aislamiento acústico.
- La realización de encuestas a los usuarios para detectar aquellas fuentes de ruido que resultan más molestas.

En este sentido, el IEE pretende ser una lista de chequeo de los problemas más importantes desde el punto de vista de la protección frente al ruido y que facilite un diagnóstico de las condiciones acústicas. Se trata de poder definir las condiciones constructivas y de ahí, poder valorar si a priori, las viviendas tienen un aislamiento acústico bueno, razonable, regular o deficiente. En el IEE figuran aspectos que están relacionados con el diseño de los edificios y que no pueden considerarse fallos o lesiones, pero que pueden dar lugar a una disminución del aislamiento acústico de los recintos. Por otro lado, muchos de las cuestiones planteadas en el IEE sólo pueden responderse si se realiza una cata.

A pesar de que la parte IV del IEE muestra una valoración global de las condiciones acústicas del edificio, es importante destacar que el aislamiento acústico debe estudiarse recinto a recinto, es decir la situación de cada recinto en particular respecto a las fuentes de ruido, los elementos constructivos y las condiciones de uso del mismo.

3.2 Estructura de la parte IV del IEE

La parte IV del IEE está dividida en cinco apartados. Los dos primeros son descriptivos, ya que en ellos se recoge la información sobre los elementos constructivos y sistemas del edificio. En el resto de apartados, se hace referencia a la valoración de las condiciones acústicas, las recomendaciones de mejora y la documentación que se ha utilizado para realizar el IEE. Los apartados del informe son los siguientes:

- IV.1 Datos generales del edificio
- IV.2 Condiciones de protección frente al ruido (Según CTE-DB-HR), que consta de los siguientes puntos:
 - Ruido exterior: fachadas
 - Ruido interior. Particiones verticales
 - Ruido interior. Particiones horizontales
 - Ruido interior. Uniones
 - Ruido de instalaciones/recintos de actividad
- IV.3 Valoración final de las prestaciones básicas de protección frente al ruido
- IV.4 Recomendaciones para la mejora de la protección frente al ruido, que comprende los siguientes apartados:
 - Medidas de mejora
 - Potencial de las medidas de mejora

- Incidencia de las medidas de mejora sobre otras prestaciones.
- IV.5 Pruebas y comprobaciones realizadas por el técnico.

A continuación se expondrán los aspectos más destacados de cada uno de los puntos que comprende

3.2.1 Datos generales del edificio.

En este apartado deben definirse dos aspectos que resultan fundamentales a la hora de detectar situaciones en las que el ruido puede ser una molestia:

- La ubicación del edificio es importante en relación al nivel de ruido exterior al que están expuestos los recintos protegidos del edificio. En este apartado se pregunta por el tipo de área acústica, el índice de ruido día, el tipo de ruido exterior predominante y si existen fachadas a patios de manzana cerrados, interiores o fachadas exteriores en entornos tranquilos, no expuestas directamente a ruido de automóviles, aeronaves, actividades industriales, comerciales o deportivas.
- La distribución de la vivienda y la ubicación de los recintos protegidos en relación con las fuentes de ruido, tales como escaleras, ascensores, recintos de instalaciones, equipos de instalaciones ubicados en cubiertas o zonas exteriores, etc.

3.2.2 Condiciones de protección frente al ruido

Este apartado del Informe de Evaluación del Edificio recoge todos los datos relativos a los elementos constructivos que conforman el edificio. Cada apartado se estructura de manera que primero aparecen todos los datos relacionados con la descripción de los elementos constructivos y a continuación las características de conservación y posibles patologías y/o deficiencias que puedan presentar y que pueden ser críticas desde el punto de vista del aislamiento acústico.

Algunas de las afirmaciones, especialmente aquéllas relacionadas con la existencia de capas de aislamiento a ruido de impactos, de material absorbente dispuestos de cámaras de los elementos de separación del IEE y los tipo de uniones entre elementos constructivos, no se pueden contestar con la simple inspección ocular del edificio, sería necesario la realización de catas que podrán realizarse en la medida que sea técnica o económicamente viable, o puede recurrirse al menos al estudio de la documentación del proyecto o de los proyecto de reforma que se hayan realizado en el edificio. A pesar de la dificultad de contestar a estas afirmaciones, son cuestiones que resultan relevantes desde el punto de vista del aislamiento acústico y que están incluidas en el IEE, ya que con ellas se pretende también difundir el conocimiento sobre los conceptos acústicos.

Se tratan los aspectos siguientes:

- **Ruido exterior (Fachadas y cubiertas):** se trata de definir y documentar los elementos que conforman la envolvente del edificio, fachada y cubierta en contacto con los recintos protegidos del edificio.

La evaluación se centra en el tipo de ventanas, vidrios, cajas de persiana y resto de elementos que conforman los huecos del edificio, ya que el aislamiento acústico de la envolvente está influido por el aislamiento acústico de las ventanas y lucernarios. La parte opaca de la fachada o cubierta contribuye mínimamente al aislamiento acústico de los recintos y únicamente tiene una incidencia notable en el aislamiento acústico de los recintos, si es ligera (masa por unidad de superficie de menor que 135 kg/m^2) y el edificio está en una zona muy contaminada acústicamente ($L_d \geq 70 \text{ dB}$).

El IEE recoge también el estado de conservación de las ventanas en relación signos de deterioro como holguras, huecos, fisuras, deformaciones, pérdidas de sellado o falta de estanquidad de ventanas y capialzados.

- **Ruido interior:** Este apartado está orientado a describir los elementos de separación verticales, horizontales, sus componentes, sus uniones y la relación de los mismos con el trazado de conductos y tuberías.

Debe definirse el tipo de elemento de separación vertical y su espesor (de una hoja, dos hojas, con o sin bandas, de entramado autoportante o de entramado de madera con relleno de yesones, cascotes, etc.) y también el tipo de elemento de separación horizontal (tipo de forjado, espesor, existencia de suelo flotante o falso techo). Esta información es relevante de cara a evaluar el aislamiento acústico entre viviendas. El caso de los recintos de instalaciones y de actividad, así como la información sobre el falso techo de cuartos húmedos en cuya cámara está la red descolgada de cuartos húmedos, se trata en el apartado IV.2.5 del IEE.

En cuanto al estado de conservación y deficiencias de los elementos constructivos, debe indicarse si estas son generalizadas o sólo se producen en casos puntuales. Algunas de las deficiencias están relacionadas con la existencia de huecos, fisuras y falta de estanquidad de los elementos constructivos. Algunos aspectos que destaca el IEE son:

- La existencia de fisuras y/o grietas, que reducen el aislamiento acústico de las particiones o del falso techo.
- Que el revestimiento (enlucido u otro) o el material absorbente acústico estén deteriorados.
- Que las hojas que forman los elementos constructivos estén conectadas rígidamente por algún elemento, instalación, etc.
- Si existen rozas, que éstas no estén macizadas o retacadas completamente.
- Si se sospecha que existen cajas de mecanismos eléctricos o enchufes enfrentados por ambos lados de la partición, aspecto importante en el caso de particiones de una hoja o de particiones sencillas de entramado, ya que debilita de forma importante el aislamiento acústico de las mismas.
- Si existen cajas de mecanismos eléctricos o enchufes que atraviesan el elemento y son pasantes a ambos lados de la partición, etc.
- Que haya conductos de ventilación compartidos por dos unidades de uso, como se muestra en la figura 2.

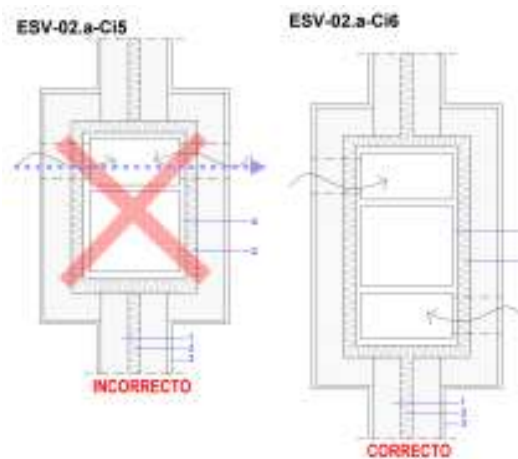


Figura 2. Izquierda. Conducto de ventilación secundario compartido entre viviendas, que da lugar a una transmisión aérea cruzada entre viviendas (violeta). Derecha, disposición correcta de conductos de ventilación de viviendas.

- Falta de sellado de los bordes perimetrales del techo.
- Ausencia de material aislante a ruido de impactos bajo el solado o ausencia del material absorbente acústico en el techo.
- Las instalaciones que discurren por el suelo conectan simultáneamente el forjado y el suelo flotante o conectan el suelo flotante con los paramentos que delimitan los recintos.

- Que el rodapié conecte simultáneamente el suelo flotante y las paredes, Falta de material absorbente acústico en el techo.
- La existencia de luminarias empotradas en el techo. A menos que estén bien selladas, las luminarias suponen una perforación en el techo que disminuye su aislamiento acústico.

Cuando las uniones se diseñan y ejecutan de tal manera que se desolidarizan los recintos, logrando el efecto que en acústica se denomina “caja dentro de la caja” el aislamiento de los recintos aumenta hasta niveles que pueden superar los exigidos en el DB HR. Existe un apartado en el IEE que hace referencia a las uniones entre elementos constructivos. Las preguntas de este apartado no se pueden contestar si no se han realizado catas o se dispone de documentación gráfica suficiente sobre las soluciones constructivas y sus detalles, hecho que no suele ser habitual en el caso de los edificios anteriores a la entrada en vigor del DB HR.

– **Ruido de instalaciones y de recintos de actividad:**

Las instalaciones de los edificios producen simultáneamente ruido aéreo y estructural, siendo éste último el que puede transmitirse a recintos alejados de los lugares donde se originó. En este sentido, el IEE proporciona una evaluación previa que permite detectar las principales fuentes de ruido originadas por las instalaciones siempre que éstas generen una molestia para los usuarios de viviendas, es decir, interfieran en sus actividades cotidianas.

El apartado de instalaciones se divide en varias partes:

- **Recintos de instalaciones y recintos de actividad**
- **Ruido de los equipos de instalaciones**, tales como grupos de presión, calderas, extractores de humos, etc. ubicados en recintos de instalaciones o en el exterior del edificio. Se realizará la evaluación de aquéllos recintos de instalaciones colindantes con viviendas o de los equipos situados en el exterior que pudieran afectar a viviendas próximas;
- **Ruido originado por las redes de conductos y tuberías**, como la red de fontanería, saneamiento o conductos de aire, que circulen por el interior de las viviendas;
- **Ruido producido por otras instalaciones y puntos singulares**, como los ascensores, el saneamiento de cuartos húmedos y las puertas de garaje.

En el apartado de instalaciones aparecen algunos puntos críticos que permiten localizar fallos. La mayoría de las afirmaciones del IEE pueden contestarse con una simple inspección visual o con la documentación de proyecto, si existiera. Además, se han dejado algunas afirmaciones que sólo pueden responderse si se realiza una cata o si por ejemplo se retira el techo suspendido, para incidir en aquéllos puntos clave que pueden afectar a los niveles de ruido originados por las instalaciones.

En lo que respecta a las instalaciones el IEE incide en aquellos aspectos relacionados con el diseño del edificio y del montaje de los equipos y redes y no incide en los aspectos relacionados con el diseño, y dimensionado de los equipos y redes. Debe tenerse en cuenta que, este apartado sólo permite detectar las fuentes de ruido, pero en determinados casos no permite detectar las causas de los problemas. Por ejemplo, los ruidos en la red de distribución de agua pueden deberse a factores que aparecen en el IEE, como a la ausencia de coquillas, o también a causas que no aparecen en el IEE y que son difíciles de evaluar con una inspección, tales como un diseño inadecuado de la red, presión y velocidades excesivas, válvulas mal fijadas...etc. y cuando así sea, con este informe, ninguno de estos orígenes puede detectarse. De la misma manera, mediante la inspección visual de equipos pueden detectarse si hay una bancada o amortiguadores, pero si los componentes del equipo están desalineados o los amortiguadores no son los adecuados, no podrá determinarse el origen de los problemas, a menos que se realizara un estudio específico de la instalación.

Por otro lado, para detectar el grado de molestia de las fuentes de ruido y su gravedad es fundamental, además de la inspección del edificio, accionar las instalaciones y escuchar en los recintos colindantes y /o preguntar a los usuarios o propiedad sobre los problemas de ruido detectados y el grado en el que estos ruidos interfieren en sus actividades cotidianas.

3.2.3 Valoración final de las prestaciones básicas de protección frente al ruido

Para cada uno de los apartados estudiados previamente (ruido exterior, ruido interior y ruido de las instalaciones) debe establecerse una valoración en términos de “Bueno”, “Razonable”, “Regular” y “Deficiente”.

En la edificación hay una casuística muy grande y no se pueden establecer unas reglas fijas en cuanto a la valoración, que debe hacer el técnico basándose en toda la información de los elementos constructivos, sus conocimientos y la información que pudiera haber recabado de los usuarios en relación a las molestias causadas por ruidos el edificio.

Una de las ideas según las cuales puede valorarse las prestaciones de los elementos constructivos de los edificios existentes es el grado de acercamiento a las exigencias actuales de aislamiento acústico establecidas en el DB HR, de tal forma que la siguiente tabla muestra un esquema de valoración:

Tabla 2. Niveles de aislamiento acústico a ruido aéreo y de impactos

Aéreo		Impactos	
Valoración	$D_{nT,A}$ (dBA)	Color/nivel	$L'_{nT,w}$ (dB)
Bueno	≥ 50	Bueno	≤ 65
Razonable	45 – 49	Razonable	70 – 66
Regular	40-45	Regular	75 – 71
Malo	< 40	Malo	> 75

Es importante destacar que esta valoración está pensada para edificios de viviendas y asimilables y no es de aplicación a edificios de otros usos, en los que los parámetros acústicos pueden ser otros.

Este tipo de valoración nos lleva a la siguiente cuestión: ¿Cómo establecer una relación entre la prestación acústica y la descripción constructiva de los elementos constructivos de separación?

En este sentido, la información de mayor calidad es la resultante de un ensayo de aislamiento acústico, pero en ausencia de los mismos podemos dar una serie de indicaciones sobre las prestaciones típicas de los elementos constructivos, siempre que las condiciones de ejecución hayan sido las correctas y que no haya transmisiones indirectas dominantes a través de las cámaras o de los falsos techos. La tabla 3 muestra las prestaciones in situ típicas de algunos elementos constructivos comunes en la edificación española.

La tabla 4 muestra una estimación de los niveles de aislamiento acústico a ruido aéreo y a ruido de impactos de forjado homogéneos, que son los más habituales en la edificación española. Se consideran forjados homogéneos a los forjados de hormigón, ya sea macizos o con elementos aligerantes y los forjados mixtos de chapa de acero y hormigón. En esta tabla no aparecen forjados con suelo flotantes. Debe hacerse notar que no se han indicado los cantos, ni las características de los forjados, sino que dan unos intervalos de masa por unidad de superficie al elemento constructivo, que corresponde a la masa total del forjado más las capas de relleno o nivelación del pavimento que pudiera tener.

Tabla 3. Estimación del aislamiento acústico a ruido aéreo de particiones comunes en la edificación española

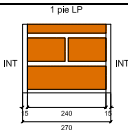
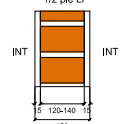
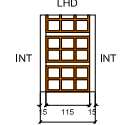
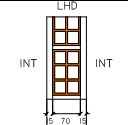
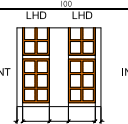
Elemento	Descripción	$m^{(1)}$ (kg/m ²)	$R_A^{(1)}$ (dBA)	$D_{nT,A}$ (dBA)
	Muro de 1 pie de espesor de ladrillo macizo o perforado, enlucido por ambas caras.	≥ 284	50	Razonable
	Muro de medio pie de ladrillo macizo o perforado, enlucido por ambas caras.	150	42	Regular
	Partición de ladrillo cerámico hueco triple de 115 mm, enlucido por ambas caras.	127	40	Deficiente
	Partición de ladrillo cerámico hueco doble de 70 mm, enlucido por ambas caras.	89	36	Deficiente
	Partición de dos hojas de ladrillo hueco doble de 70 mm de espesor, con cámara de 40 mm, sin material absorbente acústico, enlucido por ambas caras.	130	44	Regular
(1) Valores mínimos del Catálogo de elementos del Código Técnico de la Edificación				

Tabla 4. Estimación del aislamiento acústico a ruido aéreo y de impactos de elementos de separación horizontales homogéneos.

Masa del elemento de separación horizontal, m (kg/m ²)	Estimación del aislamiento acústico	
	$D_{nT,A}$ (dBA)	$L'_{nT,w}$ (dB)
200-225	Regular	Deficiente
225-250	Regular	Deficiente
250-275	Regular	Deficiente
275-300	Regular	Deficiente
300-325	Regular	Deficiente
325-350	Razonable	Deficiente
350-375	Razonable	Deficiente
375-400	Razonable	Deficiente
400-425	Razonable	Regular
425-450	Bueno	Regular

3.2.4 Recomendaciones para la mejora de la protección frente al ruido

En este apartado deben proponerse aquellas medidas de mejora de las condiciones acústicas que se consideren necesarias. Debe describirse cada una de las medidas de mejora y valorar si son técnica, urbanística o económicamente viables. También es importante que la valoración se haga en referencia al grado de protección del edificio si fuera el caso.

Para cada una de las medidas de mejora propuestas debe evaluarse el **potencial de mejora** dentro del tipo de ruido que se pretende aminorar: Ruido aéreo, impactos, instalaciones o actividad y ruido exterior.

Otro de los aspectos que resulta importante en el IEE es la incidencia de estas medidas en otras prestaciones, como por ejemplo en el aislamiento térmico del edificio o de la ventilación. Al fin y al cabo, el edificio es uno y las obras de intervención realizadas con un fin concreto, no deben empeorar otras prestaciones del edificio.

3.2.5 Pruebas y comprobaciones realizadas por el técnico

En esta apartado debe detallarse las pruebas realizadas por el técnico para realizar la valoración de las prestaciones acústicas. Estas pruebas pueden comprender:

- La inspección visual del edificio, recintos y sistemas constructivos en busca de puntos críticos y las correspondientes fotografías o planos realizados que documenten el estado del edificio.
- El estudio del proyecto y de cualquier documento relacionado con el edificio y las intervenciones que han tenido lugar en él, en los que se describan los sistemas constructivos del mismo.
- Calas y/o catas
- Ensayos de aislamiento acústico a ruido aéreo, impactos, ruido exterior y de instalaciones, que aunque no son obligatorios, son recomendables en toda obra de rehabilitación para evaluar las condiciones iniciales del edificio, y poder así proponer las medidas de mejora necesarias.
- La realización de encuestas de confort acústico a los usuarios del edificio objeto del IEE.

4 CONCLUSIONES

El DB HR contiene dos procedimientos que permiten el diseño y dimensionado de los elementos constructivos de separación, dichos procedimientos son la opción simplificada y la general, ésta última basada en el método de cálculo de la UNE EN 12354, partes 1,2 y 3. Estas dos opciones son de utilidad en proyectos de obra nueva, pero en intervenciones en edificios existentes, es importante realizar un correcto diagnóstico previo al proyecto de mejora. En este sentido, la parte IV del Informe de Evaluación del Edificio es una herramienta que permite detectar aquellos puntos en los que el aislamiento acústico puede ser desfavorable.

Esta parte del IEE consiste en una lista de chequeo orientada a edificios de viviendas y edificios de usos asimilables como residencias u hoteles.

REFERENCIAS

Aplicación informática para la elaboración del Informe de Evaluación del Edificio. IEE.
<https://iee.fomento.gob.es/>

Carrascal García, M^a Teresa; Romero Fernández, Amelia; Casla Herguedas, Belén. Aplicación de los criterios de aislamiento acústico del CTE a los edificios existentes. Libro de ponencias. Seminario 7. Rehabilitación y habitabilidad. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. CSIC . 2014

Catálogo de Elementos Constructivos del CTE. http://www.codigotecnico.org/web/galerias/archivos/CAT-EC-v06.3_marzo_10.pdf

Documento Básico de Protección frente al ruido (DB HR). www.codigotecnico.org

Guía de aplicación del DB HR.

http://www.codigotecnico.org/web/recursos/documentosadicionales/complementarios/texto_0001.html

Real Decreto 233/2013, de 5 de abril, por el que se regula el Plan Estatal de fomento del alquiler de viviendas, la rehabilitación edificatoria, y la regeneración y renovación urbanas, 2013-2016.

Seminario de Rehabilitación acústica en la Edificación. Soluciones y casos prácticos. Seminario Satélite Tecniacústica 2011. Cáceres

http://www.codigotecnico.org/web/galerias/archivos/SeminarioREHABILITACIONACUSTICA_WEB.pdf

Evolución y cambios en la normativa Europea en acústica de la edificación

María Machimbarrena Gutiérrez

Dpto. Física Aplicada

ETS Arquitectura

Av Salamanca s/n, 47014 Valladolid, Spain

Birgit Rasmussen

SBi, Danish Building Research Institute, Aalborg University (AAU-CPH),

Copenhagen, Denmark.

Patrizio Fausti

Engineering Department, University of Ferrara

Via Saragat 1, 44100 Ferrara (FE), Italy

Acústica de edificios, Aislamiento acústico, Normativa.

Resumen

En pleno siglo XXI la sociedad es consciente de la necesidad de incluir los conceptos de sostenibilidad y eficiencia energética en el sector de la edificación. Gracias a que existe un amplio consenso internacional, la mayor parte de los países desarrollados han establecido fechas límite a partir de las cuales todos los edificios nuevos deberán tener un consumo de energía casi nulo y para ello están desarrollando políticas y medidas financieras orientadas a cumplir los objetivos previstos. Así mismo, existe una gran preocupación a nivel internacional sobre el problema de la contaminación acústica desde el punto de vista medioambiental y también se han desarrollado políticas y medidas financieras destinadas conocer, valorar y mitigar el problema del ruido ambiental.

En Europa las Directivas 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios y 2002/49/CE sobre evaluación y gestión del ruido ambiental desarrollan la política comunitaria en ambos aspectos. Sin embargo, el ruido en nuestras viviendas parece ser un tema "olvidado". Si se observa el panorama internacional, existen muchos países en los que actualmente no existe legislación al respecto, y la que existe difiere sensiblemente de unos países a otros. Es precisamente el problema del ruido en las viviendas lo que ha motivado que tanto desde la red COST TU0901 (<http://www.costtu0901.eu/>) como desde el Comité ISO TC43/SC2 (acústica en la edificación) se esté investigando acerca de procedimientos alternativos de medida y evaluación del aislamiento acústico así como sobre la posible creación de un sistema de clasificación acústica de viviendas que pudiera ser adoptada a nivel internacional.

Parece adecuado de motivar el debate sobre la conveniencia de desarrollar políticas comunes en materia de Acústica de Edificios que pudieran ser integradas con las directrices relativas a la eficiencia energética de edificios y que a la postre redundaran en un beneficio a la sociedad y al ciudadano tanto en lo que a consumo energético respecta como en lo relativo a salud, confort y bienestar en el hogar.

1 ANTECEDENTES

A mediados del siglo XX se planteaba por primera vez una inquietud en el ámbito internacional con respecto al ruido en los edificios y la necesidad de proteger a los usuarios frente al mismo. Es por ello que en 1960 se publica la primera normativa internacional relativa a la medida, tanto en laboratorio como in situ, del aislamiento a ruido aéreo e impacto: ISO Recommendation 140 [1]. Con el tiempo, y en función de los avances tecnológicos y las necesidades, la normativa evolucionó en forma de distintas versiones hasta que en 2006 existían hasta 18 partes diferentes que regulaban otros aspectos como fachadas, ruido debido a la lluvia, cómo medir mejoras al aislamiento debida a trasdosados o recubrimientos, transmisiones laterales etc. [2,3]

La estructura y contenidos de la serie ISO 140 había pasado de un único documento de 11 páginas en 1960 a 18 documentos de aproximadamente 500 páginas en conjunto. Este hecho, junto con el nacimiento de nuevas normas dedicadas a caracterizar la transmisión por flancos [4], estimar el aislamiento de los elementos constructivos [5] y desarrollar nuevas técnicas de medida [6] motivó la revisión profunda de la serie ISO 140.

El ISO TC43/SC2 acordó por tanto en 2006 abordar la revisión de la normativa de medida de aislamiento acústico (serie ISO 140). La primera fase de dicha revisión se centró en la revisión y actualización de todas las normas de medida de aislamiento acústico en laboratorio, las cuales fueron agrupadas en una nueva serie ISO 10140 [3,7] publicada en 2010. La normativa de medida in situ, se agrupará en la nueva serie ISO 16283 cuya parte 1 (ruido aéreo) ha sido aprobada recientemente [8]. La parte 2 (ruido de impacto) [9] está a punto de ser publicada y la parte 3 (fachadas) [10] se encuentra en un estado muy avanzado de revisión (Final Draft International Standard). Las partes 1, 2 y 3 de esta nueva serie sustituirán a las actuales ISO 140-4, ISO 140-7 e ISO 140-5 respectivamente. La ISO 140-14 también quedará incluida en las distintas partes de la serie ISO 16283.

Tabla 1: Reestructuración de la serie ISO 140¹

ISO 140-1 ISO 140-3 ISO 140-6 ISO 140-8 ISO 140-10 ISO 140-11 ISO 140-16 ISO 140-18	ISO 10140 partes 1 a 5
ISO 140-4 ISO 140-5 ISO 140-7 ISO 140-14	ISO 16283 partes 1 a 3
ISO 140-9 ISO 140-12	ISO 10848 parte 2
ISO 140-2	ISO 12999-1

¹ La norma ISO 140-13 fue revisada y cancelada por la ISO 140-14:2004/Cor 1:2007. Las partes 15 y 17 nunca fueron publicadas y se incorporaron como revisiones a la ISO 140 1-3 e ISO 10848 respectivamente.

Por lo que respecta a la ISO 140-2 relativa a la incertidumbre asociada a las medidas de aislamiento, recientemente se ha sustituido por la ISO 12999-1 [11].

Paralelamente, en el ámbito internacional han surgido nuevas inquietudes tales como la clasificación de productos de construcción, sostenibilidad de la edificación y cuestionamiento acerca de la idoneidad y variedad de descriptores objetivos de aislamiento acústico existentes. Por ejemplo, en algunos países del norte de Europa, los parámetros que caracterizan el aislamiento acústico de los elementos de construcción y/o de los elementos constructivos se evalúan considerando el comportamiento acústico de los mismos desde 50 Hz mientras que la normativa de medida [2,7] y evaluación del aislamiento [12] hasta ahora no incorpora procedimientos por debajo de 100 Hz, excepto en forma de recomendaciones.

Por otra parte cabe señalar que ya en 2010, Rasmussen [13,14] denunciaba la gran variedad de descriptores de aislamiento existentes, valores límites exigidos y la necesidad de investigar en este campo con el fin de proponer nuevos descriptores de aislamiento armonizados que incorporaran debidamente las recientes y crecientes demandas de la sociedad. Así mismo puso en evidencia la disparidad y escasez de esquemas de clasificación acústica de viviendas existentes en Europa [14] provocando el debate al respecto. Tanto desde los organismos responsables de normalización, ISO TC43/SC2, como desde muy diversas instituciones y organizaciones se está trabajando para revisar la normativa a partir de la cual se pasa de valores medidos o estimados en frecuencias a valores únicos [12] que son los comúnmente manejados por proyectistas, constructores, legisladores y usuarios finales. En concreto, desde el grupo de trabajo COST TU0901 [15] se ha trabajado a lo largo de un periodo de 4 años para elaborar una propuesta de indicadores de aislamiento acústico consensuados entre un gran número de expertos así como una propuesta preliminar de esquema de clasificación acústica que pudiera ser adoptada a nivel internacional conforme cada país fuera desarrollando su propia legislación en materia de aislamiento acústico. Esta propuesta ha servido de base para la creación de un nuevo grupo de trabajo ISO TC43/SC2/WG 29 "Acoustic classification scheme for buildings" como se explicará más adelante.

2 DESCRIPTORES POSIBLES DE ACUERDO A ISO 717 Y EQUIVALENCIAS

Los descriptores de aislamiento acústico tratan de resumir en un valor único el comportamiento de las diversas soluciones constructivas. Sin embargo el aislamiento acústico es función de la frecuencia y por tanto se estima y mide bien en octavas o tercios de octavas. El hecho de convertir una información expresada en frecuencias en un valor global, conlleva algún tipo de hipótesis, que hará que el valor global resultante refleje en mayor o menor medida la realidad que se desea representar, en este caso el aislamiento.

Según la normativa internacional en vigor, el procedimiento normalizado para calcular el valor global consiste en comparar la curva de aislamiento medida o estimada con una curva de referencia dada siguiendo un determinado procedimiento. El valor global obtenido por este procedimiento se identifica con el subíndice "w" [12]. Por lo que respecta a ruido aéreo y fachadas, la normativa incluye el cálculo de los denominados "términos de adaptación espectral" C y C_{tr} que dan cuenta respectivamente de cómo variarían los valores globales en el caso de que la fuente de ruido fuera predominantemente de un tipo (ruido rosa) o con más peso en bajas frecuencias (ruido de tráfico). Para ruido de impacto se introduce el cálculo del término de adaptación espectral C_i para evaluar el comportamiento del forjado ante estímulos con alto contenido en bajas frecuencias.

Otro procedimiento cada vez más utilizado es efectuar una ponderación espectral basada en las curvas normalizadas de ruido rosa y de ruido de automóviles, ponderadas A, eligiendo el rango de frecuencias de interés para la realización de la ponderación. Por ejemplo para el caso de querer calcular el valor global de una diferencia de niveles estandarizada medida entre 50 y 5000 Hz, se podrían calcular:

$$D_{nTA\ 50-5000} = -10 \log_{10} \sum_k 10^{(L_{Ak} - D_{nTk})/10} \quad (1)$$

$$D_{nT_{Atr}\ 50-5000} = -10 \log_{10} \sum_k 10^{(L_{Atrk} - D_{nTk})/10} \quad (2)$$

Donde en las ecuaciones (1) y (2) el subíndice “k” alude a cada banda de tercio de octava y los valores $L_{A,k}$ y $L_{Atr,k}$ se corresponden con las curvas normalizadas de ruido rosa y de automóviles, ponderadas A, respectivamente. El rango de frecuencias utilizado, por ejemplo, en España cuando se trabaja con ruido aéreo y/o fachadas es entre 100 y 5000 Hz, pero esto no es así en general, como se observará más adelante.

Está demostrado [16–18] que al sumar los términos de adaptación espectral C y C_{tr} a los valores globales de aislamiento obtenidos por el procedimiento normalizado, los resultados son prácticamente idénticos a los obtenidos cuando se efectúa una ponderación espectral basada en las curvas normalizadas de ruido rosa y de ruido de automóviles ponderadas A, siempre y cuando el rango de frecuencias utilizado en ambos casos sea el mismo. Es decir, se cumple por ejemplo:

$$\begin{array}{l} R_w + C_{50-5000} \approx R_{A\ 50-5000} \\ R_w + C_{tr\ 50-5000} \approx R_{tr\ 50-5000} \end{array} \quad \begin{array}{l} R_w + C_{100-3150} \approx R_{A\ 100-3150} \\ R_w + C_{tr\ 100-3150} \approx R_{tr\ 100-3150} \end{array}$$

Es precisamente la posibilidad de determinar los términos de adaptación espectral, entre otras cosas, lo que diversifica la oferta de indicadores de aislamiento acústico hasta límites insospechados.

Tabla 2: Oferta de indicadores de aislamiento según ISO 717² [13]

ISO 717:2013 Descriptores para la evaluación in situ del aislamiento acústico	Aislamiento a ruido aéreo entre recintos (ISO 717-1)	Aislamiento a ruido aéreo de fachadas (ISO 717-1)	Nivel de ruido de impacto (ISO 717-2)
Descriptores básicos (valores numéricos únicos)	R'_{w} $D_{n,w}$ $D_{nT,w}$	$R'_{45,w}$ $D_{2m,n,w}$ $D_{2m,nT,w}$	$L'_{n,w}$ $L'_{nT,w}$
Términos de adaptación espectral	Sin corrección C $C_{50-3150}$ $C_{100-5000}$ $C_{50-5000}$	Sin corrección C C_{tr} $C_{50-3150}$ $C_{tr,50-3150}$ $C_{100-5000}$ $C_{tr,100-5000}$ $C_{50-5000}$ $C_{tr,50-5000}$	Sin corrección C_i $C_{i,50-2500}$
Número total de descriptores	3 x 5 = 15	3 x 9 = 27	2 x 3 = 6

La tabla 2 resume los indicadores que, de acuerdo a la normativa vigente (ISO 717-1 y 2), pueden ser utilizados para evaluar el aislamiento acústico a ruido aéreo, de fachadas e impacto.

Como se puede observar, hay hasta 15 opciones para ruido aéreo, 27 para fachadas y 6 para impacto. Una oferta tan extensa no es compatible con el actual proceso de globalización en el que todos los sectores implicados en el producto “edificio” necesitan hablar y entender un mismo lenguaje: proyectistas, arquitectos, fabricantes de productos de construcción, legisladores y usuarios finales.

Según se deduce de la tabla 2, la gran diversidad de la oferta viene motivada en gran parte por la posibilidad de calcular los términos de adaptación espectral en distintos rangos de frecuencias.

En la mayor parte de los países en los que existe normativa de obligado cumplimiento en materia de aislamiento acústico, los valores regulados se determinan a partir de 100 Hz. Sin embargo el uso de materiales de construcción cada vez más ligeros y con prestaciones acústicas a bajas frecuencias algo más bajas de lo habitual, ha motivado el debate sobre la necesidad de incluir el comportamiento de las soluciones constructivas por debajo de 100 Hz a la hora de calcular los valores globales correspondientes.

² Para fachadas incluso se puede ampliar la oferta si se consideran los parámetros medidos según ISO 140-5

3 EL FUTURO DE LA NORMA ISO 717

Tanto en el seno de ISO como desde el proyecto COST TU0901 se ha trabajado en lanzar alguna propuesta de indicadores y de procedimiento de evaluación de valores globales que pudiera ser comúnmente aceptada. Son muchos los trabajos publicados en los últimos años en esta línea, entre los cuales cabe destacar las propuestas realizada por el coordinador del grupo de trabajo en ISO encargado de actualizar la ISO 717 [19,20]. Esta propuesta sin embargo no ha salido adelante por el momento y se ha pospuesto la modificación de la norma ISO 717 en espera de más resultados científicos sobre la necesidad, efectos y forma de incorporar el comportamiento de las soluciones constructivas a bajas frecuencias en el cálculo de los valores globales de aislamiento [21–23]. El debate, en todo caso, está servido.

Por el momento se cuenta con el fruto del trabajo de COST TU0901, donde se ha redactado una propuesta de indicadores [24] así como una propuesta de traducción entre los descriptores existentes y los propuestos [25]. Como se ve en la tabla 4, se propone mantener la posibilidad de determinar los valores únicos desde 50 Hz o desde 100 Hz, aunque se hace la recomendación de converger a un único parámetro evaluado desde 50 Hz en las sucesivas modificaciones de normativa que se emprendan.

Tabla 4: Resumen descriptores propuestos COST TU 0901 [24]

Magnitud	Parámetro	Rango Frecuencia	Valor único	Notación provisional
Aéreo	D_{nT}	50 o 100 – 3150 Hz	A rosa	$D_{nT,50}$ y $D_{nT,100}$
Impacto	L_{nT}	50 o 100 – 2500 Hz	A pisada / w- curva referencia	$L_{nT,50}$ y $L_{nT,100}$
Fachada	$D_{2m,ls,nT}$	50 o 100 – 3150 Hz	A tráfico (o rosa?)	$D_{2m,nT,50}$ y $D_{2m,nT,100}$
Instalaciones / equipos	$L_{eq,nT}$ y/o $L_{F,max,nT}$	63 – 8000 Hz (octavas)	Ponderación A	$L_{Aeq,nT}$ y/o $L_{AF,max,nT}$

4 SUSTITUCIÓN DE ISO 140-4 POR ISO 16283-1

Ante la perspectiva de que en un futuro el cálculo de los valores globales de aislamiento incorpore los valores en las bandas de tercio de octava por debajo de 100 Hz, era necesario adaptar la normativa de medida de forma que incorporara un procedimiento válido para aquellas situaciones en las que el campo no puede considerarse difuso, solventando también el problema de la medida del tiempo de reverberación a bajas frecuencias.

Desde hace casi dos décadas existen propuestas de procedimientos para realizar medidas de niveles de presión en habitaciones por debajo de 100 Hz [26] y desde entonces ha habido numerosas publicaciones orientados al estudio del comportamiento de los cerramientos y el campos sonoro en habitaciones a bajas frecuencias [27–31]. El conjunto de estos y otros estudios ha dado lugar a alguna de las propuestas que hoy se encuentran en la serie ISO 16283.

El objetivo de la serie ISO 16283 es por lo tanto el de solventar los vacíos que las normas ISO 140-4, 5 y 7 presentaban por lo que respecta a la medida del aislamiento en situaciones en las que el campo no es difuso y así como mejorar el procedimiento de medida con el objetivo de reducir la incertidumbre.

En las situaciones en las que se estima que el campo no es difuso, se introduce un protocolo de medida específico que es de uso obligado sólo en salas cuyo volumen sea menor de 25 m³ y sólo cuando se desee registrar los datos de medida por debajo de 100 Hz. La elección del volumen 25 m³ es de compromiso; de hecho el problema de no existencia de campo difuso a bajas frecuencias también se da en salas más grandes y lo que se ha tratado con esta elección es de reducir el número de situaciones en las que el uso del procedimiento específico de bajas frecuencias es necesario. El Anexo D de la antigua ISO 140-4, establece que cuando se trata de medir hasta 50 Hz, hay que aumentar el número de posiciones de fuente y de micrófonos, las distancias mínimas y los tiempos de promedio. Indica así mismo que en todo caso no se puede esperar condiciones de campo difuso a bajas frecuencias para salas con volúmenes de menos de 50 m³.

Así mismo, la norma ISO 16283 incorpora nuevas propuestas de escaneo manual para el muestreo del campo sonoro y solventa la medida del tiempo de reverberación a bajas frecuencias, proponiendo utilizar el valor del T_r medido en la octava de 63 Hz, para las tres bandas de tercio de octava de 50 Hz, 63 Hz y 80 Hz.

4.1 Procedimiento por defecto (novedades)

Siempre que se trate de medidas en salas de más de 25 m^3 , el procedimiento de medida es bastante similar al descrito en la norma ISO 140 (aunque no idéntico). Por lo que respecta al muestreo espacial del nivel presión sonora, añade nuevas propuestas de escaneo manual.

La figura 3 muestra los cuatro tipos de trayectorias de escaneo manual adicionales propuestos en la norma ISO 16283-1: Trayectoria circular, helicoidal, cilíndrica y en tres semicírculos, ya estudiadas previamente por Hopkins [32,33]. Este procedimiento no está especialmente indicado si el ruido de fondo es excesivamente variable en el tiempo que puede durar un escaneo (1 minuto si se quiere muestrear por debajo de 100 Hz).

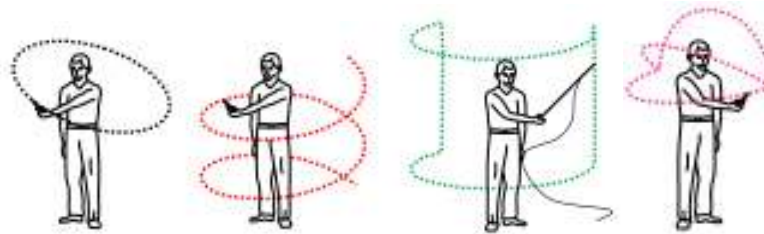


Figura 3: Diferentes tipos de trayectorias de escaneo manual de micrófonos [8]

4.2 Procedimiento específico de bajas frecuencias

El nivel de presión sonora promedio a bajas frecuencias se determina usando los datos obtenidos mediante alguno de los procedimientos “por defecto” junto con datos adicionales obtenidos mediante lo que se denomina “procedimiento específico de bajas frecuencias”.

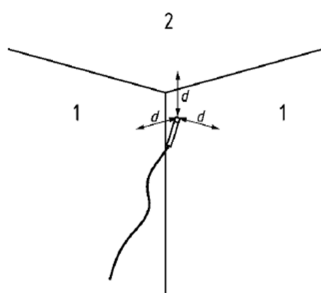


Fig. 4: Procedimiento medida esquina [8]

Este procedimiento obliga a medir (en salas de $V < 25 \text{ m}^3$) en las esquinas de la sala (Fig. 4) y obtener lo que se denomina un nivel de presión en la esquina (L_{esquina}) para las banda de tercio de octava de 50, 63 y 80 Hz. El valor de L_{esquina} depende de si se usa un solo altavoz o varios simultáneamente. En todo caso, y para cada banda de tercio de octava, se debe medir el nivel de presión sonora en cuatro esquinas, dos de ellas en la parte superior de la sala y dos de ellas en la inferior.

Cuando están funcionando varios altavoces simultáneamente se toma como nivel de presión acústica de la esquina el mayor de los valores medidos en cada una de los tercios de octava (50, 63, 80 Hz), independientemente de en qué esquina se ha medido. Cuando funciona un único altavoz y se sitúa en varias posiciones, se determina el valor del nivel de presión acústica de esquina de cada banda de 50, 63 y 80 Hz, a partir de la ecuación (3):

$$L_{\text{esquina}} = 10 \cdot \log \left(\frac{p_{\text{esquina } 1}^2 + p_{\text{esquina } 2}^2 + \dots + p_{\text{esquina } q}^2}{q \cdot p_0^2} \right) \quad (3)$$

Donde q representa el número de posiciones de fuente y cada uno de los sumandos del numerador se corresponde con el valor de nivel de presión sonora máximo obtenido de entre las cuatro esquinas en las que se haya medido, para la banda de tercio de octava de que se trate, en la “ q -ésima” posición de fuente.

Por último, para calcular el valor del nivel de presión sonora a bajas frecuencias, se combina el nivel de esquina L_{esquina} con el valor L obtenido en el tercio de octava correspondiente por el procedimiento elegido por defecto (micrófonos fijos, barridos automatizados, barridos manuales...) mediante la expresión:

$$L_{\text{LF}} = 10 \cdot \log \left[\frac{10^{\frac{L_{\text{esquina}}}{10}} + \left(2 \cdot 10^{\frac{L}{10}} \right)}{3} \right] \quad (4)$$

En todos los casos se especifican distancias mínimas, tiempos de medidas, etc.

Así mismo, por lo que respecta a la medida del tiempo de reverberación, la norma propone utilizar el tiempo de reverberación de la octava de 63 Hz, para las tres bandas de tercio de octava inferiores (50, 63 y 80 Hz) dada la dificultad de medida en tercios de octava.

A la hora de calcular L_{LF} , la norma no especifica claramente el valor de “ L ” que se debe usar (¿promedio de todos los puntos de medida – un único valor de L y por tanto de L_{LF} - o promedio de los puntos de medida para cada una de las posiciones de fuente – dos valores distintos para L y por tanto dos valores distintos para L_{LF})?. Consultados los expertos encargados de la redacción de la norma, sugieren como método más adecuado, el de determinar un valor de L_{LF} para cada posición de fuente y consecuentemente un valor de aislamiento a bajas frecuencias para cada posición de fuente, al igual que se hace en el procedimiento por defecto.

4.3 Otros cambios relevantes incluidos en la nueva ISO 16283-1

Además de lo anteriormente expuesto, la nueva ISO 16283 incorpora algunas especificaciones adicionales introducidas con el fin de minimizar los posibles errores de medida. Algunos de estos cambios pueden afectar directamente a procedimientos prácticos de medida.

En caso de utilizarse un único altavoz y un micrófono, lo cual es lo más habitual en el caso de mediciones in situ, el procedimiento debe ser el siguiente: Se mide el nivel de presión sonora tanto en el recinto fuente como en el recinto receptor para la primera posición de altavoz. Se calcula el nivel de presión acústica promediado energéticamente en ambos recintos para la primera posición de altavoz y se realizan las correcciones por ruido de fondo necesarias. A continuación se calculan las diferencias de niveles o índice de reducción sonora para la primera posición de altavoz. Los niveles de ambos recintos deben medirse antes de mover el altavoz. Se cambia la posición de altavoz y se repite el procedimiento. Es decir las diferencias de niveles o índices de reducción sonora se calculan por separado para posición de altavoz y se promedian después para las distintas posiciones de altavoz. Sin embargo, en la antigua ISO 140-4 y su correspondiente parte de la ISO 140-14, los promedios energéticos del nivel de presión sonora tanto en la sala emisora como en la receptora se podían efectuar para distintas posiciones de altavoz. Esto puede ser de poca importancia si el ruido de fondo es despreciable, pero puede dar lugar a resultados distintos si el ruido de fondo afecta de forma diferente a las distintas posiciones de micrófono.

Es más, con el fin de reducir al máximo el posibles efecto de la distribución modal de la sala cuando se mide usando posiciones fijas de micrófono, la ISO 16283 especifica que en ningún caso dos posiciones de micrófono pueden estar situadas en el mismo plano con respecto a los límites del recinto. Esto quiere decir que cada

posición de micrófono debe seleccionarse modificando la altura del mismo y verificando la distancia a las paredes. Por lo que respecta a las posiciones de altavoz, aplican las mismas condiciones.

5. PRINCIPALES MODIFICACIONES INCLUIDAS EN LA ISO FDIS 16283-2 E ISO FDIS 16283-3

5.1 ISO FDIS 16283-2: aislamiento a ruido de impacto

Como ya se ha comentado, la futura norma ISO 16283-2, sustituirá a la ISO 140-7. Uno de los cambios más significativos en esta norma es la introducción de una nueva fuente de ruido de impactos pesada/blanda: la bola de caucho ya incluida en la ISO 10140-5 así como en la normativa japonesa. La bola de caucho se puede utilizar para evaluar impactos pesados/blandos tales como los producidos por personas que caminan descalzas o por niños saltando, aunque de momento no existe ninguna normativa que permita calcular un valor único de nivel de ruido de impacto a partir de los valores medidos en frecuencia usando una fuente de impacto pesada/blanda. La norma propone medir el nivel de presión acústica máximo utilizando la constante de tiempo rápida y relacionar este parámetro con la molestia percibida por los usuarios.

Por lo tanto, la máquina de impactos normalizada sigue siendo la fuente de ruido de impacto a utilizar a la hora de evaluar el aislamiento a ruido de impacto y determinar un valor único de acuerdo a la norma ISO 717-2. Así mismo las estimaciones obtenidas con la EN 12354 se corresponden con lo que se obtendría usando la máquina de impactos. Dado que las exigencias de aislamiento en la legislación (CTE) vienen dadas a partir de valores únicos y las estimaciones se basan en la EN 12354, parece lógico que los ensayos se sigan realizando con la máquina de impactos como hasta ahora, y se reserve el uso de la pelota de caucho para estudios de específicos orientados al conocimiento del comportamiento de determinadas soluciones constructivas frente a este tipo de impactos pesados/blandos.

Por lo que respecta a la metodología de medida en la sala receptora, esta norma recoge los mismos procedimientos descritos en la parte 1 dedicada a ruido aéreo (ver apartados 4.1, 4.2, 4.3). Es decir, existe tanto un procedimiento por defecto como el específico de bajas frecuencias, y distintas formas de muestrear el campo sonoro en el procedimiento por defecto. Así mismo, cuando se utilizan varias posiciones de fuente, el cálculo de los niveles de presión sonora normalizado o estandarizado se realiza para cada una de las posiciones de fuente y posteriormente se calcula el promedio energético de los valores obtenidos para cada posición de fuente. Cuando la fuente de ruido de impacto es la pelota de caucho, la metodología es la misma pero en este caso el parámetro que se determina es el nivel de ruido de impactos máximo estandarizado ($L'_{i,Fmax,V,T}$) y no cabe utilizar el procedimiento específico de bajas frecuencias pues hasta el momento no se ha demostrado que exista relación entre ninguna combinación de valores de presión sonora máximo medidos en las esquinas y en la zona central de la sala y el valores de presión sonora máximo promediado en todo el volumen de la sala.

5.2 ISO FDIS 16283-3: aislamiento acústico de fachadas

La tercera parte de la serie, dedicada a fachadas, introduce los mismos cambios que las partes 1 y 2 por lo que respecta a los procedimientos de medida por defecto en la sala receptora y procedimiento específico de bajas frecuencias.

El aspecto innovador radica en la definición de dos nuevos parámetros denominados *Diferencia de niveles de un suceso único* estandarizado ($D_{E,2m,nT}$) y normalizado ($D_{E,2m,n}$) respectivamente. Ambos se calculan realizando la diferencia entre el nivel del suceso único en el exterior $L_{E1,2m}$ y el promedio espacial y temporal del suceso único en la sala receptora L_{E2} . Se normaliza bien al tiempo de reverberación de referencia, bien al área de absorción equivalente de referencia. Para el suceso único el tiempo de promediado de referencia es $t_0 = 1s$. Esto podría dar lugar a más posibilidades para calcular los parámetros de aislamiento de fachada (tanto por el método global como el de elementos) usando como fuente sonora el tráfico (automóviles, ferrocarril o aeronaves). La desventaja es que si el suceso único no es completamente reproducible, es necesario realizar las medidas en el exterior y en la sala receptora de forma simultánea.

6. ESQUEMAS DE CLASIFICACIÓN ACÚSTICA DE EDIFICIOS

Un esquema de clasificación acústica sirve para describir distintos niveles de calidad o “clases” por lo que respecta a protección frente a diversos tipos de ruido en las viviendas.

6.1 Usos y ventajas de los esquemas de clasificación acústica de viviendas

Cuando compramos una lavadora, es habitual preguntar cómo está etiquetada respecto al consumo energético (A-G). En Europa es normativo que todas las viviendas que se vendan o alquilen cuenten con un Certificado de Eficiencia Energética el cual asigna una clase energética mediante el etiquetado análogo al del consumo (A-G) [34]. ¿Por qué no plantearse un Certificado de Eficiencia Acústica y su consecuente asignación de clase y etiquetado? ¿Qué ventajas reales aporta?

- La clasificación acústica de viviendas es una potente herramienta para describir las condiciones acústicas y de protección frente al ruido tanto de viviendas de nueva construcción como ya existentes. Proporcionan información objetiva y normalizada acerca de las propiedades acústicas a los posibles usuarios ya en calidad de compradores o inquilinos.
- Es así mismo una herramienta comercial y posible marca de calidad que los promotores y constructores pueden utilizar, garantizando una determinada calidad acústica de la vivienda.
- Puede servir de herramienta para catalogar un edificio antiguo desde el punto de vista acústico antes y después de efectuarse una reforma. Este hecho puede propiciar el esfuerzo adicional que supone incorporar los conceptos de aislamiento acústico cuando se aborda una reforma o rehabilitación lo cual es necesario desde el momento en que se piensa en el proyecto de reforma.
- La existencia de un esquema de clasificación acústica sirve también de herramienta a los legisladores a la hora de definir las exigencias mínimas de aislamiento acústico en su país.
- Ante las iniciativas actuales relativas a la clasificación del ambiente interior (indoor climate classification) y /o de sostenibilidad, las prestaciones acústicas son parámetros que deben ser tenidos en cuenta. Para ello es bueno disponer de un esquema internacionalmente aceptado pues de momento las prestaciones acústicas se incorporan a estas clasificaciones de forma no suficientemente coordinada con las legislaciones vigentes o con los diversos esquemas de clasificación acústica existentes.
- Un etiquetado acústico de las viviendas es muy fácil de asimilar por el público y el sector de la construcción en general dada su analogía con el etiquetado térmico, y ayudará a integrar las especificaciones acústicas de los edificios al mismo nivel que el resto de parámetros de calidad de los edificios tanto nuevos como renovados.

6.2 Esquemas existentes en Europa

En lo sucesivo, se entiende que un esquema de clasificación acústica es un conjunto de al menos tres clases con distintas prestaciones acústicas frente a un mismo evento. En Europa hay diez países que cuentan con un esquema de clasificación acústica de edificios según se resume en la tabla 7. Para cada esquema se detalla el nombre de las clases, el año de publicación desde la primera versión y si existe o no relación directa con los correspondientes códigos de edificación nacionales. Cada uno de los esquemas, determina las clases en función de determinados aspectos acústicos y no siempre son iguales. La referencia [35] describe en detalle los esquemas y criterios de clases utilizados, mientras que las referencias [36,37] se centran más en el aspecto relacionado con las fachadas. Se puede encontrar información completa acerca de los esquemas de clasificación acústica en la referencia [38].

A pesar de que puedan parecer análogas, como por ejemplo NL e IT, en realidad son muy distintos. Incluso los esquemas de los países nórdicos difieren mucho más de lo a la vista de la nomenclatura y número de clases parece [37].

Si se comparan los datos de los diez esquemas de clasificación acústica existentes en Europa y los criterios adoptados para definir las clases [35] se observan diferencias significativas:

- Diversidad de número de clases (entre 3 y 5) y nomenclatura de las mismas.
- Rango y posición de las clases así como “escalones” entre clases.
- Descriptor de aislamiento acústico utilizado para definir las clases, incluyendo el uso o no de los términos de adaptación espectral a bajas frecuencias según ISO 717:2013.[12]
- Mismo o distinta definición de las clases para viviendas en altura (pisos) o unifamiliares (casas bajas adosadas o aisladas)
- Relación directa con exigencias normativas o no.

Tabla 7 – Esquemas de clasificación acústica existentes en Europa y relación con Códigos de la Edificación hasta Julio 2014 -[38]

País	Nomenclatura de las clases ⁽¹⁾	Año de publicación	Reference (última versión)	Link CE/CA	CE Refiere a CA	Comentario
DK	A / B / C / D	2001/2007	DS 490 (2007)	+	Clase C	
FI	A / B / C / D	2004	SFS 5907 (2004)	-	No existente	CE = Clase C
IS	A / B / C / D	2003/2011	IST 45 (2011)	+	Clase C	
NO	A / B / C / D	1997/2005/2008/2012	NS 8175 (2012)	+	Clase C	
SE	A / B / C / D	1996/1998/2004/(*)	SS 25267 (2004)	+	No existente	CE ~ Clase C
LT	A / B / C / D / E	2003	STR 2.01.07 (2003)	+	Clase C	
IT	I / II / III / IV	2010	UNI 11367 (2010)	-	No existente	CE ~ Clase III
DE ⁽²⁾	III / II / I	1994/2007/2012	VDI 4100 (2012) ⁽³⁾	-	No existente	
AT	A / B / C / D / E	2012	ÖNORM B 8115-5 (2012)	-	No existente	CE = Clase C
NL	I / II / III / IV / V	1999	NEN 1070 (1999)	-	No existente	CE ~ Clase III
COST TU0901	A/B/C/D/E/F y npd	Propuesta 2013	ISO/TC43/SC2 (2013)	N/A	No existente	(4)

Abreviaturas: CE = Código Edificación (exigencias normativas); CA = Esquema de clasificación acústica

(1) Las clases se indican en orden descendente: i.e. la mejor clase es la primera.

(2) Además, la Sociedad Alemana de Acústica (DEGA) ha publicado una recomendación (DEGA-Empfehlung 103, “Schallschutz im Wohnungsbau – Schallschutzausweis”, DEGA, March 2009) para etiquetado acústico de las viviendas. El sistema tiene 7 clases desde A* hasta F y un código de colores

(3) La versión revisada de VDI 4100 publicada en 2012 cambió los descriptores de R'_{w} y $L'_{n,w}$ a $D_{nT,w}$ y L'_{nT} . También se elevaron las exigencias de las clases y ahora todas las clases exceden los valores mínimos exigidos por la normativas (con anterioridad, la clase inferior se correspondía con la exigencia normativa).

(4) Propuesta preparada por TU0901 [41]. Ahora New Work Item en ISO [42,43].

(*) Borrador ftSS 25267 con un nuevo esquema de clasificación acústica en proceso de encuesta.

En España existe una iniciativa privada promovida desde AECOR como herramienta para garantizar la calidad acústica de un proyecto constructivo habitacional [39,40].

6.3 Aspectos relevantes a la hora de elaborar un esquema de clasificación acústica

La propuesta desarrollada en el seno de COST TU0901 se basa en el estudio de los esquemas de clasificación acústica de viviendas ya existentes, así como en otras publicaciones y por supuesto el debate basado en la experiencia y necesidades observadas. Antes de pasar a definir las distintas clases hubo que seleccionar los descriptores de aislamiento acústico que se iban a emplear y proponer una traducción entre los descriptores propuestos y los existentes en los distintos países [24,25].

La propuesta completa puede encontrarse en la sección 5.4 de la referencia [41], y es idéntica al ISO NWIP in N1218 [42]. Las características principales del esquema de clasificación acústica de viviendas propuesto desde COST TU0901 son:

- Incluye, al igual que la mayoría de las normativas de edificios, criterios relativos al aislamiento a ruido aéreo, impacto, ruido de tráfico y de otras fuentes de ruido exterior, ruido de instalaciones y tiempo de reverberación en zonas comunes como cajas de escaleras o rellanos.
- Se establecen seis clases A-F, con escalones de 4 dB entre clases. De momento para cada clase se puede optar por calcular los descriptores de aislamiento acústico desde 100 Hz o desde 50 Hz.
- Los descriptores propuestos se basan en la normativa existente [12] aunque se opta por una nomenclatura simplificada para evitar que un criterio se indique como la suma de dos términos.

Las tablas 8 y 9 representan parte de la propuesta de COST TU0901 a modo de ejemplo.

Tabla 8 – Aislamiento a ruido aéreo entre viviendas y/o otros espacios. Límites de las Clases^{(1),(2)} [42].

Tipo of espacio	Class A $D_{nT,50}$ (dB)	Class B $D_{nT,50}$ (dB)	Class C $D_{nT,50}$ (dB)	Class D $D_{nT,50}$ (dB)	Class E $D_{nT,50}$ (dB)	Class F $D_{nT,50}$ (dB)
Entre viviendas y recintos de actividad ⁽³⁾	≥ 68	≥ 64	≥ 60	≥ 56	≥ 52	≥ 48
Entre viviendas diferentes o vivienda y una habitación externa a la vivienda.	≥ 62	≥ 58	≥ 54	≥ 50	≥ 46	≥ 42
NOTAS						
(1) $D_{nT,50} = D_{nT,w} + C_{50-3150}$						
(2) Como alternativa al parámetro $D_{nT,50}$, se puede utilizar el descriptor más comúnmente utilizado $D_{nT,100} = D_{nT,w} + C$. En caso de utilizar $D_{nT,100}$, las clases se denominarán X_{100} , eg. B_{100}, C_{100} etc.						
(3) Se consideran recintos de actividad a aquellos espacios que puedan compartir instalaciones como calderas, servicio de lavanderías comunales, o recintos comerciales como cafés, tiendas, talleres... Sin embargo en cada caso se debe estimar los niveles de emisión y diseñar el aislamiento adecuadamente, por ejemplo en salas de fiestas o discotecas. Las oficinas no se consideran recintos ruidosos.						

Tabla 9 – Niveles de presión de ruido de impacto en viviendas. Límite de las Clases^{(1),(2),(3)} [42]

Tipo of espacio	Clase A $L'_{nT,50}$ (dB)	Clase B $L'_{nT,50}$ (dB)	Clase C $L'_{nT,50}$ (dB)	Clase D $L'_{nT,50}$ (dB)	Clase E $L'_{nT,50}$ (dB)	Clase F $L'_{nT,50}$ (dB)
En viviendas. Ruido de recintos de actividad colindantes ⁽⁴⁾	≤ 38	≤ 42	≤ 46	≤ 50	≤ 54	≤ 58
En viviendas. Ruido de otras viviendas colindantes	≤ 44	≤ 48	≤ 52	≤ 56	≤ 60	≤ 64
En viviendas: - De escaleras y zonas comunes - De balcones, terrazas o baños pertenecientes a otras viviendas	≤ 48	≤ 52	≤ 56	≤ 60	≤ 64	≤ 70
NOTAS						
(1) $L'_{nT,50} = L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$						
(2) $L'_{nT,w}$ debe cumplir los mismos límites.						
(3) Como alternativa al parámetro $L'_{nT,50}$, se puede utilizar el descriptor más comúnmente utilizado $L'_{nT,100} = L'_{nT,w} + C_i$. En caso de utilizar $L'_{nT,100}$ las clases se denominarán X_{100} , eg. B_{100}, C_{100} etc.						
(4) Se consideran recintos de actividad a aquellos espacios que puedan compartir instalaciones como calderas, servicio de lavanderías comunales, o recintos comerciales como cafés, tiendas, talleres... Sin embargo en cada caso se debe estimar los niveles de emisión y diseñar el aislamiento adecuadamente, por ejemplo en salas de fiestas o discotecas. Las oficinas no se consideran recintos ruidosos.						

6.4 Normalización en ISO/TC 43/SC 2: aspectos de debate

Generar una propuesta de esquema de clasificación acústica de viviendas que pudiera ser utilizada en el ámbito internacional ha supuesto indagar a fondo acerca de los esquemas existentes y la filosofía subyacentes en cada una de ellos. A pesar de haber elaborado una propuesta, sin embargo ha quedado patente que algunos aspectos necesitan ser investigados y debatidos en mayor profundidad:

- Los parámetros que delimitan las clases acústicas ¿deben determinarse incluyendo el comportamiento a bajas frecuencias para todas las clases, sólo para las más exigente o en ninguna de ellas?
- ¿Son adecuados los límites y rango (A-F) de las clases propuestas?
- Cuando se trata de valores límite de aislamiento a ruido aéreo e impacto frente a escaleras o zonas comunes, deben ser más o menos estrictos que entre viviendas?
- ¿Es necesario regular el tiempo de reverberación en escaleras y/o zonas comunes?
- ¿Cuántos/qué descriptores utilizar para el ruido de instalaciones? ¿Cómo englobar todas las posibles fuentes?
- Por lo que respecta a la fachada, ¿es mejor limitar el nivel de ruido en el interior, o exigir un aislamiento mínimo de fachada en función del nivel de ruido exterior?
- ¿Debería incluirse el nivel de ruido exterior en los esquemas de clasificación acústica?
- ¿Cómo elaborar un procedimiento de verificación de cumplimiento con una determinada clase?

La propuesta de esquema de clasificación acústica de viviendas elaborada por COST TU0901 se finalizó en Noviembre de 2013 y fue remitida por DIN (Deutsches Institut für Normung -Instituto Alemán de Normalización) al ISO/TC 43/SC 2 y al CEN/TC126 que son los correspondientes comités Internacional y Europeo de Normalización en el ámbito de la acústica en la edificación. En Marzo de 2014 dicha propuesta se aprobó como “Working Item (WI)” [43] y en Mayo se decidió que el desarrollo fuera liderado por ISO. Como consecuencia se creó un grupo de trabajo (WG29) en Septiembre de 2014 que hasta la fecha cuenta ya con expertos nominados desde 20 países diferentes.

7. CONVERGENCIA TERMO/ACÚSTICA: NECESIDAD DE LEGISLACIÓN AL RESPECTO

Como colofón a todo lo anteriormente expuesto, se quiere destacar la necesidad de impulsar la noción de aislamiento acústico de la mano del aislamiento térmico en los edificios. Es evidente que la eficiencia energética y sostenibilidad en la construcción son dos aspectos fundamentales desde un punto de vista económico y social y por ello son prioritarios en el ámbito legislativo. Sin embargo no se debe olvidar que, aunque la prestación acústica de nuestras viviendas no la percibamos cada mes a la hora de pagar la factura de la energía consumida, sin embargo la pagamos cada día en forma de calidad de vida, descanso, intimidad ante nuestros propios sucesos sonoros, salud y ausencia de estrés. Es más, solventar un problema acústico puede resultar hasta más costoso que solventar un problema térmico una vez que la vivienda ha sido construida.

Por otra parte, algunas de las soluciones adoptadas en aras de una mejor eficiencia energética podrían llegar a perjudicar las prestaciones acústicas de un edificio [44,45] por lo cual se recomienda un planteamiento holístico del edificio. Es de desear que en lo sucesivo los legisladores entiendan la necesidad de incorporar el aislamiento acústico en futuras normativas relacionadas con las exigencias y prestaciones de los edificios. Es de desear igualmente que a la hora de legislar se tenga en cuenta la globalización en la estamos inmersos y se procure racionalizar la normativa de forma que sea lo más “global” posible y por tanto inteligible fácilmente por proyectistas, constructores, fabricantes de materiales de construcción y usuarios finales de todo el mundo.

8. AGRADECIMENTOS

A COST por propiciar el marco para el debate entre científicos de toda Europa y a todos los miembros de COST TU0901 por las muchas horas de trabajo en común que han permitido recopilar abundante información sobre el panorama en materia de acústica de edificios en Europa así como lanzar propuestas de trabajo a los organismos internacionales responsables de que la acústica en la edificación no se quede obsoleta y avance de la mano de otros aspectos tan relevantes como la eficiencia energética, el consumo cero y la sostenibilidad en general.

REFERENCIAS

- [1] ISO/R 140:1960, Field and laboratory measurements of airborne and impact sound transmission. 1960.
- [2] ISO 140 - Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements -(parts 1-18). n.d 1998-2006. International Standardisation Body; n.d.
- [3] Rasmussen B, Gerretsen E. Restructuring the ISO 140 series for the future – Background and approach. InterNoise 2005, Rio de Janeiro, Brasil: 2005.
- [4] ISO 10848-4:2010 - Acoustics -- Laboratory measurement of the flanking transmission of airborne and impact sound between adjoining rooms -- Part 4: Application to junctions with at least one heavy element. 2010.
- [5] EN 12354 - Building acoustics - Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements - 2000-2009. n.d.
- [6] ISO 15186 - Acoustics -- Measurement of sound insulation in buildings and of building elements using sound intensity - Parts 1 to 3 - 2000-2003. n.d.
- [7] ISO 10140- Acoustics -- Laboratory measurement of sound insulation of building elements - parts 1 to 5. 2010.
- [8] ISO 16283-1:2014 Acoustics -- Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements -- Part 1: Airborne sound insulation. International Organization for Standardization; 2014.
- [9] ISO/FDIS 16283-2: Acoustics — Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements — Part 2: Impact sound insulation. 2015.
- [10] ISO/DIS 16283-3: Acoustics — Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements — Part 3: Façade sound insulation. 2014.
- [11] ISO 12999-1 Acoustics -- Determination and application of measurement uncertainties in building acoustics -- Part 1: Sound insulation. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization; 2014.
- [12] ISO 717- Acoustics -- Rating of sound insulation in buildings and of building elements -- Part 1: Airborne sound insulation- Part 2: Impact sound insulation. 2013.
- [13] Rasmussen B, Rindel JH. Sound insulation between dwellings – Descriptors applied in building regulations in Europe. Appl Acoust 2010;71:171–80.
- [14] Rasmussen B. Sound insulation between dwellings – Requirements in building regulations in Europe. Appl Acoust 2010;71:373–85.
- [15] COST Action TU0901: Integrating and Harmonizing Sound Insulation Aspects in Sustainable Urban Housing Constructions. <http://www.costtu0901.eu/> n.d.
- [16] Moreno A. The dependence of RW on the shape of the transmission loss curve. Towards a definitive understanding of the correlation between RW and RA. J Sound Vib 1987;117:543–53.
- [17] Parmanen J. Comments on “The dependence of Rw on the shape of the transmission loss curve. Towards a definitive understanding of the correlation between Rw, and RA.” J Sound Vib 1988;124:390–3.
- [18] Mondaca C, Machimbarrena M, Monteiro CRA. Comparison of some global indices to adequately assess airborne sound insulation. Euronoise 2012, 2012.
- [19] Scholl W, Lang J, Wittstockh V. Rating of Sound Insulation at Present and in Future. The Revision of ISO 717. Acta Acust United with Acust 2011;97:686–98.

- [20] Scholl W. Revision of ISO 717: Why Not Use Impact Sound Reduction Indices Instead of Impact sound Pressure Levels? Part 2: Application to Different Impact Sources. *Acta Acust United with ...* 2013.
- [21] Hongisto V, Keränen J. Reproducibility of the present and the proposed single-number quantities of airborne sound insulation. *Acta Acust United ...* 2012.
- [22] Mahn J, Pearse J. The Uncertainty of the Proposed Single Number Ratings for Airborne Sound Insulation. *Build Acoust* 2012;19:145–72.
- [23] Ljunggren F, Simmons C, Hagberg K. Correlation between sound insulation and occupants' perception – Proposal of alternative single number rating of impact sound. *Appl Acoust* 2014;85:57–68.
- [24] Gerretsen E, Dunbavin P. Chapter 3: Proposal of Harmonized Sound Insulation Descriptors. *Build. Acoust. throughout Eur. Vol. 1 Towar. a common Framew. Build. Acoust. throughout Eur., 2014.*
- [25] Dunbavin P, Gerretsen E. Chapter 4: How to Translate Sound Insulation Descriptors and Requirements. *Build. Acoust. throughout Eur. Vol. 1 Towar. a common Framew. Build. Acoust. throughout Eur., 2014.*
- [26] Simmons C. Measurement of sound pressure levels at low frequencies in rooms-Comparison of available methods and standards with respect to microphone positions. Proposal for new procedures. Nordtest Project No. 1347-97. SP Report 1997:273. 1997.
- [27] Osipov A, Mees P, Vermeir G. Low-frequency airborne sound transmission through single partitions in buildings. *Appl Acoust* 1997;52:273–88.
- [28] Maluski S, Gibbs BM. The effect of construction material, contents and room geometry on the sound field in dwellings at low frequencies. *Appl Acoust* 2004;65:31–44.
- [29] Gibbs BM, Maluski S. Airborne Sound Level Difference Between Dwellings at Low Frequencies - Building Acoustics - 11 (1) - 2004; 61-78. *Build Acoust* 2004.
- [30] Hopkins C, Turner P. Field measurement of airborne sound insulation between rooms with non-diffuse sound fields at low frequencies. *Appl Acoust* 2005;66:1339–82.
- [31] Cremonini R, Fausti P. Considerations on low frequencies results of in situ sound insulation measurements. AIA-DAGA -Merano, 2013.
- [32] Hopkins C. Spatial sampling of sound pressure in rooms using manual scanning paths. *Euronoise, Edinburgh: 2009.*
- [33] Hopkins C. The effectiveness of manual scanning measurements to determine the spatial average sound pressure level in rooms. *Internoise, Lisbon: 2010.*
- [34] Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2002, relativa a la eficiencia energética de los edificios. 2002.
- [35] Rasmussen B. Sound classification of dwellings - Quality class ranges and intervals in national schemes in Europe. *Euronoise* 2012, 2012, p. 1178–83.
- [36] Rasmussen B. Facade sound insulation comfort criteria in European classification schemes for dwellings. *EuroNoise 2006, Tampere, Finl., 2006.*
- [37] Rasmussen B. Sound classification of dwellings in the Nordic countries – Differences and similarities between the five national schemes. *BNAM 2012, Odense, Denmark, 2012.*
- [38] Rasmussen B. International proposal for an acoustic classification scheme for dwellings – Background and perspectives. *Internoise 2014, 2014.*
- [39] Espinel A, Frías J, Igualador F. Propuesta de calificación acústica de edificios en España. *Tec.* 2009, 2009.
- [40] Frías J. La necesidad de un sistema de calificación acústica de edificios. *Dir Construcción N° 237; Pag 60 n.d.*
- [41] Rasmussen B, Gerretsen E. Chapter 5: Proposal for an acoustic classification scheme for housing. *Build. Acoust. throughout Eur. Vol. 1 Towar. a common Framew. Build. Acoust. throughout Eur., 2014.*
- [42] ISO/TC43/SC2 N1203 NWIP, Acoustics - Acoustic classification scheme for dwellings (Oct.2013); ISO/TC43/SC2 N1218 Annex to N1203 COST TU0901 Proposal Acoustic Classification (Nov.2013). 2013.
- [43] ISO/TC43/SC2 N1244 Voting results ISO-NP 19488 Acoustic classification scheme for dwellings (March 2014). Note: ISO/TC43/SC2/WG29 was established in Sept. 2014. 2014.
- [44] Ruiz L, Delgado E, Neila FJ, Vega S. Comparativa del comportamiento acústico entre fachadas multicapas ligeras y fachadas tradicionales. *Master Construcción* 2012;62:397–409.
- [45] Carletti C, Scurpi F, Pierangioli L. The Energy Upgrading of Existing Buildings: Window and Shading Device Typologies for Energy Efficiency Refurbishment. *Sustainability* 2014;6:5354–77.

Silensis: paredes de ladrillo de alto aislamiento

Ana Ribas Sangüesa

Ingeniera Agrónomo. Asociación española de fabricantes de ladrillos y tejas de arcilla cocida. Hispalyt

Palabras clave: ladrillo, bandas elásticas, acústica.

Resumen

Hispalyt, Asociación Española de Fabricantes de Ladrillos y Tejas, tiene como objetivo, entre otros, la innovación e investigación para el desarrollo de nuevos productos y sistemas constructivos cerámicos de prestaciones mejoradas.

El sistema SILENSIS es el resultado de un proyecto de investigación de más de 3 años, impulsado por Hispalyt y llevado a cabo conjuntamente por el Centro Tecnológico LABEIN Tecnalía, el Instituto de Acústica Torres Quevedo (CSIC) y el Instituto Eduardo Torroja Ciencias de la Construcción (CSIC).

Bajo la marca SILENSIS se engloban las soluciones de paredes separadoras y tabiquería interior, que cumplen con las exigencias de aislamiento acústico del Documento Básico de Protección frente al ruido (DBHR) del Código Técnico de la Edificación (CTE).

En esta comunicación se recoge una descripción del comportamiento acústico de las distintas soluciones Silensis para obra nueva y de rehabilitación.

1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de los últimos años los fabricantes de cerámica estructural, a pesar de la difícil situación por la que atraviesa el sector, han apostado por el I+D+i para ofrecer nuevos productos y sistemas constructivos cerámicos.

La aprobación del Código Técnico de la Edificación (CTE), con el consiguiente aumento de exigencias en las prestaciones de los edificios, ha promovido la búsqueda de productos y sistemas constructivos de prestaciones mejoradas. Un ejemplo de ello es el sistema constructivo SILENSIS de paredes cerámicas de alto aislamiento acústico, el cual surge para garantizar el cumplimiento de las exigencias de aislamiento acústico del Documento Básico de Protección frente al ruido (DB HR) del CTE. El sistema SILENSIS es el resultado de un proyecto de investigación de más de 3 años, impulsado por Hispalyt y llevado a cabo conjuntamente por el Centro Tecnológico LABEIN Tecnalia, el Instituto de Acústica Torres Quevedo (CSIC) y el Instituto Eduardo Torroja Ciencias de la Construcción (CSIC).

Este sistema constructivo se fundamenta en el empleo de paredes separadoras de una, dos o tres hojas de ladrillo, de todo tipo de formatos, pequeño y gran formato, con bandas elásticas en las uniones con otros elementos constructivos, forjados, pilares, fachadas, etc., en función de la solución constructiva de que se trate. La colocación de estas bandas elásticas en las uniones de las paredes con otros elementos constructivos atenúa determinadas transmisiones de ruido, mejorando con ello el aislamiento acústico entre recintos en horizontal o en vertical, según sea el caso. SILENSIS permite cumplir las exigencias acústicas del CTE empleando paredes de ladrillo de espesores y masas semejantes a las empleadas hoy en día, llevando a cabo ligeras modificaciones en el sistema de montaje tradicional.

Cabe resaltar, que las paredes SILENSIS, además de ser soluciones muy económicas y de altas prestaciones acústicas, mantienen otras muchas características técnicas de gran importancia inherentes a los productos cerámicos, relativas al aislamiento térmico, comportamiento frente al fuego, resistencia a cargas suspendidas y seguridad frente al intrusismo.

2. SISTEMA CONSTRUCTIVO SILENSIS: PAREDES CERÁMICAS DE ALTO AISLAMIENTO ACÚSTICO.

2.1. Tipos de soluciones Silensis

Las soluciones de paredes separadoras SILENSIS son las siguientes:

- Silensis Tipo 1A: una sola hoja pesada apoyada (sin bandas elásticas).
- Silensis Tipo 2A: dos hojas ligeras con bandas elásticas perimetrales en ambas hojas y material absorbente en la cámara.
- Silensis Tipo 2B: una hoja pesada apoyada con un trasdosado ligero con bandas elásticas perimetrales y material absorbente en la cámara a un lado.
- Silensis 1B: una sola hoja pesada apoyada con un trasdosado ligero con bandas elásticas perimetrales y material absorbente en la cámara por cada lado.

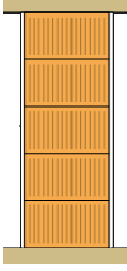
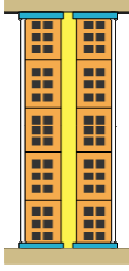
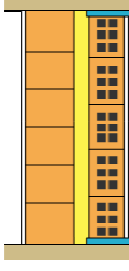
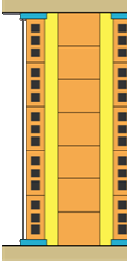
Paredes separadoras para cumplir CTE DB HR			
1 hoja	2 hojas		3 hojas
Silensis Tipo 1A	Silensis Tipo 2A	Silensis Tipo 2B	Silensis Tipo 1B
			
1 sola hoja pesada apoyada (Sin bandas elásticas)	2 hojas ligeras con bandas elásticas perimetrales en ambas hojas y material absorbente en la cámara	1 hoja pesada apoyada con un trasdosado ligero con bandas elásticas perimetrales y material absorbente en la cámara por un lado	1 hoja pesada apoyada con un trasdosado ligero con bandas elásticas perimetrales y material absorbente en la cámara por cada lado
Tipo 1 del CTE DB HR	Tipo 2 del CTE DB HR	Tipo 2 del CTE DB HR	Tipo 1 del CTE DB HR

Figura 1.- Paredes separadoras Silensis

Las soluciones SILENSIS Tipo 1A, Tipo 2A, Tipo 2B y Tipo 1B son válidas para ser empleadas como paredes separadoras entre viviendas y paredes separadoras entre viviendas y zona común.

Las soluciones SILENSIS Tipo 2B y Tipo 1B además son válidas para ser empleadas como paredes separadoras entre viviendas, paredes separadoras entre viviendas y zona común, y paredes separadoras entre viviendas y recintos de instalaciones o de actividad.

Las soluciones de tabiquería interior SILENSIS son similares a las soluciones de tabiquería interior empleadas hasta ahora, pero con bandas elásticas en la base y/o en vertical.

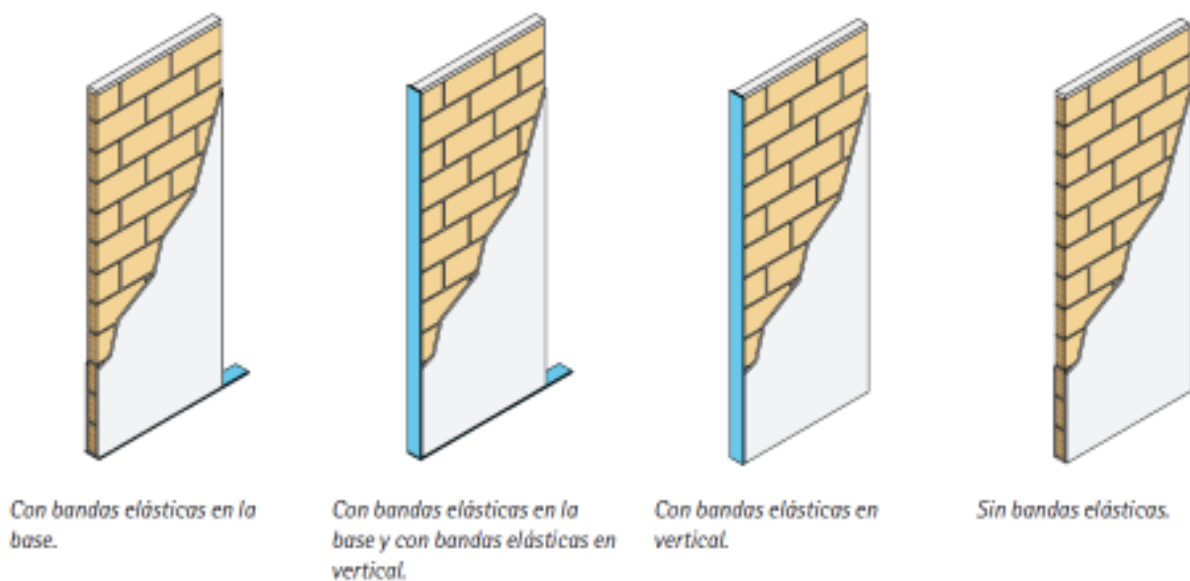


Figura 2.- Tipos de tabiques Silensis.

Tanto las soluciones de paredes separadoras Silensis, como las soluciones de tabiquería interior Silensis, son válidas para todo tipo de formatos de ladrillos, de pequeño y de gran formato.

2.2. Aislamiento acústico de las soluciones Silensis

2.2.1. Comportamiento acústico de las paredes separadoras de una hoja: Silensis Tipo 1A

En un ensayo en laboratorio de una pared separadora de una sola hoja, el aislamiento acústico de la solución viene caracterizado por el aislamiento acústico del camino de transmisión del ruido 1 (R1). Véase figura 3.

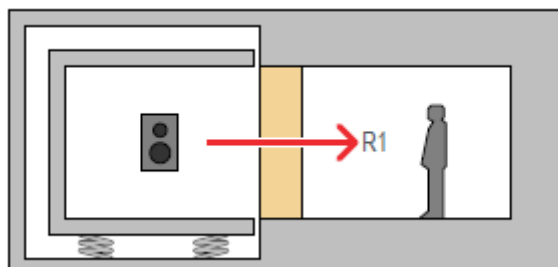


Figura 3.- Medida en laboratorio del aislamiento acústico a ruido aéreo de una pared de una hoja:
R directo = R laboratorio = R1.

Para aumentar el aislamiento acústico del camino de transmisión 1 (R1), generalmente es necesario recurrir a paredes de mayor masa y espesor. Otra vía de mejora habitualmente empleada que conlleva importantes aumentos de aislamiento acústico en este tipo de soluciones, es la aplicación de revestimientos o de trasdosados directos sobre las fabricas.

2.2.2. Comportamiento acústico de las paredes separadoras de dos o tres hojas: Silensis Tipo 2A, 2B y 1B.

En un ensayo en laboratorio de una pared separadora de doble hoja con montaje tradicional, sin bandas elásticas, el aislamiento acústico de la solución viene caracterizado por el aislamiento acústico de dos caminos de transmisión del ruido:

- Camino de transmisión 1 (R1): ladrillo-cámara-ladrillo
- Camino de transmisión 2 (R2): ladrillo-flanco-ladrillo

Véase figura 4.

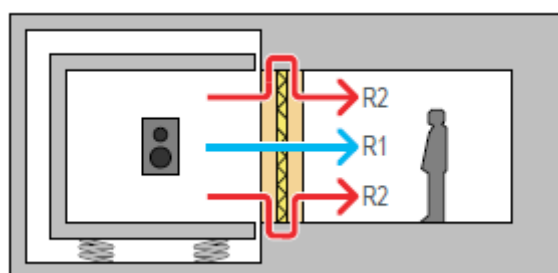


Figura 4.- Medida en laboratorio del aislamiento acústico a ruido aéreo de una pared de dos hojas sin bandas elásticas:
R directo = laboratorio = R1 + R2.

De los dos caminos de transmisión del ruido que se producen en las paredes dobles, el principal es el camino de transmisión 2 (R2), también denominado "puente acústico estructural".

El "puente acústico estructural" limita el aislamiento acústico de la pared doble, siendo el motivo por el cual, por mucho que se empleen diferentes tipos de materiales absorbentes y ladrillos, o se aumente el espesor de la cámara, no se mejora sustancialmente el aislamiento acústico de la pared doble.

Para aumentar el aislamiento acústico de las paredes dobles es necesario interrumpir el puente acústico estructural. Para ello, basta con llevar a cabo un sencillo cambio en el sistema de montaje consistente en la colocación de bandas elásticas en el perímetro de una o de las dos hojas de la pared. Véase figura 5.

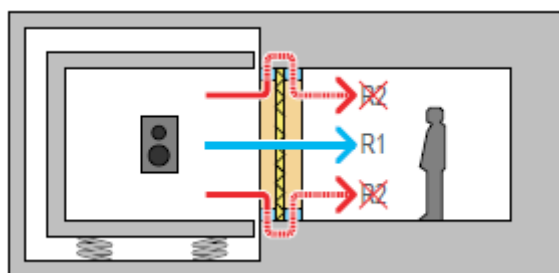


Figura 5.- Medida en laboratorio del aislamiento acústico a ruido aéreo de una pared de dos hojas con bandas elásticas perimetrales en ambas hojas. Interrupción del puente acústico estructural: $R \text{ directo} = R \text{ laboratorio} \approx R1$.

La colocación de bandas elásticas en el perímetro de una o de las dos hojas de una pared doble mejora el aislamiento acústico a ruido aéreo en laboratorio entre 10 y 15 dBA con respecto al de una pared doble con el sistema de montaje tradicional.

El “puente acústico estructural” que en el laboratorio se forma por la unión rígida de las dos hojas de la pared separadora a través del marco portamuestras, en obra se forma a través de todos los elementos de flanco a los que acomete la pared separadora. Por ello, para asegurar un buen aislamiento acústico de la pared separadora, es necesario colocar bandas elásticas en el encuentro de las hojas de la pared separadora con el forjado superior, el forjado inferior, los pilares, la fachada, o cualquier otro elemento al que acometan, evitando que las dos hojas de la pared se unan rígidamente entre sí. Véase figura 6.

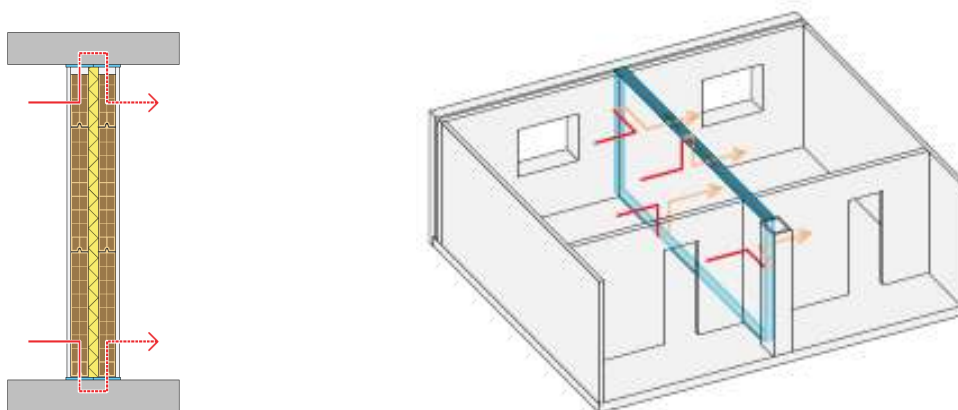


Figura 6.- Pared separadora Silensis Tipo 2A: pared doble con bandas elásticas perimetrales en las dos hojas. Interrupción del puente acústico estructural.

En las soluciones de dos o tres hojas Silensis, en las que una de sus hojas es una pared pesada, como ocurre en el caso de las separadoras Silensis Tipo 2B y 1B, sólo es necesario colocar bandas elásticas en el perímetro de las hojas ligeras, siendo la colocación de estas bandas suficiente para la interrupción del puente acústico estructural entre las hojas de la pared. Véase figura 7 y figura 8.

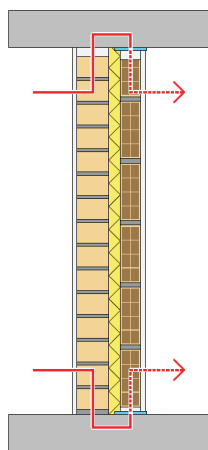


Figura 7.- Pared separadora Silensis Tipo 2B: pared doble con bandas elásticas perimetrales en la hoja ligera. Interrupción del puente acústico estructural.

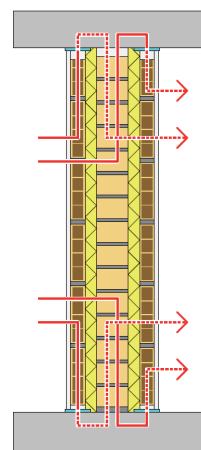


Figura 8.- Pared separadora Silensis Tipo 1B con bandas elásticas perimetrales en las dos hojas de ladrillo hueco. Interrupción del puente acústico estructural.

2.2.3. Colocación de bandas elásticas en la tabiquería Silensis.

Los tabiques y hojas interiores de fachada y medianería, en función del tipo de edificio y del tipo de separadoras a las que acometen, pueden tener o no que llevar bandas elásticas en la base y/o en vertical.

La colocación de bandas elásticas en la base de las paredes mejora el aislamiento acústico entre dos recintos colindantes verticalmente.

Si bien el elemento separador a través del cual se produce la transmisión directa de ruido entre dos recintos colindantes verticalmente es el forjado, a través de los elementos de flanco (paredes separadoras, tabiques, fachadas o medianerías, según sea el caso), se producen transmisiones indirectas de ruido que, en función del aislamiento acústico de las paredes y del modo de unión de estas al forjado, tendrán una mayor o menor influencia en el aislamiento acústico entre recintos. Para reducir dichas transmisiones de ruido, bien se pueden emplear paredes de mayor aislamiento acústico, y en consecuencia, generalmente, más pesadas y de mayor espesor, o bien, se pueden colocar bandas elásticas en el encuentro de las paredes con el forjado. Véase figura 9.

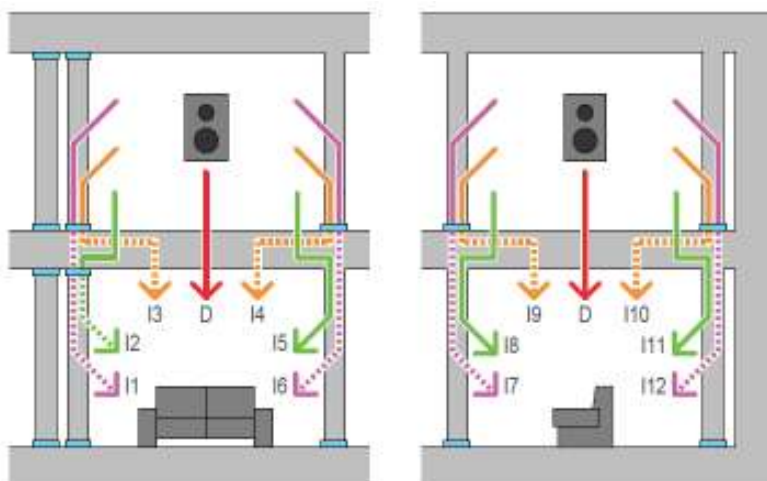


Figura 9.- Transmisiones de ruido in situ entre dos recintos colindantes verticalmente con colocación de bandas elásticas en el encuentro de las fábricas con los forjados: transmisiones directas (D) e indirectas (I).

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

La necesidad de colocar bandas elásticas en vertical, en la unión de los tabiques y hojas interiores de la fachada y medianerías con una pared separadora, depende de si la pared separadora a la que acometen es de una, dos o tres hojas.

Cuando los tabiques y hojas interiores de fachada y medianería acometen a una pared separadora de una sola hoja Silensis Tipo 1A, las transmisiones de ruido a través de los mismos pueden ser críticas, haciendo que el aislamiento acústico entre los dos recintos no sea el exigido. La colocación de bandas elásticas en vertical reduce dichas transmisiones de ruido, mejorando el aislamiento acústico en horizontal. Por ese motivo, siempre que los tabiques y hojas interiores de la fachada y medianerías acometan a una pared separadora de una sola hoja Silensis Tipo 1A, deberán llevar bandas elásticas en vertical en el encuentro con la pared separadora. Véase figura 10.

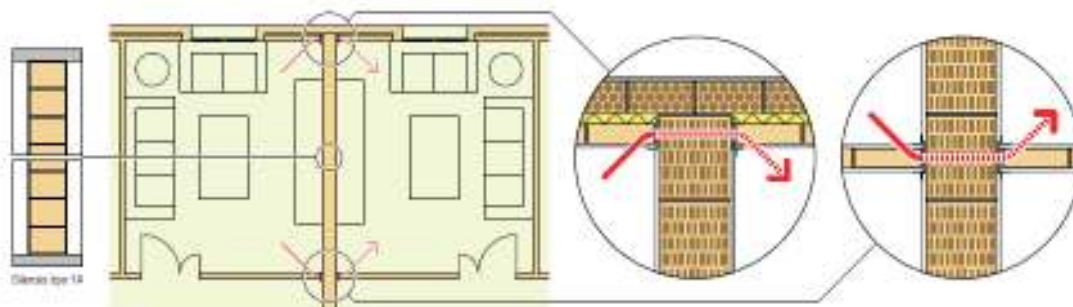


Figura 10.-Separadora de una hoja Silensis Tipo 1A: bandas elásticas en el encuentro de tabiques y hojas interiores de la fachada con la separadora.

Es importante destacar que en estos casos, sólo deben disponerse las bandas elásticas en vertical en este encuentro, pero no en el resto de encuentros entre tabiques y hojas interiores de la fachada o medianerías del edificio. Véase figura 11.

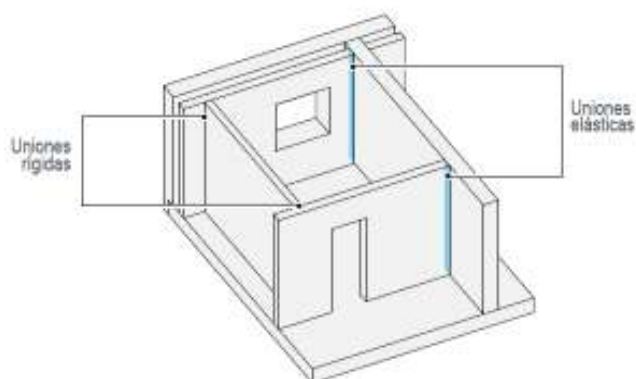


Figura 11.- Edificio con pared separadora de una hoja Silensis Tipo 1A: bandas elásticas en el encuentro de tabiques y hojas interiores de la fachada con la pared separadora.

Cuando los tabiques y las hojas interiores de la fachada o medianería acometen a una pared separadora de dos hojas Silensis Tipo 2A o 2B, la transmisión de ruido a través de los mismos, se atenúa en la cámara de la doble hoja. Por ello, la unión de los tabiques y hojas interiores de la fachada o medianería a una pared separadora de dos hojas (Silensis Tipo 2A o 2B), se debe realizar “rígidamente” mediante traba o a testa, según corresponda. Véase figura 12.

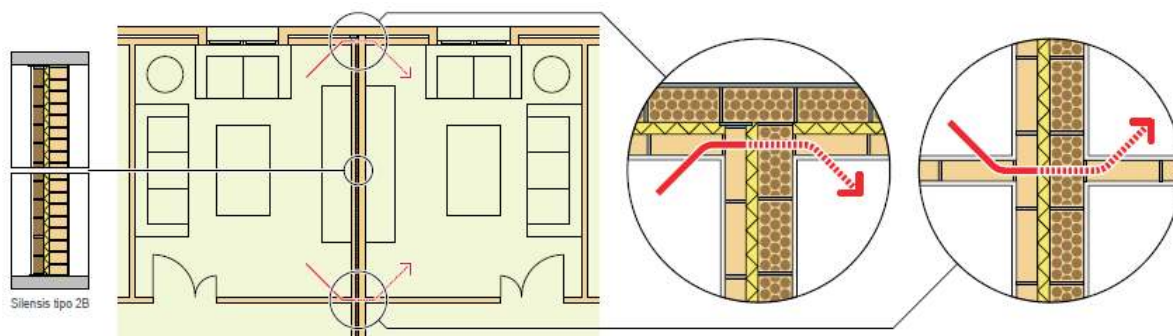


Figura 12.- Unión rígida de los tabiques y hojas interiores de la fachada con una separadora Silensis Tipo 2A.

A continuación, con el fin de ilustrar lo dicho anteriormente en relación a la colocación de bandas elásticas en las paredes Silensis, a modo de ejemplo se incluye la planta de dos edificios en los que se han empleado distintos tipos de paredes separadoras Silensis, indicando aquellos encuentros en los que es necesaria la colocación de bandas elásticas. Véase figura 13 y figura 14.

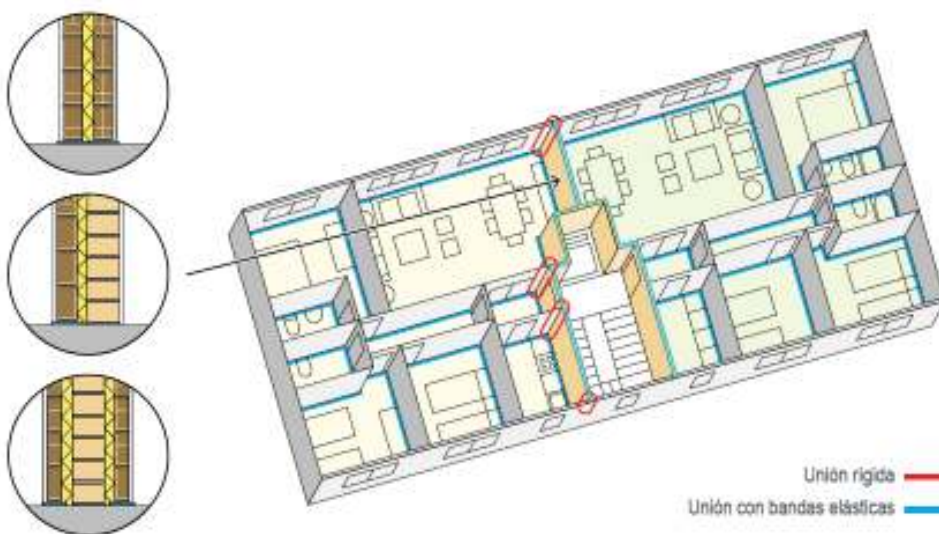


Figura 13.- CASO 1: separadora entre viviendas de dos o tres hojas y edificio con exigencia de aislamiento acústico en vertical. Colocación de bandas elásticas en los tabiques y hojas interiores de la fachada.



Figura 14.- CASO 2: separadora entre viviendas de una hoja y edificio sin exigencia de aislamiento acústico en vertical. Colocación de bandas elásticas en los tabiques y hojas interiores de fachada.

2.2.4 Ensayos de aislamiento acústico en laboratorio e in situ de las paredes Silensis

Con el fin de caracterizar acústicamente las soluciones Silensis, se han realizado múltiples ensayos de aislamiento acústico en distintos laboratorios (Laboratorio del Gobierno Vasco, Instituto de Acústica Torres Quevedo, Acusttel, etc.) con distintos tipos de ladrillos, bandas elásticas y materiales absorbentes. Véase Tabla 1.

En el caso de tabiques interiores se han obtenido resultados por encima de los 33 dBA que establece el DB HR del CTE.

En el caso de paredes separadoras se han obtenido resultados desde los 53 dBA hasta los 70 dBA, en función del tipo de solución SILENSIS, del tipo de ladrillo, del material absorbente, del material de banda elástica, etc.

Tabla 1. Ensayos en laboratorio de las paredes Silensis

Tipo de pared Silensis	Descripción de la pared Silensis	RA (dBA)
Silensis Tipo 1A (Una hoja sin bandas elásticas)	ENL + BC24cm + ENL	51
	ENL + BC29cm + ENL	52
	ENF + ENL + BC24cm + ENL + ENF	54
Silensis Tipo 2A (Dos hojas con bandas elásticas perimetrales)	ENL + LHGF7cm BpEEPS + LM4cm + LHGF5 cm BpEEPS + ENL	53
	ENL + LHGF7cm BpEEPS + LM4cm + LHGF7 cm BpEEPS + ENL	56
	ENL + LHD7cm BpEEPS + LM4cm + LHD7cm BpEEPS + ENL	54
	ENL + LHD8cm BpEEPS + LM4cm + LHD8cm BpEEPS + ENL	56
	ENL + LHGF9cm BpEEPS + LM4cm + LHGF9cm BpEEPS + ENL	56
	ENL + PPCY6cm BpEEPS + LM6cm + PPCY6cm BpEEPS + ENL	56
Silensis Tipo 2B (Dos hojas con bandas elásticas perimetrales en la hoja ligera)	ENL + LP11,5cm + LM 4cm + LHS5cm BpEEPS + ENL	62
	ENL + LP11,5cm + LM 4cm + LHD7cm BpEEPS + ENL	61
	ENL + BC14cm + LM 4cm + LHS5cm BpEEPS + ENL	63
Silensis Tipo 1B (Tres hojas con bandas elásticas perimetrales en las 2 hojas exteriores)	ENL + LHGF5cm BpEEPS + LM 4 cm + LP11,5cm + LM 4cm + LHGF5cm BpEEPS + ENL	70
Tabiques interiores Silensis	ENL + LHGF7cm + ENL con rozas	34
	ENL + LHD7cm + ENL con rozas	35

BC: Bloque cerámico machihembrado; LP: Ladrillo perforado; LHS: Ladrillo hueco sencillo de pequeño formato; LHD: Ladrillo hueco doble de pequeño formato; LHGF: Ladrillo hueco de gran formato; LM: Lana mineral; ENL: Enlucido y guarnecido de yeso; ENF: Enfoscado de mortero de cemento; BpEEPS: Bandas elásticas perimetrales de EEPS

Partiendo de estos valores de aislamiento acústico en laboratorio, con un diseño adecuado y una correcta ejecución en obra, se puede garantizar el cumplimiento de los requerimientos de aislamiento acústico in situ establecidos por el DB HR del CTE. Así lo demuestran los ensayos en obra realizados por Hispalyt durante la investigación y en posteriores promociones de viviendas, en los que en todos los casos se han cumplido las exigencias de aislamiento acústico, tanto a ruido aéreo como de impactos, que establece el CTE.

2.3. Soluciones Silensis para rehabilitación acústica.

Las soluciones SILENSIS se pueden aplicar a obras de rehabilitación arquitectónica, en las cuales, en la medida que sea posible, siempre se debe tratar de mejorar las condiciones acústicas del edificio original.

En la gran mayoría de los casos de los edificios a rehabilitar, partiremos de una pared separadora 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 cara o por las dos caras de la pared separadora de partida, dependiendo de la reforma a realizar. (Vease Figura.-)

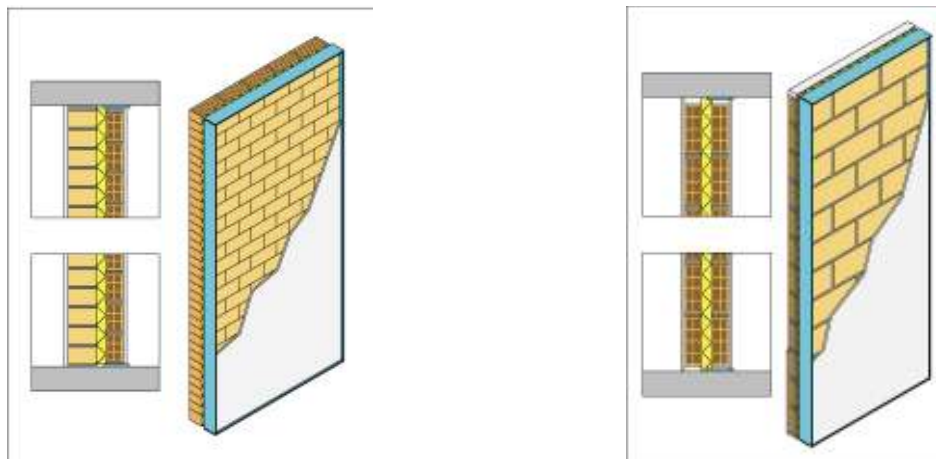


Figura 15.- Aplicación de un trasdosado cerámico con bandas elásticas perimetrales sobre distintas paredes base.

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, de acuerdo con los resultados de los ensayos de aislamiento acústico a ruido aéreo en laboratorio realizados por Hispalyt, en la mayoría de los casos se superan los 16 dBA.

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

2.4. Comportamiento térmico, mecánico y frente al fuego de las soluciones Silensis

Durante el desarrollo del proyecto, no sólo se han tenido en cuenta los aspectos acústicos, también otras cuestiones técnicas como el aislamiento térmico, la estabilidad y el comportamiento frente al fuego, han sido estudiadas en profundidad con resultados muy satisfactorios.

En relación al cumplimiento de las exigencias térmicas del Documento Básico de Ahorro de energía (DB HE) del CTE, las soluciones Silensis de dos o tres hojas (Silensis Tipo 2A, Silensis Tipo 2B y Silensis Tipo 1B), son válidas para ser empleadas como paredes separadoras entre viviendas, entre viviendas y zonas comunes, o entre viviendas y zonas de otros usos, en todas las zonas climáticas, considerando el espesor mínimo de 4 cm de lana mineral necesario para garantizar el buen funcionamiento acústico de las soluciones Silensis.

En el caso de las soluciones Silensis de una hoja (Silensis Tipo 1A), los fabricantes han desarrollado bloques cerámicos con prestaciones térmicas y acústicas mejoradas, como el bloque Termoarcilla o similar, que pueden ser empleadas como paredes separadoras en distintas zonas climáticas, dependiendo de las prestaciones térmicas de cada bloque.

Por otro lado, para verificar la estabilidad de las paredes Silensis, Hispalyt ha realizado un ensayo de seguridad de uso sobre una pared de LHGF7cm con un extremo libre y desvinculado en el resto del perímetro por bandas

elásticas. El ensayo se ha realizado 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". En dicho ensayo se somete al tabique a impactos de cuerpo duro, impactos de cuerpo blando y cargas verticales excéntricas y se analizan los daños funcionales y estructurales que experimenta. El ensayo realizado ha superado satisfactoriamente todos los requisitos establecidos en la guía DITE, pudiendo garantizarse su seguridad de uso.

Asimismo, D^a. Concepción del Río, Doctor Arquitecto, ha realizado un estudio sobre el comportamiento mecánico de las diferentes soluciones de tabiques interiores y paredes separadoras Silensis, analizando los tres aspectos fundamentales relacionados con el requisito básico de seguridad estructural exigible a cualquier elemento constructivo: la estabilidad, la resistencia y la fisuración. El alcance del estudio pretende ser lo más generalista posible, con objeto de que se pueda aplicar a edificios de cualquier uso. Como resultado del análisis del comportamiento mecánico de las soluciones, se presentan unas tablas de dimensionado en las cuales se establece la longitud máxima admisible entre bordes verticales arriostrados para tabiques y hojas de las separadoras Silensis, en función de las condiciones de sustentación de los bordes, de la altura libre del tabique, y de la magnitud de la acción lateral que depende, a su vez, del uso del recinto en el que se aloja.

H (m)	Longitud máxima del tabique entre bordes verticales arriostrados (m)								
	F = 0,4 kN/m			F = 0,8 kN/m			F = 1,5 kN/m		
	E - E	E - A	A - A	E - E	E - A	A - A	E - E	E - A	A - A
2,50	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	9,80
2,75	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	11,10	9,60	7,80
3,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	9,60	8,30	6,80
3,25	11,10	11,10	11,10	11,10	11,10	11,10	9,00	7,80	6,40
3,50	10,20	10,20	10,20	10,20	10,20	10,20	8,70	7,50	6,10
3,75	9,35	9,35	9,35	9,35	9,35	9,35	8,40	7,30	6,00
4,00	8,50	8,50	8,50	8,50	8,50	8,50	7,50	6,50	5,30
4,25	7,60	7,60	7,60	7,60	7,60	7,60	6,30	5,40	4,40
4,50	6,75	6,75	6,75	6,75	6,75	6,75	5,50	4,70	3,90
4,75	5,85	5,85	5,85	5,85	5,85	5,85	4,90	4,20	3,40
5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	4,40	3,80	3,10
5,50	4,75	4,75	4,75	4,75	4,75	4,75	3,70	3,20	2,60
6,00	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	3,30	2,90	2,30
≥ 7,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	3,30	2,90	2,30

H límite = 8,00 m

En gris: soluciones con una distancia máxima entre bordes verticales menor de 4 m.

Figura 16. - Tabla dimensionado soluciones PV01 de ladrillo hueco pequeño y gran formato de 7 cm espesor.

En relación al comportamiento frente al fuego, de acuerdo con los resultados de los ensayos de resistencia al fuego realizados por Hispalyt de paredes con bandas elásticas, todas las soluciones de paredes separadoras Silensis presentan una resistencia al fuego de EI 240 min, garantizando el cumplimiento de las exigencias establecidas por el Documento Básico de Seguridad en caso de incendios (DB SI) del CTE para separaciones entre viviendas y paredes compartimentadoras de sectores de incendios.

2.5. Disposiciones constructivas y reglas de ejecución las soluciones Silensis

Para poder garantizar un determinado nivel de aislamiento acústico en el edificio, no basta con definir una adecuada solución de aislamiento acústico considerando elementos constructivos de elevadas prestaciones acústicas, sino que además es necesario realizar un adecuado diseño de las uniones entre elementos constructivos y una correcta ejecución en obra.

Para facilitar al proyectista la definición de las uniones de las paredes SILENSIS con el resto de elementos constructivos, Hispalyt ha desarrollado una biblioteca de detalles constructivos con todas las disposiciones constructivas necesarias para asegurar el buen funcionamiento acústico del sistema, disponible en la web, www.silensis.es.

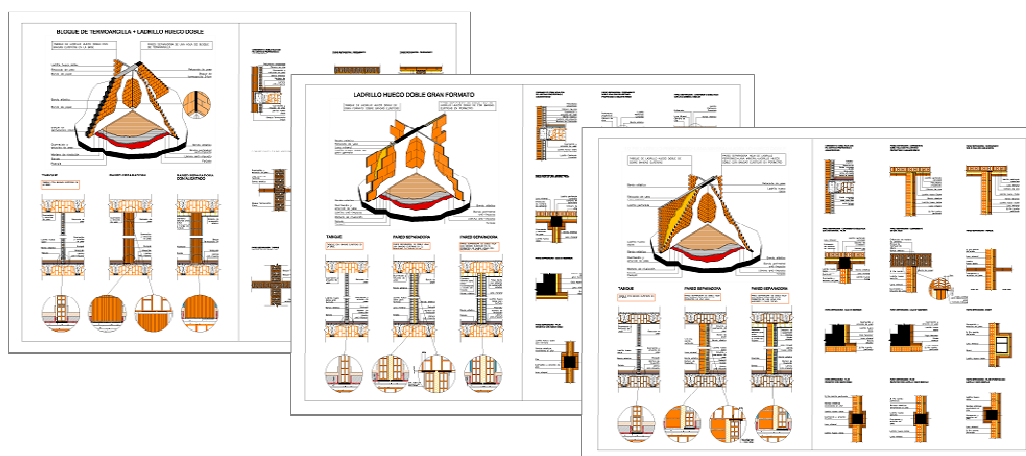


Figura 17.- Detalles tipo de las soluciones SILENSIS

Asimismo, dando un paso más, con el fin de adaptarse a las nuevas tecnologías y nuevas formas de trabajar, Hispalyt ha firmado un convenio de colaboración con la empresa BIMETICA para el desarrollo de una biblioteca de detalles BIM de las paredes de ladrillo SILENSIS que estará disponible en el 2015.

Por otro lado, para asegurar el buen funcionamiento acústico de las soluciones definidas en proyecto una vez ejecutadas en obra, se requiere que se sigan unas sencillas reglas de ejecución, para la colocación de las bandas elásticas, realización de las rozas, la aplicación de los yesos, etc. Todas estas reglas de ejecución se encuentran recogidas en distintos documentos divulgativos desarrollados por Hispalyt, tales como, la “Ponencia Silensis”, el “Manual de ejecución de fábricas de ladrillo para revestir”, los “Folletos de instaladores” y el “Video de ejecución Silensis”, disponibles en la web, www.silensis.es.

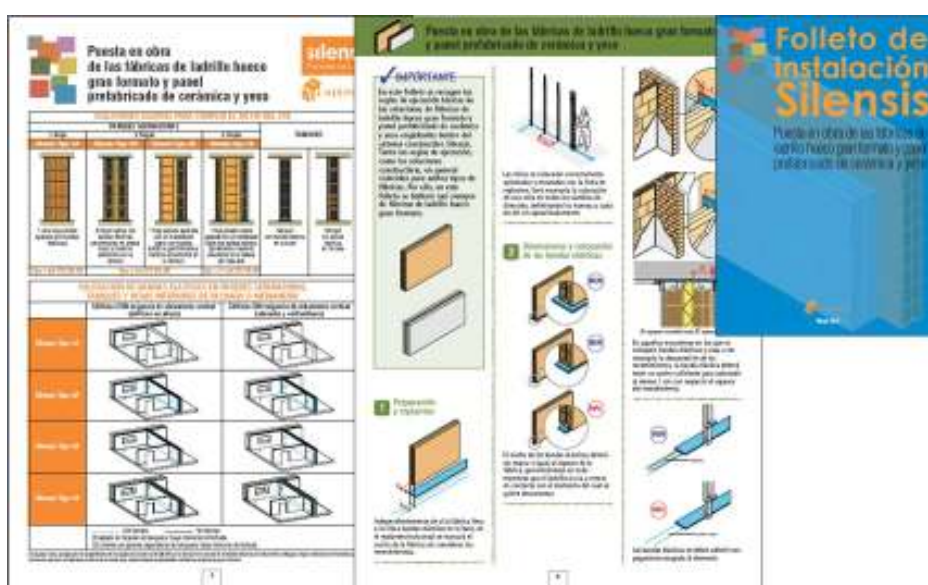


Figura 18.- Folletos de instalación SILENSIS.

Además de las publicaciones desarrolladas por Hispalyt, cabe destacar que la versión de Septiembre 2014 de la “Guía de aplicación del DB HR Protección frente al ruido” contempla todas las soluciones de paredes

separadoras y tabiques interiores Silensis, recogiendo fichas de diseño, ejecución y control de ejecución de las mismas.

3. CONCLUSIONES:

- Las soluciones SILENSIS han obtenido resultados de aislamiento acústico a ruido aéreo en laboratorio desde los 53 dBA hasta los 70 dBA, en función del tipo de solución SILENSIS, del tipo de ladrillo, del material absorbente, del material de banda elástica, etc.
- Además de ser soluciones muy económicas y de altas prestaciones acústicas, las soluciones SILENSIS mantienen otras muchas características técnicas de gran importancia inherentes a los productos cerámicos, relativas al aislamiento térmico, comportamiento frente al fuego, resistencia a cargas suspendidas y seguridad frente al intrusismo.
- SILENSIS ha demostrado su funcionamiento en obra, cumpliendo las exigencias establecidas en el DB HR del CTE y aportando un alto nivel de calidad a las viviendas, sin suponer un sobrecoste ni una pérdida de superficie útil significativa.

REFERENCIAS

Documento Básico de Protección frente al ruido (DBHR) del Código Técnico de la Edificación (CTE). Septiembre 2009.

Catálogo de elementos constructivos del Código Técnico de la Edificación. Marzo 2010.

MT. Carrascal, MB. Casla, A. Romero, "Guía de aplicación del DB HR Protección frente al ruido". Versión Septiembre del 2014.

A. Ribas, B. Casla, "Ponencia Silensis".

P. Linares, V. Sánchez, A. Ribas, "Manual de ejecución de fábricas de ladrillo para revestir", Fascículo 2 "Nuevo diseño de la tabiquería cerámica para el cumplimiento del CTE". Diciembre 2011.

E. Santiago, A. Ribas, J. Valenciano, "Soluciones cerámicas para la rehabilitación acústica". Seminario Rehabilitación acústica en la edificación. Tecniacústica 2011 Cáceres.

C. Rio Vega, "Comportamiento mecánico de las fábricas de ladrillo cerámico Silensis". Julio 2014.

Rehabilitación Acústica de fachada con Sistemas Multicapas

Dasil Fernández Turrado

Ingeniera de Telecomunicaciones, especialidad Acústica. Miembro del Comité Técnico. ATEDY

Resumen

Reducir el gasto energético en el sector de la construcción ha marcado la dirección de las nuevas directivas para la rehabilitación de los edificios existentes. Incluso en el desarrollo de nuevas soluciones constructivas que den respuestas a la reducción de la demanda energética en un edificio.

*Una de las soluciones más demandadas actualmente son las **fachadas ventiladas**, compuestas por sistemas multicapa: Cerramiento, aislamiento térmico, cámara de aire ventilada y revestimiento exterior con placa de cemento reforzada con malla de vidrio y mortero.*

*La **cámara de aire ventilada** tiene como objeto equilibrar la temperatura exterior con la interior, dotando a la envolvente del edificio de un mejor comportamiento térmico. No obstante, ¿que ocurre con el comportamiento acústico del sistema? **¿Cuál en la pérdida de aislamiento acústico que sufre en sistema una vez que la cámara de aire no es estanca?***

La asociación ATEDY con la colaboración de la asociación AFELMA, ha desarrollado un proyecto de investigación con la finalidad de aportar más información y conocimientos acústico sobre los soluciones de aislamiento con sistemas multicapas.

1 Rehabilitación energética y acústica

1.1 Introducción

Existen muchas soluciones para la rehabilitación energética de un edificio que conlleva una mejora en el confort acústico.

La intervención con sistemas multicapas, pueden realizarse tanto por el interior (sistemas multicapas de placas de yeso laminado), como por el exterior (sistemas multicapas con placas de cemento). Este tipo de actuación dependerá de cada tipología de obra, valorando las ventajas e inconvenientes de cada solución.

1.2 Rehabilitación de fachada con aislamiento por el interior

Actualmente la solución de aislamiento por el interior más utilizada está compuesta por **Trasdosado autoportante de placas de yeso laminado** fijadas sobre una estructura metálica compuestas de canales y montantes rellena de lana mineral.

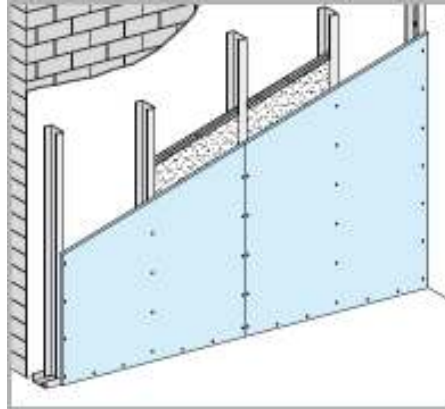


Figura 1. Trasdosado interior de fachada con placa de yeso laminado, estructura metálica y lana mineral.

Ideal en aquellos casos en los que se requiera mantener intacta la apariencia exterior del edificio, o se requiera solo actuar en sólo una parte del edificio.

En función de las limitaciones de espacio-superficie que nos podemos encontrar o las exigencias térmicas y acústicas, podemos elegir entre los sistemas de placa de yeso laminado que ofrece el mercado.

Una de las características más importantes de un trasdosado PYL, es su capacidad para mejorar el aislamiento acústico del elemento constructivo sobre el que se instale. El incremento de aislamiento dependerá de la masa del elemento base y del tipo de trasdosado que elijamos.

Para poder determinar la mejora acústico sobre un muro de fachada se realiza una campaña de ensayos acústicos en laboratorio LABAC Audiotec en Valladolid, los pasos a seguir fueron:

1. Elegir el muro de fachada de referencia en España, optando por un muro de $\frac{1}{2}$ pie de ladrillo perforado cara vista con enfoscado de mortero de cemento de 15mm, con una masa aproximada de 225 Kg/m^2 .
2. Se realizó la medición acústica del muro sin revestimiento.
3. Se instaló el revestimiento interior compuesto por un trasdosado autoportante de placa de yeso laminado con estructura metálica de 48mm de espesor, lana mineral de 40mm de espesor, una placa de yeso laminado de 15mm. Un punto de arriostamiento, en cada montante, al muro base.
4. Se realizó la segunda medición acústica del muro con revestimiento.
5. Se calculó el incremento acústico que aportaba el trasdosado interior de placa de yeso sobre el muro base.

A continuación se presentan los resultados obtenidos en los ensayos acústicos, véase tabla 1 y 2.

Tabla 1. Campaña de ensayos A_ Ensayo acústico de muro de fachada sin revestimiento.

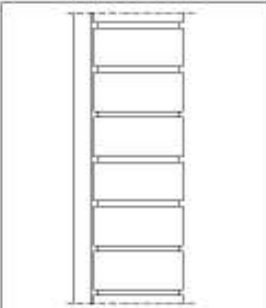
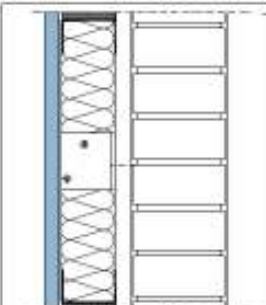
	<ul style="list-style-type: none"> - Fábrica ladrillo de 1/2 Pie perforado cara vista. - Enfoscado de cemento de 15 mm. 	Aislamiento acústico $R_w(C,C1)$ dB R_A -dBA
		$R_w= 51(-1;-4)$ dB $R_A= 50,9$ dBA

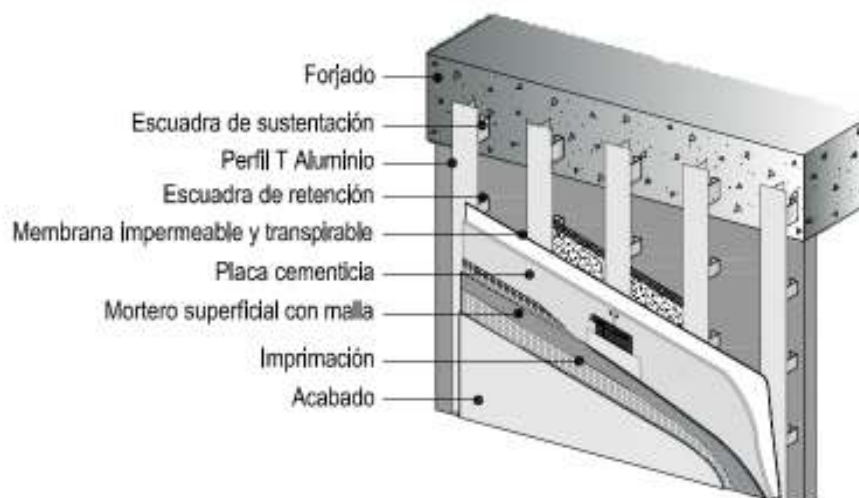
Tabla 2. Campaña de ensayos A_ Ensayo acústico del muro de fachada con revestimiento interior PYL.

	<ul style="list-style-type: none"> - Tradosado autoportante PYL 63/600 (48) LM (15+46). - Enfoscado de cemento de 15 mm. - 1/2 Pie de ladrillo perforado cara vista. - Lana mineral 40/50 mm. - Tradosado arriostrado a la fábrica. 	Aislamiento acústico $R_w(C,C1)$ dB R_A -dBA
		$R_w= 66(-2;-6)$ dB $R_A= 64,8$ dBA
		$\Delta R_A= 13,9$ dBA

Como podemos observar en la figura anterior La mejora acústica conseguida sobre el muro de fachada existente es de 14 dBA.

1.3 Rehabilitación de fachada con aislamiento por el exterior

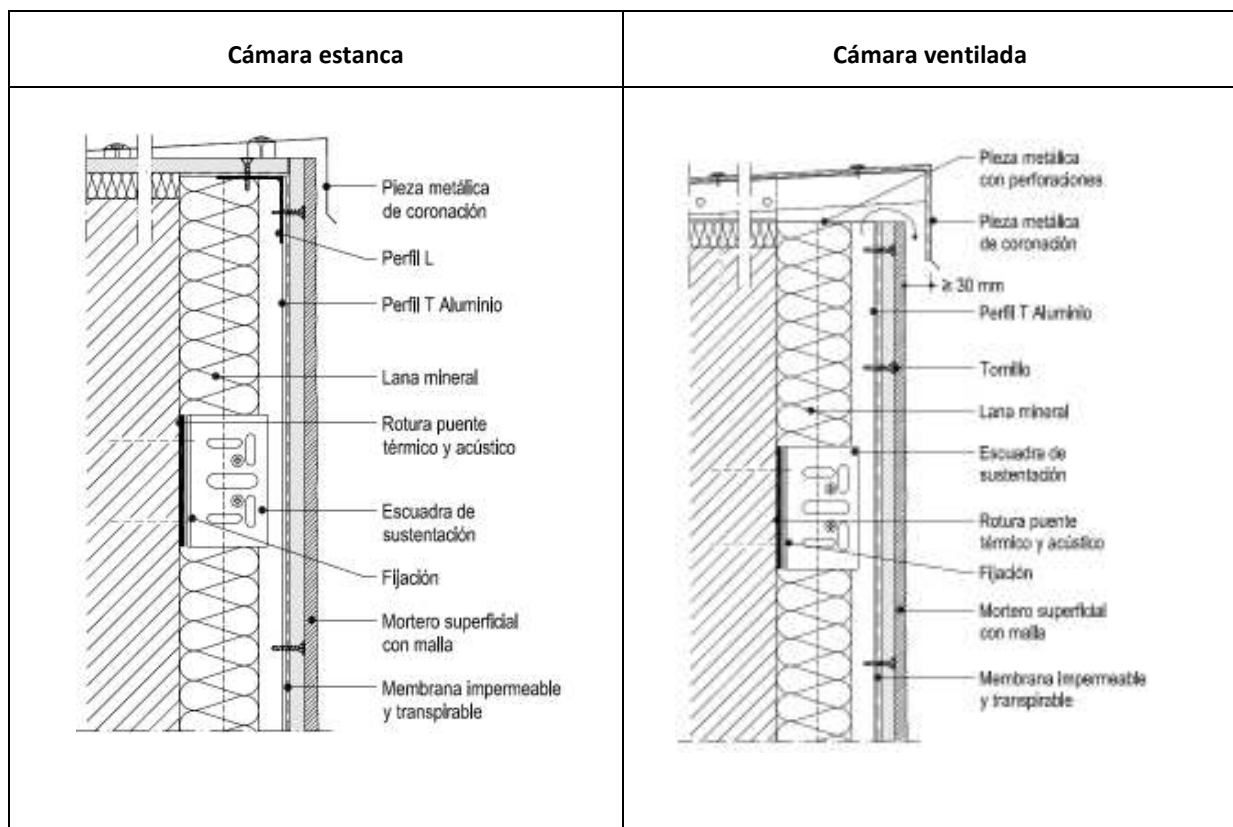
El sistema multicapa que presentamos para el aislamiento exterior de la fachada está compuesto por estructura metálica de aluminio, lana mineral, cámara de aire y placa de cemento reforzada con malla de vidrio y mortero.

**Figura 2. Aislamiento exterior de fachada con, estructura metálica, lana mineral y placa de cemento.**

Los sistemas multicapas se incorporan cada vez con mayor frecuencia en la rehabilitación de edificios debido a sus excelentes prestaciones de ahorro energético. Estos sistemas presentan una gran ventajas frente a otros, por la versatilidad que ofrecen, para elegir entre una fachada **con cámara de aire estanca o ventilada**.

Con sólo modificar la coronación y arranque del sistema provocaremos un movimiento del aire en el interior de la cámara de aire de la fachada.

Tabla 3. Detalle de coronación para fachada con cámara estaca o ventilada.



La **cámara de aire ventilada** tiene como función la de **equilibrar la temperatura** exterior con la interior de la envolvente del edificio durante las estaciones de mayor calor. En verano, el grado térmico de la temperatura de la cámara aumenta generando un movimiento ascendente del aire en su interior. Al entrar el aire del exterior, por una abertura en la parte inferior de la fachada, se consigue equilibrar ambas temperaturas. En función de la superficie acristalada se puede considerar que una fachada ventilada puede generar un ahorro energético aproximadamente, entre un 20 y un 30 %.

Una vez definido las excelentes prestaciones térmicas que aportan las fachada ventiladas, debemos caracterizar cual es la pérdida de aislamiento acústico que sufre el sistema tras la pérdida de estanqueidad de la cámara de aire.

Para ello se realizan una campaña de ensayos acústicos en laboratorio LABAC Audiotec en Valladolid, los pasos a seguir:

1. Se mantuvo el muro de fachada de referencia utilizado en la campaña de ensayos para revestimiento interior. Muro de $\frac{1}{2}$ pie de ladrillo perforado cara vista con enfoscado de mortero de cemento de 15mm, con una masa aproximada de 225 Kg/m^2 .
2. Se construyó y realizó la medición acústica del muro.
3. Se instaló el **revestimiento exterior con cámara de aire estanca**, compuesto por lana mineral de 80mm de espesor, cámara de aire de 50mm, estructura de aluminio, placa de cemento de 12,5mm de espesor, acabado exterior, malla y 5mm de mortero.

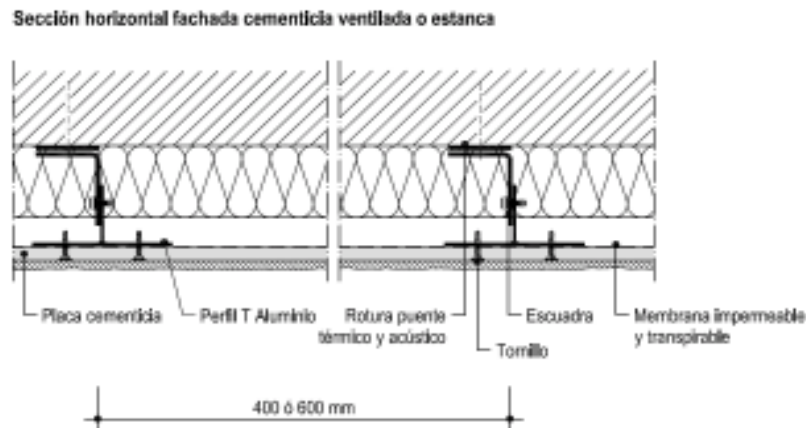


Figura 3. Aislamiento exterior de fachada con, estructura metálica, lana mineral y placa de cemento.

4. Se realizó la segunda medición acústica y se calculó el incremento acústico que aporta el revestimiento.
5. Se realizó una abertura de la parte inferior y superior de la placa de cemento a lo largo de toda la muestra, de aproximadamente 14mm de grosor, con el objeto de representar en la situación más desfavorable un revestimiento exterior con cámara de aire no estanca, **fachada ventilada**.



Figura 4. Abertura en la parte superior e inferior de la muestra. Ranura horizontal de 14mm de grosor.

6. Se realizó la tercera medición acústica y se calculó la mejora del aislamiento acústico de la fachada ventilada.

A continuación se presentan los resultados obtenidos en los ensayos acústicos, véase tabla 4, 5 y 6.

Tabla 4. Campaña de ensayos B_ Ensayo acústico de muro de fachada sin aislamiento.

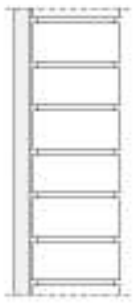
	<ul style="list-style-type: none"> - Guarnecido de yeso de 12 mm - 1/2 Pie de ladrillo perforado cara vista 	Aislamiento Acústico $R_{w(C;Ctr)}$ dB R_A dBA
		$R_{w} = 50 (-1;-5)$ dB $R_A = 49,7$ dBA
		$R_{A,ir} = 45$ dBA

Tabla 5. Campaña de ensayos B_ Ensayo acústico de muro de fachada con aislamiento por el exterior estanco.

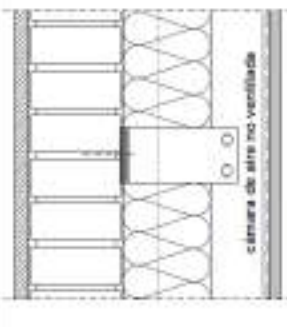
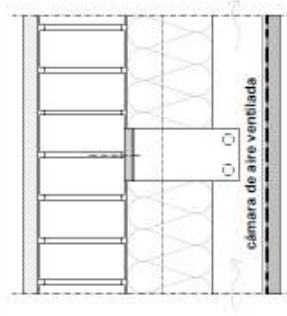
	<ul style="list-style-type: none"> - Guarnecido de yeso de 12 mm - 1/2 Pie de ladrillo perforado cara vista - Lana mineral 80 mm - Cámara de aire de 50 mm - Perfilera metálica en forma de "T" - Placa de cemento, reforzada con fibra en sus caras de 12,5 mm - Acabado superficial de mortero de 5 mm 	Aislamiento Acústico $R_{w(C;Ctr)}$ dB R_A dBA
		$R_{w} = 64 (-2;-8)$ dB $R_A = 62,4$ dBA
		$\Delta R_A = 13$ dBA
		$R_{A,ir} = 58$ dBA

Tabla 6. Campaña de ensayos B_ Ensayo acústico de muro de fachada con aislamiento por el exterior ventilada.

	<ul style="list-style-type: none"> - Guarnecido de yeso de 12 mm - 1/2 Pie de ladrillo perforado cara vista - Lana mineral 80 mm - Cámara de aire de 50 mm - Perfilera metálica en forma de "T" - Placa de cemento, reforzada con fibra en sus caras de 12,5 mm - Acabado superficial de mortero de 5 mm - Abertura horizontal de ventilación de 14 mm en la zona superior e inferior 	Aislamiento Acústico $R_{w(C;Ctr)}$ dB R_A dBA
		$R_{w} = 62 (-3;-8)$ dB $R_A = 59,5$ dBA
		$\Delta R_A = 9$ dBA
		$R_{A,ir} = 54$ dBA

Detalles de montaje e instalación

1. Fijado al muro soporte se coloca el aislamiento térmico MW 80 mm de espesor, mediante espigas, dejando una cámara de aire de 50 mm de espesor.
2. Colocación de la estructura metálica de aluminio separada cada 600mm a eje, anclada mediante escuadras metálicas cada 1400 mm a la cara exterior del muro base.



3. Colocación de la placa de cemento reforzada con fibra en sus caras de 12,5 mm de espesor, atornillada a la estructura, totalmente terminado mediante tratamiento de juntas y mortero superficial con malla.



1.4 Conclusiones

Tras las campañas de ensayos realizadas por la asociación ATEDY, podemos comparar y cuantificar el incremento acústico aportado por el aislamiento interior o exterior de los sistemas multicapas sobre una fachada convencional:

Tabla 7. Resumen de los incrementos de aislamiento acústicos sobre fachada obtenidos con sistemas multicapas.

AISLAMIENTO ACÚSTICO Incremento	INTERIOR	EXTERIOR	
	Trasdosado Placa de yeso laminado 63/600 (48+15) MW 50	MW 80 + 50CA + Placa de cemento12.5 ESTANCA	VENTILADA
$\Delta R_{A,tr}$	14 dBA	13 dBA	9 dBA

1. El incremento acústico aportado por un **sistema multicapa interior**, trasdosado autoportante de placa de yeso laminado y lana mineral, es inmejorable. Esto se debe al reducido número de anclajes al muro base, disminuyendo la transmisión estructural entre ambos elementos.
2. Respecto al aislamiento con **sistema multicapa exterior** de fachada, tras los ensayos realizados podemos cuantificar la mejora acústica aportada al edificio. Esta mejora se acerca mucho a la conseguida por la solución de revestimiento interior con placa de yeso laminado, no obstante el número mayor de elementos de anclaje a la muro base impide alcanzar los valores de aislamiento acústicos aportados por el sistema interior.
3. Las ventajas térmicas que ofrece una **fachada ventilada** no entran en conflicto con la búsqueda de una mejora en el aislamiento acústico del edificio. Podemos asegurar tras las pruebas realizadas, que la pérdida de aislamiento del sistema multicapa con cámara de aire no estanca son reducidas. Pudiendo cuantificaras en el caso más desfavorable de 4dBA.

Desarrollo de una gama de frisos de madera para acondicionamiento acústico

Manuel A. Sobreira Seoane

Doctor Ing. Telecomunicación. Sonitum-AtlantTIC, Universidad de Vigo

César García Porto

Director de Calidad, Medioambiente e I+D+I

Palabras clave: Absorción Acústica, Panel resonador, Acústica y Madera.

Resumen

En la presente ponencia se desarrolla el proceso de diseño de una nueva gama de frisos absorbentes. Se parte de un producto inicial, Frisonoble modelo 525, con bajo coeficiente de absorción para transformarlo en un panel resonador sintonizando su frecuencia de resonancia para que su coeficiente de absorción sea el mayor posible a frecuencias medias. Para ello, se implementa un modelo de cálculo de absorción y se estudia la configuración óptima de los paneles en cuanto a su distancia a la pared portadora, espesor de lana mineral en el plenum (espacio entre la pared y el panel) y sección de las perforaciones y distancia entre las mismas. Una vez optimizados estos parámetros se procede a ensayar una serie de prototipos, con el fin de confirmar los resultados de los modelos y emprender la fase de diseño industrial y la puesta en producción. Los prototipos se modifican con el fin de obtener una estética atractiva. En la ponencia se presentan las comparaciones entre los cálculos y los ensayos de las diversas etapas, demostrando cómo los cálculos permiten dar un soporte efectivo en la fase de diseño, ahorrando la realización de ensayos exhaustivos.

1 ANTECEDENTES

1.1 Objetivo de Diseño.

Debido a la aparición de nuevos requisitos legales la empresa Molduras del noroeste, fabricó el producto FRISONOBLE, modelo 525, que dadas sus características almenadas hacían pensar a priori que podría resultar interesante como elemento para controlar el tiempo de reverberación en aquellos locales en los que así lo requiriera el Código Técnico de la Edificación, documento básico de protección frente al ruido, CTE DB-HR. En este documento se limita el tiempo de reverberación máximo en aulas y salas de conferencia con volumen inferior a 350 m³ y zonas comunes en edificios, donde se especifica un grado de absorción mínima (0.2 m² área de absorción equivalente por metro cúbico de volumen).

Debido a la oportunidad que presentaba la aplicación de la ley para poder incluir la gama de productos fabricados dentro de los elementos de interés para acondicionamiento acústico, la empresa Molduras emprendió la caracterización acústica de los fabricados en aquel momento.

La figura 1, muestra los resultados de absorción acústica de dos configuraciones diferentes. Puede observarse que los resultados presentan un coeficiente de absorción muy bajo., en especial en las frecuencias que resultan interesantes para la aplicación del CTE DB –HR, que especifica que el tiempo de reverberación debe evaluarse como promedio de las frecuencias de 500, 1000 y 2000 Hz..

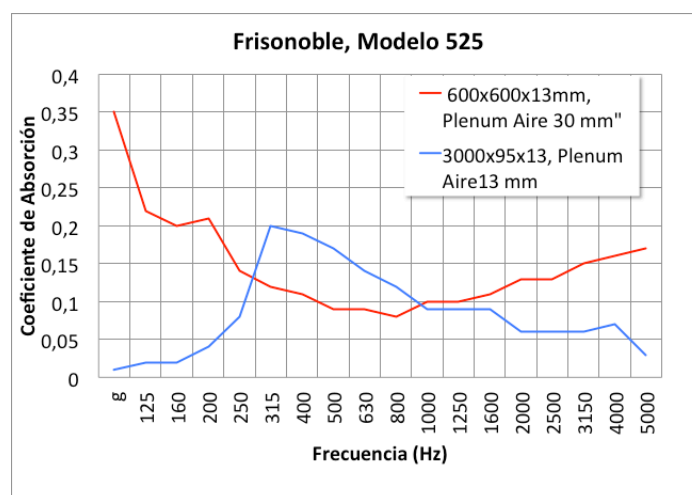


Figura 1. Coeficiente de absorción de Frisonoble, Modelo 525.

2 DISEÑO DE NUEVAS VARIETADES DE FRISOS CON CARACTERÍSTICAS ACÚSTICAS:

En vista de los resultados de los ensayos iniciales, se establece una colaboración con el grupo de acústica aplicada de la Universidad de Vigo, Sonitum, para evaluar la posibilidad de mejorar las características acústicas de los productos. Se establece un proyecto con las siguientes fases:

1. Estudio de modelos de cálculo de sistemas basado en resonadores múltiples de Helmholtz se plantea elaborar una gama de frisos con perforaciones, montados con un plenum que se rellena de lana mineral. Estos sistemas se comportan como resonadores múltiples de Helmholtz y se plantea la viabilidad de elaborar modelos que permitan estimar la absorción acústica.
2. Ensayo y validación de los productos. A partir de los cálculos realizados, se plantea fabricar prototipos para la realización de ensayos en cámara reverberante con conforme con la norma UNE-EN ISO 354.

3. Diseño industrial: a partir de los resultados de los prototipos, se plantea en base a los resultados, refinar el diseño para concretar un línea de productos atractiva para el mercado, tanto estéticamente como en coste instalado.

A continuación se resumen los resultados de cada etapa.

2.1 Modelado y diseño de frisos absorbentes

Se modelan los frisos de madera *Frisonoble* con dos espesores (9 y 13 mm) y tres formatos de ancho 70, 95 y 120 mm, con el objetivo de optimizar la absorción en las frecuencias de interés según el CTE DB HR.



Figura 2: Formatos de Frisonoble para diseño de variante acústica.

El modelado se realiza mediante la programación del método de la matriz de transferencia, descrito por Trevor Cox y D'Antonio (2004). Las variables de entrada del modelo realizado son, la distancia del friso a la pared, el diámetro de los agujeros en el caso de sistemas perforados o las dimensiones de las ranuras en el caso de sistemas ranurados, la distancia entre perforaciones/ranuras, la resistencia al flujo del absorbente y el espesor del friso. La figura 3 muestra un esquema de un friso perforado.



Figura 3. Esquema de un friso perforado

Se estudió la configuración de los frisos, en cuanto a la distancia a la pared soporte, el diámetro y la distancia entre perforaciones. Cabe recordar en este punto que si bien la frecuencia de resonancia de un panel resonador únicamente depende del tanto por ciento de perforación, es posible incrementar el ancho de banda de absorción manteniendo el porcentaje de perforación constante, modificando el radio de las perforaciones y variando en consecuencia la distancia entre las mismas. Sirva como ejemplo análogo el resultado mostrado en la figura 4, donde se observa para un resonador de Helmholtz, sintonizado a 90 Hz, como el ancho de banda de absorción varía en función de la sección de la perforación y el volumen de la cavidad.

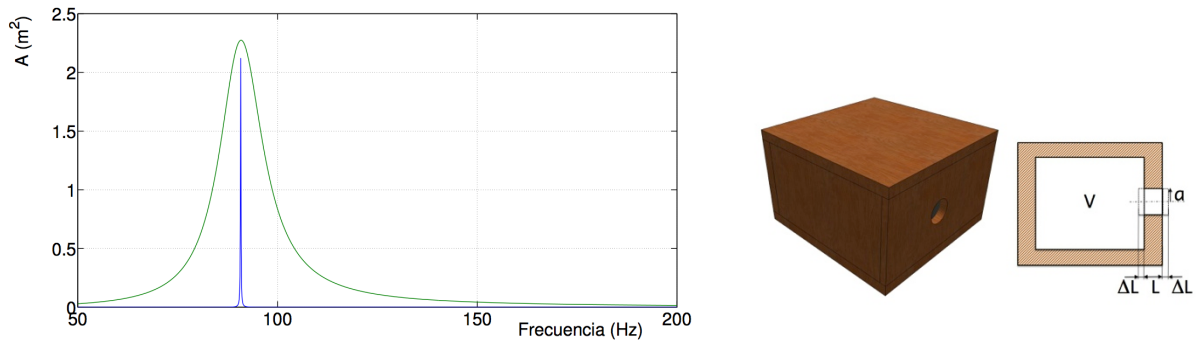


Figura 4. Ejemplo de incremento del ancho de banda de absorción para un resonador de Helmholtz. V es el volumen de la cavidad del resonador, a el radio del tubo y L su longitud. Línea Azul: L= 2cm, a=0.5 cm y V=1 litro. Línea Verde: L= 2cm, a=17 cm y V=100 litros

Las figura 5 muestra por ejemplo, uno de los resultados obtenidos en función del diámetro de las perforaciones. Se observa como para un diámetro de 10 mm y una cavidad de 15 mm la frecuencia de resonancia del sistema se sitúa en 630 Hz y se obtiene un coeficiente de absorción en campo difuso máximo de 0.9. Debemos aclarar que en todo momento, aunque inicialmente los modelos programados permiten el cálculo de absorción para incidencia normal, se abordó también el cálculo del coeficiente de absorción de sabine a partir del coeficiente de absorción normal, para así poder comparar los resultados de los modelos con las medidas realizadas en laboratorio para las configuraciones seleccionadas.

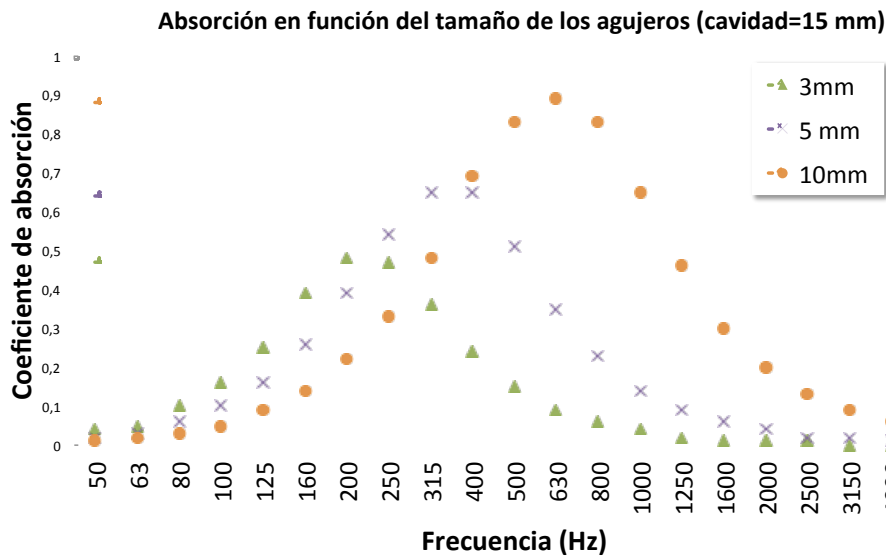


Figura 5: Variación del coeficiente de absorción con el diámetro de las perforaciones.

2.2 Ensayo de prototipos y validación de los modelos

Una vez calculados y construidos los prototipos, se procedió a la realización de ensayos de absorción acústica, conforme a la norma UNE EN ISO 354, y a la comparación de los resultados con los cálculos previos realizados. En la figura 6 puede observarse una muestra de friso perforado lista para ser ensayada conforme a la norma UNE-EN ISO 354.

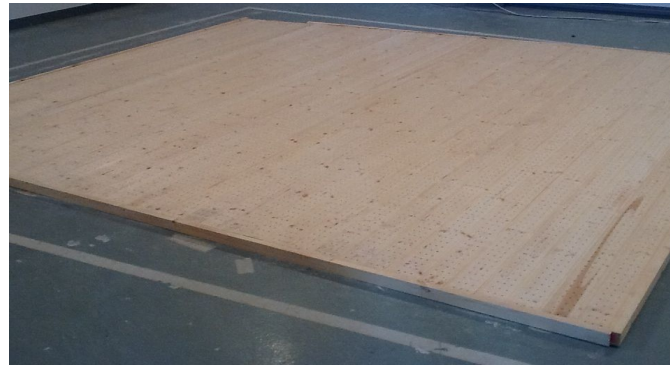


Figura 6: Prototipo de friso perforado montado para ensayo en laboratorio conforme norma UNE EN ISO 354

Las figura 7 y 8 muestran la comparación entre el coeficiente de absorción medido en laboratorio y los cálculos realizados para un friso perforado (figura 7) y para friso ranurado (figura 8). Se observa una excelente correlación entre los datos de los modelos de cálculo y los ensayos.

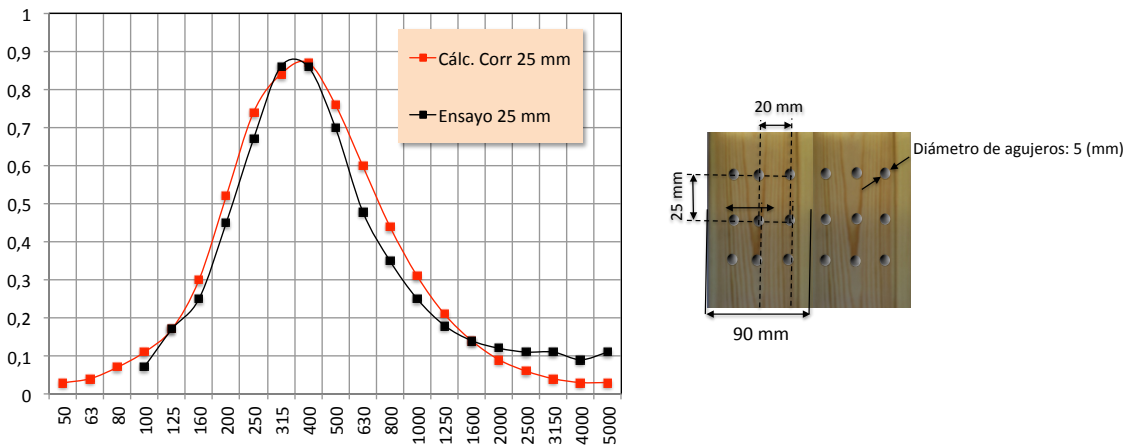


Figura 7 Comparación de los resultados de los ensayos y cálculos previos para friso perforado.

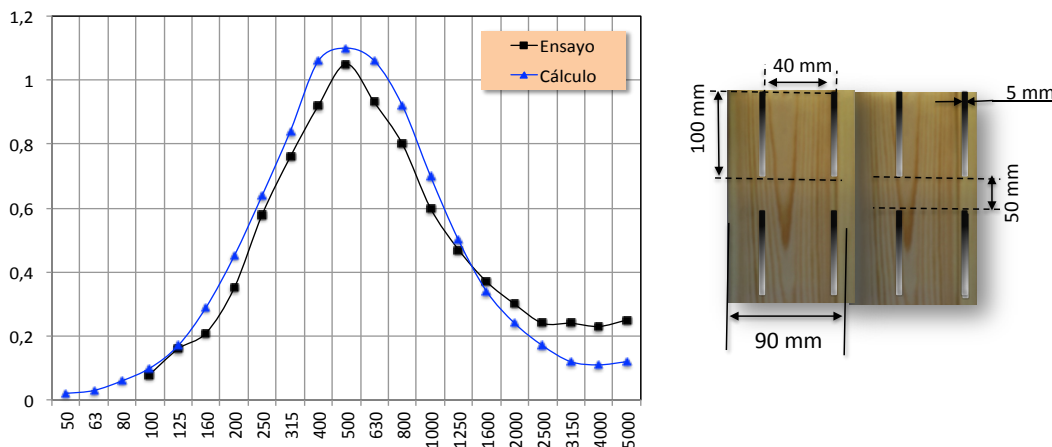


Figura 8: Comparación de los resultados de los ensayos y cálculos previos para friso ranurado.

El panel ranurado, al presentar un porcentaje de perforación mayor que el panel perforado, presenta una frecuencia de sintonía superior que el friso perforado. El coeficiente de absorción medio en el caso del friso ranurado se sitúa en 0.65. Este resultado indicó claramente la posibilidad de establecer una línea de frisos con características acústicas de alta absorción que permitan acondicionar recintos conforme a las exigencias del CTE DB HR. Además, dado que los cálculos permiten predecir adecuadamente la absorción obtenida mediante ensayo, se abordó la optimización de los frisos, para incrementar más el coeficiente de absorción en las frecuencias de interés-

2.3 Optimización

Finalmente, se acometió una etapa de diseño industrial, con el fin de mejorar la estética y de poner en producción la línea de frisos con características absorbentes. La siguiente figura resume los resultados obtenidos en frecuencia y la tabla muestra los valores de coeficiente de absorción media obtenidos. En la nueva gama, se abordan los ensayos con modelos almenados (ALM) y lisos, tanto ranurados como perforados. La figura 9 muestra los resultados obtenidos en los ensayos de la campaña de medidas del año 2014. En todos los casos, las muestras se instalaron sobre rastreles de 30x30, con el plenum relleno de lana mineral de 25 mm con velo negro [4].

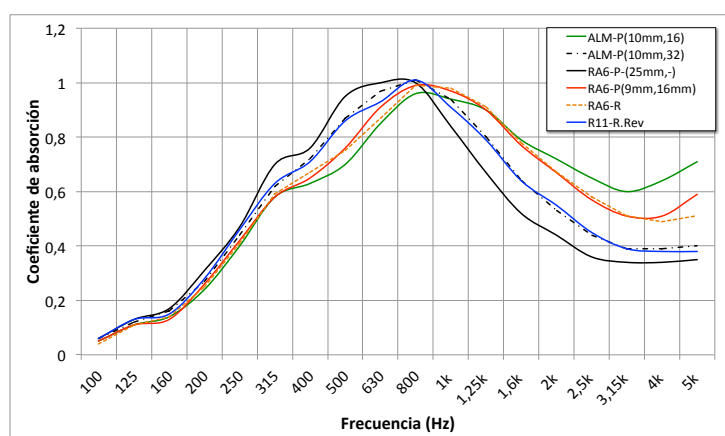


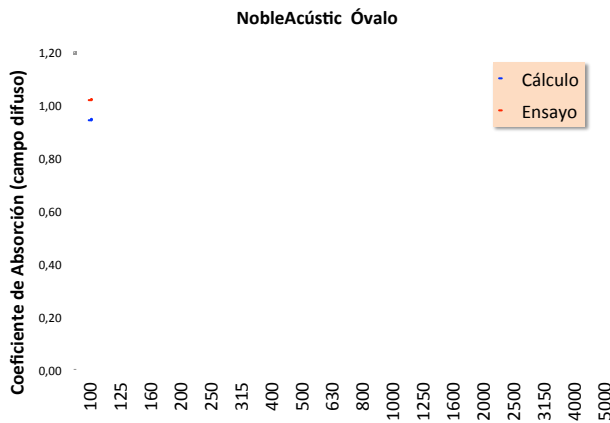
Figura 9: Resultados de la campaña de ensayos finales (año 2014)

Se observa cómo ya las frecuencias de sintonización de estos modelos se sitúa entre 800 y 1 kHz, presentando valores de absorción superiores a 0.8 en las bandas de 500 Hz y 1000 Hz.

2.3 Fase final: lanzamiento y últimos ensayos.

Una vez verificado en laboratorio el correcto comportamiento de los nuevos frisos, conforme al objetivo de diseño establecido, se procede a optimizar su aspecto estético, combinando las perforaciones y ranuras pasantes en el material, con acabados ranurados o almenados en el anverso. Las figuras 10, 11 y 12 muestran los resultados finales, comparando los valores obtenidos en ensayo de laboratorio en tercios de octava y el coeficiente de absorción medio según el CTE DB HR, para tres de los productos de la nueva gama de frisos: NobleAcústic Óvalo y NobleAcústic Ranura y NobleAcústic Intenso.

Se observa en todos los casos, que los cálculos realizados responden al comportamiento real del material, si bien en general los cálculos subestiman ligeramente la absorción de los ensayos, debido a que el efecto de absorción debido al comportamiento como membrana del friso (dado su pequeño espesor) no ha sido considerado en el modelo. No obstante, cabe destacar que en general se ha obtenido una precisión suficiente y que el modelado ha permitido ahorrar muchos ensayos: los ensayos planteados se han limitado a las configuraciones concretas planteadas en base a los resultados de las simulaciones, corroborando los ensayos los resultados calculados. Se observa la alta absorción conseguida en las frecuencias de interés, superando todos los productos ensayados un coeficiente de absorción medio, calculado según el CTE DB HR superior a 0.7. La figura 13 permite tener una idea del acabado esté



Coefficiente de absorción medio Según CTE-DB HR (ensayo laboratorio):

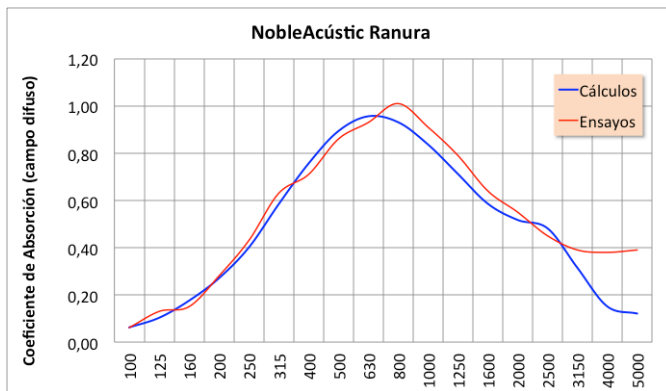
$$\alpha_m = 0.74$$

Coefficiente de absorción medio Según CTE-DB HR (cálculo):

$$\alpha_m = 0.65$$



Figura 10: Coeficiente de absorción en campo difuso del friso NobleAcústic Óvalo



Coefficiente de absorción medio Según CTE-DB HR (ensayo laboratorio):

$$\alpha_m = 0.77$$

Coefficiente de absorción medio Según CTE-DB HR (cálculo):

$$\alpha_m = 0.75$$

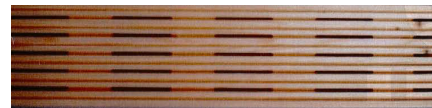
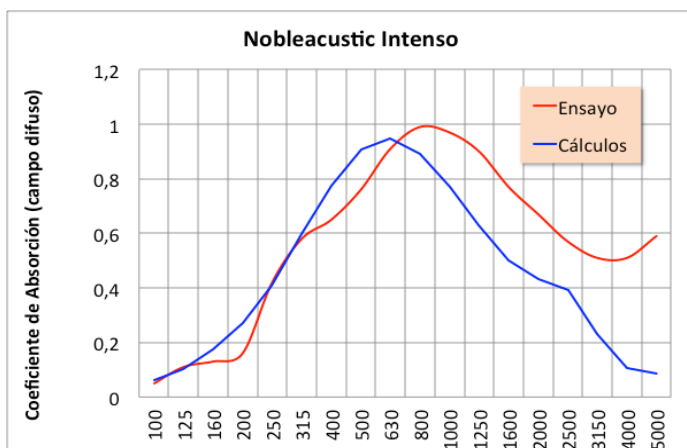


Figura 11: Coeficiente de absorción en campo difuso del friso NobleAcústic Ranura



Coefficiente de absorción medio Según CTE-DB HR (ensayo laboratorio):

$$\alpha_m = 0.8$$

Coefficiente de absorción medio Según CTE-DB HR (cálculo):

$$\alpha_m = 0.7$$



Figura 12: Coeficiente de absorción en campo difuso del friso NobleAcústic Intenso



Figura 13: Aspecto estético de la nueva línea de frisos. Imagen superior: instalación en una pared; imagen inferior: instalación como falso techo acústico.

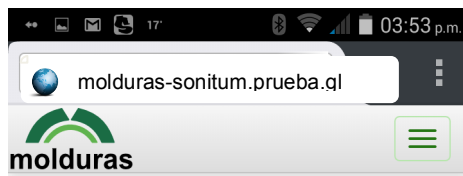
3 ABSORCIÓN CONFIGURABLE A DEMANDA.

La gama de frisos presentada y ensayada en laboratorio, contempla el montaje sobre un larguero de madera de 30 mm de sección, que es justamente la distancia entre el friso y la pared soporte. Se puede variar la absorción, desplazando la frecuencia de resonancia. Recordemos la expresión que permite calcular la frecuencia de máxima absorción (frecuencia de resonancia) de un panel perforado:

$$f = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{P}{L_{eff} \cdot d}} \quad (1)$$

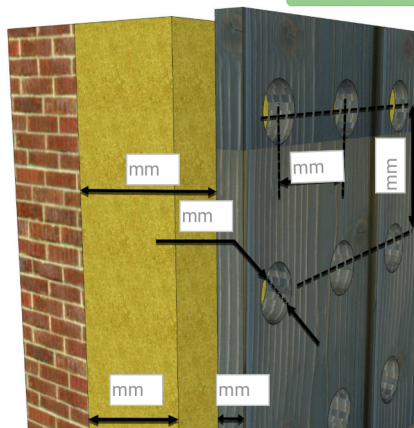
Por tanto, para el mismo porcentaje de perforación, P , podemos desplazar la frecuencia de resonancia hacia frecuencias inferiores incrementando la distancia a la pared soporte.

Para calcular de forma precisa el cambio de absorción al modificar alguno de los parámetros de los frisos, se ha desarrollado una aplicación WEB que permite a la empresa calcular cuál sería el efecto de cualquier modificación de los frisos. La aplicación se puede acceder desde cualquier tipo de plataforma (ordenadores, tablets o teléfonos móviles de cualquier marca y sistema operativo). La figura 14 muestra una captura de la aplicación web desarrollada para calcular cualquier nueva configuración basada en frisos de madera de las características de los fabricados por Molduras del Noroeste. La figura 15 muestra como ejemplo la presentación de un cálculo en la aplicación web. La aplicación permite descargar el resultado del cálculo a formato CSV y así poder importarlo en Excel. Los resultados presentados de cálculo presentados en el presente artículo han sido calculados utilizando la aplicación web. La aplicación permite por tanto, calcular las modificaciones que deberían hacerse sobre el diseño actual para abordar acondicionamientos acústicos específicos en función de las características particulares de un proyecto de acondicionamiento en concreto.



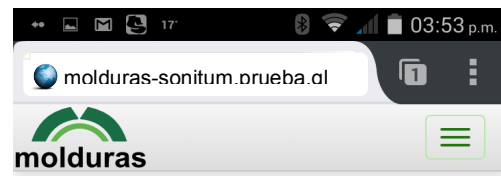
Análisis de material

Descargar



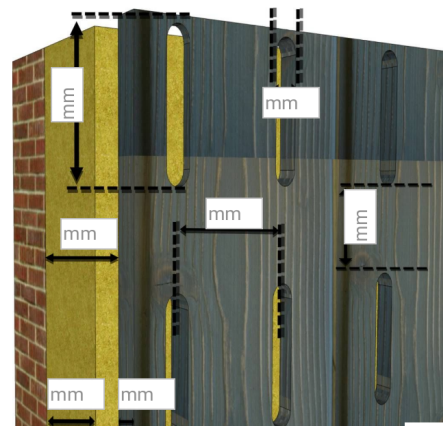
% Perforación: % Oclusión:

Introduzca las cotas en milímetros.



Análisis de material ranurado

Descargar



% Perforación: % Oclu:



Figura 14: Interfaz de la aplicación web para el cálculo de la absorción de sistemas multicapa basados en frisos de madera: izquierda, interfaz para paneles perforados; derecha, interfaz para paneles ranurados.

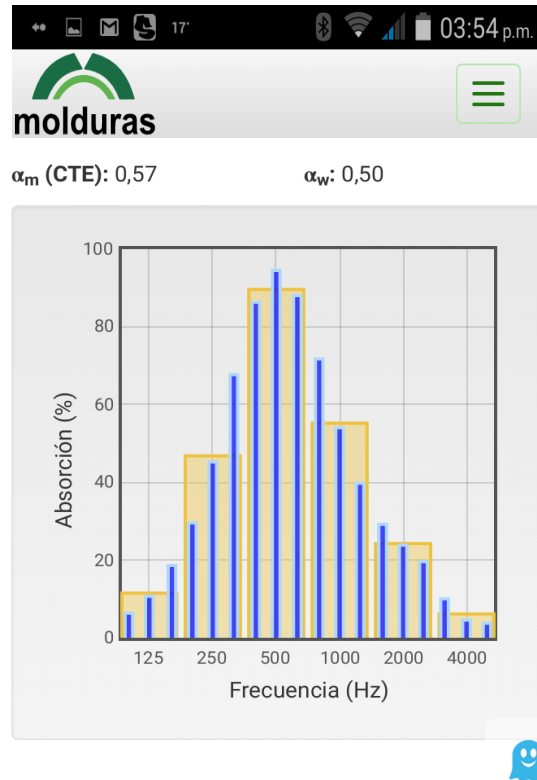


Figura 15: Presentación de resultados de cálculo en la aplicación WEB. Los resultados pueden descargarse en formato .csv e importarse en Excel.

4 CONCLUSIONES

Se ha presentado el proceso de diseño de una serie de frisos absorbentes. Todo el proceso de diseño ha sido soportado mediante la realización previa de cálculos. Mediante estos, se ha determinado la configuración óptima (distancia entre frisos y pared, espesor de lana mineral, tamaño y separación de las perforaciones) con el fin de obtener un producto que permita de forma efectiva reducir el tiempo de reverberación en frecuencias medias. Se ha desarrollado además una aplicación WEB, que permite recalcular otras posibles configuraciones para adaptar el producto a condiciones específicas en aquellos proyectos de acondicionamiento que así lo requieran.

REFERENCIAS

CTE DB HR, Documento Básico de Protección Frente al Ruido.

T. Cox and Peter D'Antonio. Acoustic Absorbers and Diffusers: Theory, Design and Applications. 2nd edition , Taylor and Francis (2004).

J. F. Allard and N. Atalla, Propagation of Sound in Porous Media : Modelling Sound Absorbing Materials Elsevier (first edition 1993): Wiley and Sons. Ltd., New York, (second edition 2009)

M. E. Delany and E. N. Bazley, Appl. Acoust.3, Acoustical Properties of fibrous absorbing materials. 105-116 (1970)

Sistemas de aislamiento con madera. Cubiertas ligeras.

Antonio Trincado Fernández

Ingeniero Industrial. Thermochip S.L.U.

Palabras clave: panel sándwich de madera, cubierta ligera, Thermochip.

Resumen

Los paneles sándwich de madera son una solución idónea para el cerramiento de cubiertas en edificaciones de calidad. Además de los múltiples acabados posibles, estos paneles presentan unas prestaciones tanto térmicas como acústicas configurables según las exigencias de la edificación, así como una gran facilidad y rapidez en la instalación, proporcionando por tanto una construcción de calidad a menor coste. Las cubiertas ligeras con paneles sándwich de madera evitan excesos de carga en toda la estructura, resultando muy interesantes no sólo en obra nueva sino también en rehabilitación. Al tratarse de productos prefabricados se garantizan las especificaciones del producto, avaladas por los correspondientes organismos certificadores, en contraste con las soluciones constructivas "in-situ". Aunque se trata de una solución constructiva ligera, las cubiertas con los paneles sándwich más habituales cubren las exigencias del DB HR del CTE tanto en aislamiento acústico a ruido aéreo como en acondicionamiento acústico para la inmensa mayoría de los proyectos.

1 LOS PANELES SÁNDWICH DE MADERA PARA CUBIERTAS

1.1 Antecedentes

Los paneles sándwich prefabricados de madera comenzaron a usarse en España como cerramiento de cubiertas inclinadas en los años ochenta. Desde entonces se han instalado decenas de millones de metros cuadrados en todo tipo de edificaciones a lo largo de toda la geografía nacional. En términos relativos, su empleo es cada vez mayor, tanto en obra nueva como en rehabilitación.

1.2 Composición y uso.

Los componentes principales de estos paneles son los siguientes:

- Una cara inferior decorativa. Habitualmente se emplean frisos o tarimas de madera, aunque también son frecuentes los tableros de partículas, los tableros de yeso, cemento-madera, madera-magnesita, los vinilos,...
- Un núcleo aislante, como poliestireno extruido, lanas minerales o fibras de madera.
- Una cara superior, normalmente un tablero de partículas.
- Otros: pueden añadirse láminas de impermeabilización, o en su caso barreras de vapor, tableros adicionales para cumplir una determinada función, láminas poliméricas de alta densidad,...

El panel se coloca sobre una estructura de madera o metálica, casi siempre a tres apoyos. Permite elementos de cubrición como tejas cerámicas, tejas de hormigón, cobre, zinc, pizarra,... tanto en cubierta no ventilada como ventilada, con doble rastrel, placas bajo-teja,...

Pese a que lo normal es que la cara inferior sea el techo visto desde el interior de la estancia, se ha instalado también panel con falso techo por debajo.

Otras variantes de panel incluyen cabios laterales, permitiendo la reducción de la estructura soporte.

1.3 Ventajas principales

Los paneles sándwich prefabricados de madera presentan las siguientes ventajas en el diseño y construcción de una cubierta:

- Cuentan con una gran variedad de acabados, compatibles con diversos usos de edificación y muy variados estilos constructivos.
- Mejoran la eficiencia energética de la edificación, por sus altas prestaciones térmicas.
- Cumplen con los requisitos del CTE en cuanto a seguridad de utilización, salubridad, protección frente al ruido,...
- Su instalación es sencilla y rápida, ahorrando tiempo y coste de construcción.
- Al tratarse de cubiertas ligeras, reducen muy considerablemente la estructura necesaria en toda la edificación; esto los hace especialmente adecuadas en trabajos de rehabilitación.
- Al ser productos prefabricados, su caracterización es de acuerdo a las normas correspondientes, cuentan con certificaciones oficiales, y se someten a rigurosos procesos de calidad por parte de los fabricantes. Esto supone una gran diferencia con respecto a soluciones instaladas en obra.

- Las distintas configuraciones, como por ejemplo el uso de un tipo de material aislante u otro, o el uso de membranas impermeables, láminas de alta densidad,... permiten satisfacer muy distintos grados de exigencia en los proyectos.

2 AISLAMIENTO A RUIDO AÉREO DE CUBIERTAS LIGERAS

2.1 EI DB HR del CTE

El Documento Básico de protección contra el ruido del código técnico de la edificación establece lo siguiente:

“2.1.1.a iv) El aislamiento acústico a ruido aéreo, $D_{2m,nT,Atr}$, entre un recinto protegido y el exterior no será menor que los valores indicados en la tabla 2.1, en función del uso del edificio y de los valores del índice de ruido día, L_d .”

“3.1.2.5.1 En la tabla 3.4 se expresan los valores mínimos que deben cumplir los elementos que forman los huecos y la parte ciega de la fachada, la cubierta o el suelo en contacto con el aire exterior, en función de los valores límite de aislamiento acústico entre un recinto protegido y el exterior indicados en la tabla 2.1 y del porcentaje de huecos expresado como la relación entre la superficie del hueco y la superficie total de la fachada vista desde el interior de cada recinto protegido.”

El tratamiento dado a las cubiertas es similar al de fachadas. La exposición al ruido exterior de las primeras suele diferir de las segundas; pero dejemos este debate para otro momento.

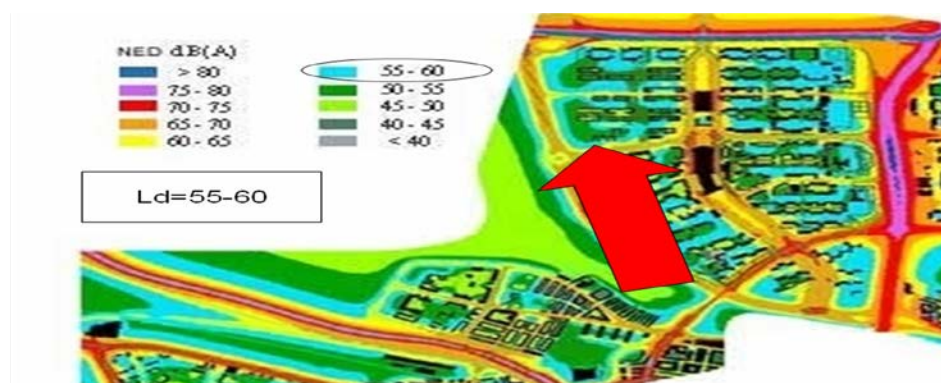
Será por tanto esencial en primer lugar conocer el índice de ruido L_d de la ubicación del edificio, que con el uso del mismo y el de las estancias del bajo cubierta nos darán el valor de la diferencia de niveles $D_{2m,nT}$ (que habrá que ponderar A y considerar si el ruido exterior dominante es ferroviario, de automóviles o de aeronaves); y que marcará el valor límite de aislamiento acústico. Si nos vamos con ese valor a la tabla 3.4, y considerando el porcentaje de huecos de la cubierta (que en la inmensa mayoría de los casos es inferior al 15%), obtendremos los índices de reducción acústica R_A (o en su caso R_{Atr}) tanto para los huecos -caso de existir- como para la parte ciega. Las soluciones de aislamiento propuestas deben superar el índice obtenido.

2.2 Ejemplo práctico

Consideremos un caso muy frecuente:

- Vivienda unifamiliar.
- Conocemos la ubicación exacta; existe un mapa de ruido para esa ubicación.
- Cubierta de 100m², 12 de los cuales irán con ventanas con un R_{Atr} de 26dBA, y la parte ciega con una solución que incluye un panel sándwich Thermochip[®].

Del mapa de ruido obtenemos el índice L_d , que como vemos a continuación se sitúa entre 55-60 dBA:

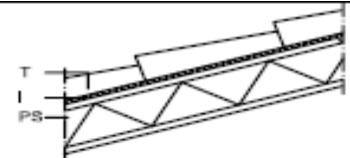
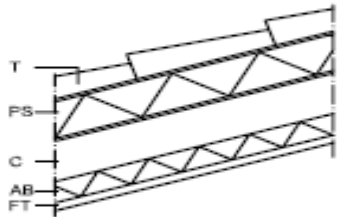


Con el valor anterior, de la Tabla 2.1 extraemos que el valor límite de aislamiento acústico $D_{2m,nT,Atr}$ para un uso residencial es de 30dBA.

A continuación, en la Tabla 3.4 obtendremos el índice de reducción sonora necesario, teniendo en cuenta que el porcentaje de huecos es del 12% y el índice de reducción sonora de las ventanas es 26dBA. Resulta un valor de 35dBA para la parte ciega.

El catálogo de elementos constructivos del CTE nos muestra diversas soluciones de aislamiento válidas:

4.1.13 Inclinada. Ligera. No ventilada

CUBIERTA INCLINADA							
PANEL CON NUCLEO AISLANTE							
T		tejado (Tejas, pizarra y placas)					
PS		panel sándwich con núcleo aislante ⁽¹⁾					
M		láminas metálicas					
NM		láminas no metálicas (paneles de madera)					
MW		núcleo de lana mineral					
XPS		núcleo de poliestireno extruido					
I		capa de impermeabilización					
C		cámara no ventilada					
AT		material absorbente acústico ⁽³⁾					
FT		falso techo					
Código	Sección	Panel con núcleo aislante PS	HE ⁽²⁾		HR		
			U (W/m ² K)	m (kg/m ²)	R _A (dBA)	R _{Atr} (dBA)	
C 13.3		NM	XPS	$1/(0,17+R_{AA})$	54	40 ⁽⁶⁾	35 ⁽⁶⁾
C 13.4		M	MW	$1/(0,38+R_{AA}+R_{AB})$	63	51 ⁽⁶⁾	48 ⁽⁶⁾

⁽¹⁾ La pendiente mínima de cubiertas inclinadas sin capa de impermeabilización está definida en el Documento Básico DB HS-1 Protección frente a la humedad

⁽²⁾ El factor de temperatura de la superficie interior, f_{int} se calculará según la siguiente expresión: $f_{int}=1-U \cdot 0,25$

⁽³⁾ Lana mineral o cualquier material absorbente acústico de resistividad al flujo del aire $\geq 5 \text{ kPa} \cdot \text{s/m}^2$

⁽⁴⁾ Valores para paneles con núcleo de lana mineral de 50 mm de espesor

⁽⁵⁾ Valores para paneles con núcleo de lana mineral de 80 mm de espesor

⁽⁶⁾ Valores para paneles con núcleo de poliestireno extruido de 50 mm de espesor

La solución C13.3, que incluye un tejado, lámina de impermeabilización y panel sándwich de madera con núcleo de poliestireno extruido, proporciona un valor de R_{Atr} de 36dBA, que es válida para el edificio propuesto.

Con distintas configuraciones de panel sándwich, tejado y capas intermedias podremos alcanzar los valores de aislamiento deseado, según la naturaleza de la edificación, su uso previsto y su ubicación.

3 ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO

En función de la composición del panel, se pueden obtener diversos valores de absorción. A modo de ejemplo, la tabla siguiente muestra los valores de absorción acústica ponderada para un panel Thermochip[®] TKH 10-40-19, compuesto por un tablero inferior de virutas de madera con magnesita, núcleo de XPS y tablero superior de aglomerado, de acuerdo con la norma EN-ISO 354: 2003, y expresado según la norma EN-ISO 11654:

Frecuencia Hz	100	125	250	500	1000	2000	4000	5000
α_w	0,04	0,05	0,08	0,14	0,28	0,73	0,60	0,54

Escogiendo las composiciones de panel más adecuadas en cada caso podremos alcanzar los valores de absorción necesarios para alcanzar el confort acústico deseado. La variedad de acabados posibles y sus múltiples variantes harán cumplir con prácticamente la totalidad de los casos que se puedan plantear.

REFERENCIAS

Real Decreto 314/2006 de 17 de marzo (BOE 28 de marzo de 2006). "Código Técnico de la Edificación". Ministerio de Vivienda, 2006.

Catálogo de elementos constructivos del "Código Técnico de la Edificación".

Norma EN-ISO 354: 2003. "Medición de la absorción acústica en una cámara reverberante".

Norma EN-ISO 11654. "Absorbentes acústicos para su utilización en edificios. Evaluación de la absorción acústica".

Comportamiento acústico de las lana minerales

Fernando Peinado Hernández
Ingeniero Técnico Industrial. AFELMA

Palabras clave: Lanas minerales

Resumen

Las lanas minerales son excelentes absorbentes acústicos, y por ello, resuelven eficazmente los problemas de acondicionamiento y aislamiento acústico en los locales.

En este trabajo se exponen brevemente las propiedades acústicas de las lanas minerales, así como la influencia de distintos factores en la efectividad acústica de las soluciones constructivas que incorporan lanas minerales.

1 Lanas Minerales

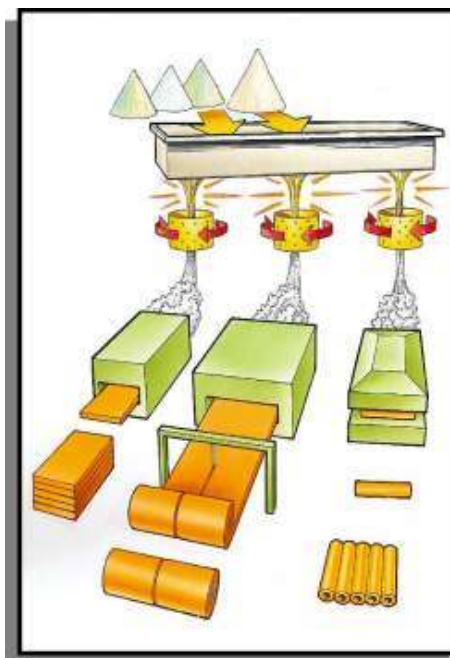
1.1 Definición

Según la norma de producto EN 13162, *Productos de manufacturados de lana mineral (MW)*, lanas minerales son materiales o productos aislantes de consistencia lanosa obtenidos por fusión de roca o vidrio.

Las materias primas, una vez mezcladas, se introducen en el horno de fusión, y mediante la aportación de energía primaria, se obtiene la fusión de la mezcla a altas temperaturas.

El fundido se estira mecánicamente para la generación de la lana, y finalmente, mediante polimerización y corte, transformarlo en los productos comerciales, en forma de rollos, paneles o elementos modeados.

Las lanas minerales tienen una estructura fibrilar, de porosidad abierta, con aplicación como material aislante térmico, absorbente acústico y protección pasiva frente al fuego.



1.1 Propiedades acústicas

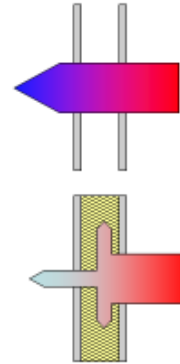
Según el apartado 4.1 del CTE DB-HR, los productos destinados en edificación y que contribuyen a la protección frente al ruido se caracterizan por:

1. La resistividad al flujo del aire, r , en $\text{kPa}\cdot\text{s}/\text{m}^2$, obtenida según UNE EN 29053, y la rigidez dinámica, s' , en MN/m^3 , obtenida según UNE EN 29052-1 en el caso de productos de relleno de las cámaras de los elementos constructivos de separación.

La resistividad al flujo del aire, r , es la capacidad que tienen los productos de reducir la energía acústica transmitida, disminuyendo la velocidad del sonido dentro del mismo.

La velocidad del sonido en el aire es de aproximadamente: 340 m/s

La velocidad del sonido en las lanas minerales es de aproximadamente: 180 m/s



2. La rigidez dinámica, s' , en MN/m^3 , obtenida según UNE EN 29052-1 y la clase de compresibilidad, definida en sus propias normas UNE, en el caso de productos aislantes de ruido de impactos utilizados en suelos flotantes y bandas elásticas.

La rigidez dinámica, s' , indica la capacidad del mismo para actuar como un muelle y consecuentemente, su capacidad para actuar como amortiguador acústico. Por esta razón, la rigidez dinámica es uno de los parámetros que determina el aislamiento acústico de materiales a ruido de impacto.

Para las lanas minerales, la rigidez dinámica es:

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

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

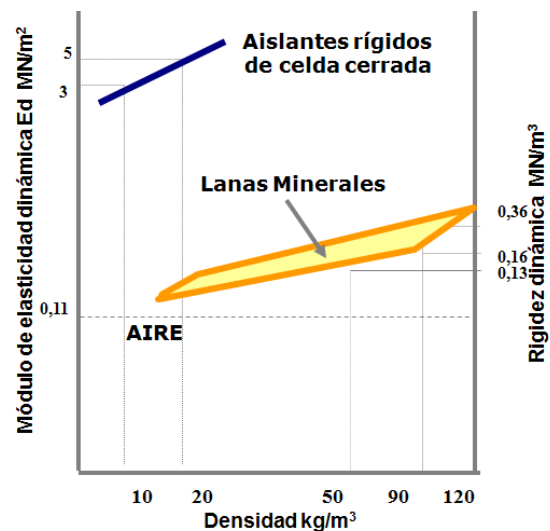
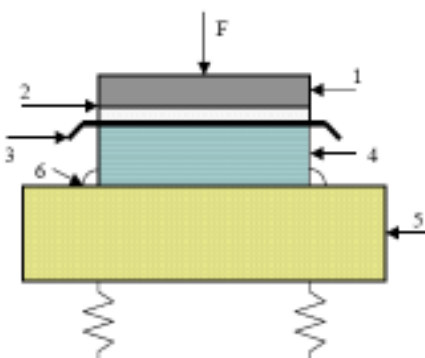
$$s' = \frac{F \cdot S}{\Delta d}$$

dónde:

S : es la superficie de la muestra.

F : es la fuerza dinámica perpendicular a la muestra.

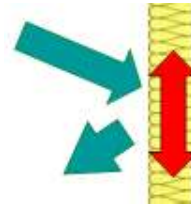
Δd : es el cambio dinámico resultante en el espesor del material elástico.



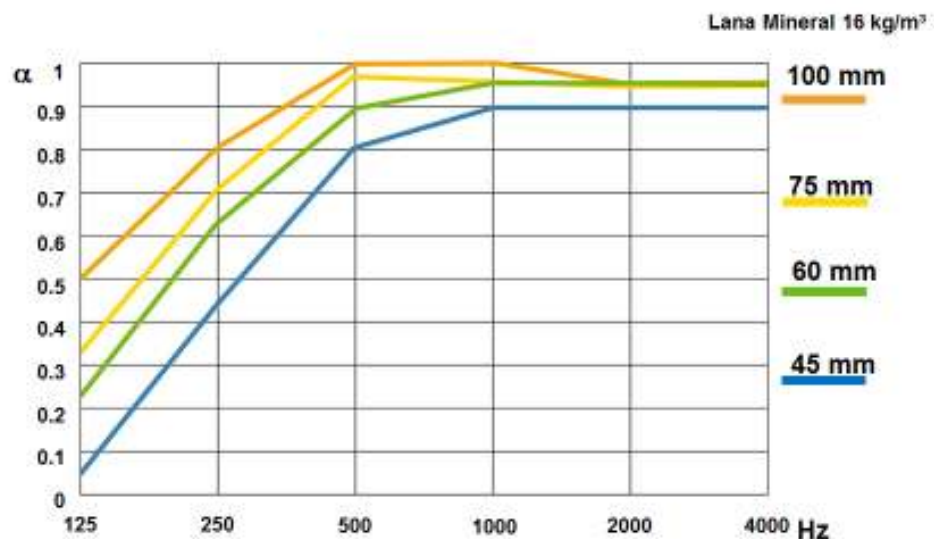
3. El coeficiente de absorción acústica, α , al menos, para las frecuencias de 500, 1000 y 2000 Hz y el coeficiente de absorción acústica medio α_m , en el caso de productos utilizados como absorbentes acústicos.

El coeficiente de absorción acústica, α , es la capacidad de absorber parte de la energía acústica incidente en un material.

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



Para las lanas minerales, el coeficiente de absorción acústica depende fundamentalmente del espesor de los productos, y en menor medida de otros factores como pueden ser la densidad o el tipo de fibrado:



2 Problemas acústicos

2.1 Acondicionamiento acústico

Son aquellas técnicas aplicadas al interior de un local, o recinto, con el objetivo de disminuir el ruido interior y de optimizar la calidad acústica del mismo.

Estas técnicas consisten en aumentar la absorción acústica del interior de los locales, mediante la utilización de productos con un alto coeficiente de absorción acústica, consiguiendo reducir el tiempo de reverberación interior del local.

El tiempo de reverberación del local se puede medir o estimar mediante el algoritmo:

$$T = \frac{1}{6} \cdot \frac{V}{A} \quad [s]$$

$$A = \sum S \cdot \alpha \quad [m^2]$$

$V =$ volume of the room $[m^3]$
 $S =$ area of the different surfaces $[m^2]$
 $\alpha =$ absorption of the different surfaces $[-]$

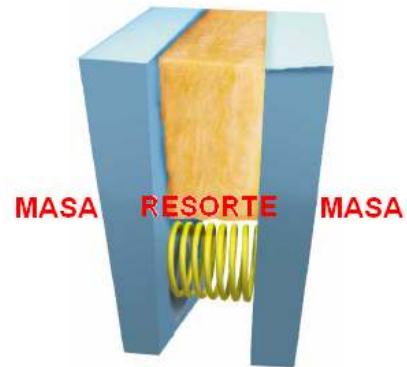
2.2 Aislamiento acústico

Es la capacidad de los cerramientos para reducir el ruido de inmisión, o de emisión, en un local a otro.

Pueden ser de dos tipos:

1. Ruido aéreo. Origen y recepción en el aire.
2. Ruido estructural (o de impacto). Origen en un medio sólido y la recepción es el aire.

Los sistemas más efectivos para el aislamiento acústico están formados por dos hojas con cámara rellena de lana mineral, que funcionan acústicamente bajo el principio MASA-MUELLE-MASA.



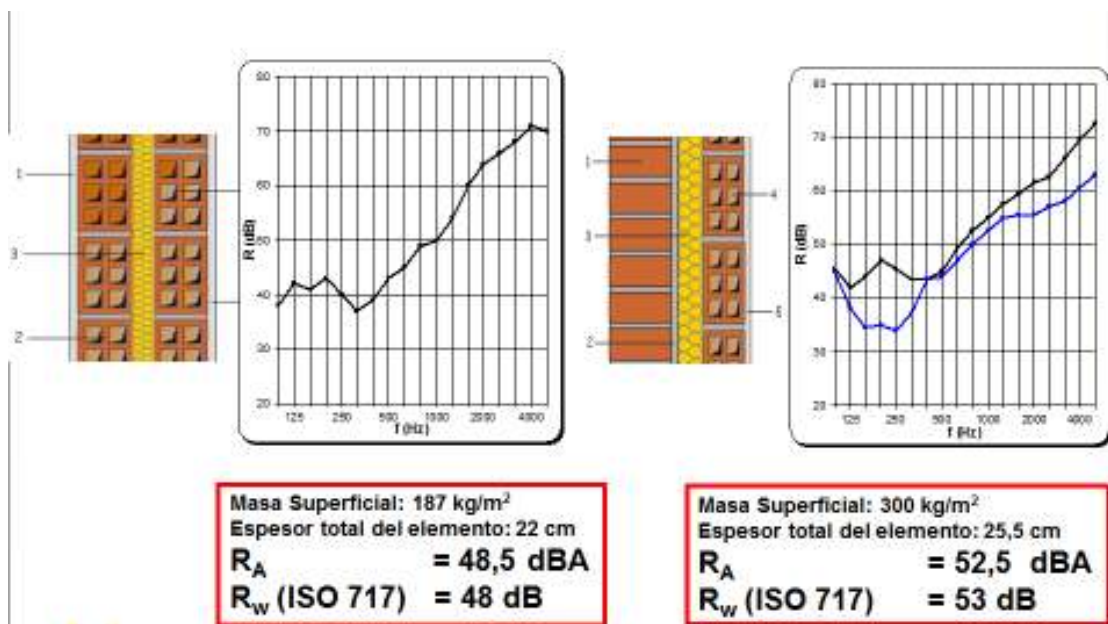
La eficacia de estos sistemas se fundamenta en la ELASTICIDAD de las lanas minerales, definida por su baja RIGIDEZ DINÁMICA, s' , medida en MN/m^3 .

Los valores de la RIGIDEZ DINÁMICA, s' , de las lanas minerales, disminuyen con la densidad del producto y con el aumento de espesor.

3 Factores que influyen en la eficacia acústica de los cerramientos

3.1 Influencia de la masa superficial del cerramiento

Para un mismo tipo de cerramiento, cuanto mayor sea la masa superficial del mismo, mayor será el aislamiento acústico que aporta.



3.2 Influencia de la separación entre hojas y su relleno

Cuanto mayor sea la separación entre las hojas, mayor será el aislamiento acústico aportado por la solución constructiva.

Yeso, 1cm+LGF7 (BP EEPS)+Aislamiento+LGF7 (BP EEPS)+Yeso, 1cm

PRODUCTO	Espesor (cm)	Masa	
		(kg/m ²)	R _A (dBA)
Lana de Roca 30 kg/m ³	4	128	57,4
Lana de Roca 70 kg/m ³	4	130	58,5
Lana de Vidrio 20 kg/m ³	4	128	58,5
Lana de Vidrio 20 kg/m ³	6	128	61,4

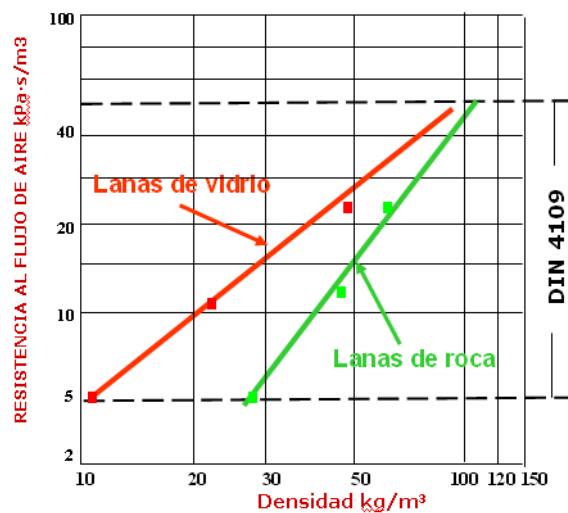
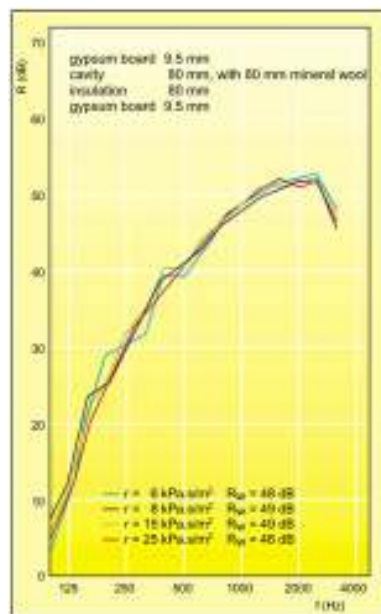
Nota: Resistividad al flujo de aire de todos los productos considerados: $r > 5 \text{ kPa}\cdot\text{s}/\text{m}^2$

3.3 Influencia de la resistividad al flujo de aire de la lana mineral

Para las lanas minerales que su resistividad al flujo de aire, r , se sitúe entre los valores:

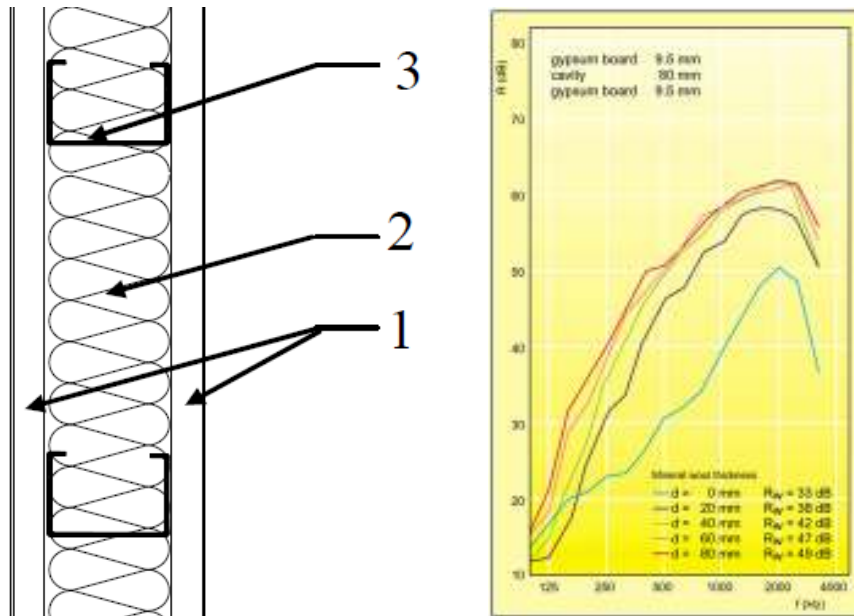
$$5 \text{ kPa}\cdot\text{s}/\text{m}^3 < r < 50 \text{ kPa}\cdot\text{s}/\text{m}^3$$

la resistividad al flujo del aire de la lana mineral que rellena la cámara de un cerramiento, no presenta ventajas en la práctica para el aislamiento acústico de los sistemas.



3.3 Influencia del espesor de relleno de lana mineral

Para una misma solución constructiva, cuanto mayor sea el espesor de la cámara rellena con lana mineral, mayor será el aislamiento acústico aportado por la misma.



Referencias

- [1] CTE DB-HR : Código Técnico de la Edificación. Documento Básico de Protección Contra el Ruido.
- [2] SAINT-GOBAIN (ISOVER). Guide de prescription de l'isolation thermique et acoustique
- [3] UNE-EN ISO 10140-1:2011: Medición en laboratorio del aislamiento acústico de los elementos de construcción. Parte 1. Reglas de aplicación para productos específicos. Requisitos para instalaciones y equipos de ensayo.
- [4] UNE-EN ISO 10140-2:2011: Medición en laboratorio del aislamiento acústico de los elementos de construcción. Medición del aislamiento al ruido aéreo.
- [5] UNE-EN ISO 10140-4:2011: Medición en laboratorio del aislamiento acústico de los elementos de construcción. Procedimientos y requisitos de medición.
- [6] UNE-EN ISO 10140-5:2011: Medición en laboratorio del aislamiento acústico de los elementos de construcción. Requisitos para instalaciones y equipos de ensayo.
- [7] UNE-EN ISO 3382-2:2008:
- [8] 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.
- [9] UNE-EN ISO 717-1:1997/A1:2007: Acústica. Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 1: Aislamiento a ruido aéreo. Modificación : Normas de redondeo asociadas con los índices expresados por un único número.

Soluciones de aislamiento acústico

Yago Massó Moreu

Dr. Ingeniero en Ciencia de los Materiales. ANDIMAT (Asociación Nacional de Fabricantes de Materiales Aislantes)

Palabras clave: materiales de aislamiento, DB-HR, propiedades acústicas, arcilla expandida, espuma elastomérica, poliestireno expandido, poliestireno extruido, espuma de poliuretano, paneles sándwich, polietileno, paneles de fibra de madera, vidrio, unidades de vidrio aislante, cerramientos acristalados.

Resumen

Esta comunicación pretende dar respuesta a la problemática de las prestaciones acústicas en los edificios. El Documento Básico de Protección Frente al Ruido del Código Técnico de la Edificación, CTE DB-HR, ha supuesto importantes novedades en la normativa acústica y su obligado cumplimiento pasa por conocer el mayor número de opciones, por lo que se incluyen soluciones concretas que aportan al mercado los fabricantes. Los objetivos son establecer unas premisas básicas de la acústica en la edificación, recoger el comportamiento acústico de los productos de ANDIMAT y servir como documento de consulta para los profesionales de la construcción que, sin ser expertos en materia de acústica, son responsables en sus respectivas parcelas de la calidad final de los edificios. Arquitectos, ingenieros, aparejadores, constructores y demás prescriptores podrán conocer en mayor detalle las peculiaridades de la nueva normativa y podrán prever los resultados finales de un trabajo de aislamiento acústico utilizando los datos contenidos en este documento.

1. NOCIONES BÁSICAS DE AISLAMIENTO ACÚSTICO EN EDIFICACIÓN

1.1. ¿Qué es el sonido?

Es una alteración física de un medio (gaseoso, líquido, o sólido) que produce variaciones de presión recogidas por el oído humano en forma de vibraciones en el tímpano. La unidad de medida del sonido es el decibelio (dB).

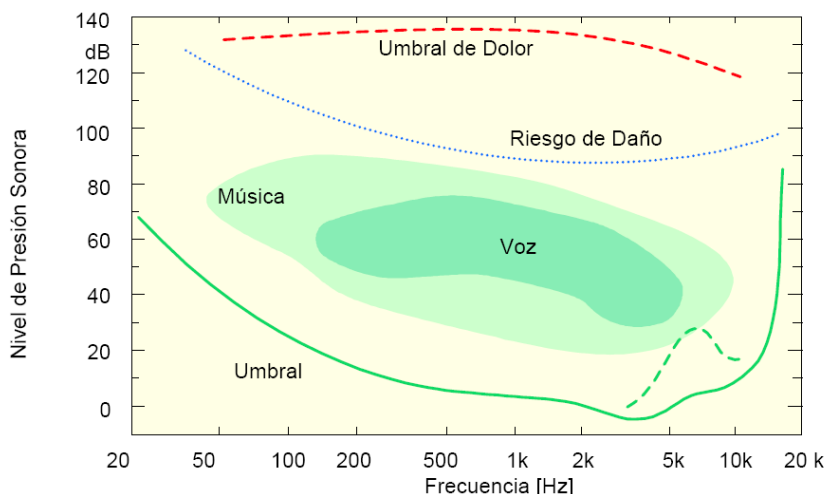
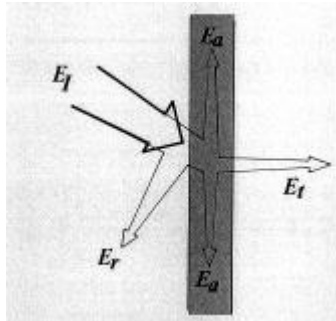


Figura 1. Campo audible en dB y Frecuencias

1.2. ¿Cómo se transmite?

Cuando el sonido incide sobre una superficie, éste es reflejado, absorbido y transmitido por esa superficie.



$$E_i = E_r + E_a + E_t$$

Dónde:

E_i : Energía sonora incidente

E_r : Energía sonora reflejada

E_a : Energía sonora absorbida

E_t : Energía sonora transmitida

Figura 2. Vías de transmisión de la energía sonora sobre una superficie

El sonido se detiene debido a la interposición de una barrera separadora. La absorción acústica se refiere a la amortiguación de las reflexiones en el interior de una habitación. Los materiales "duros" (vidrio, metal, azulejos, mármol...) reenvían el ruido. Los materiales "blandos" (alfombras, cortinas...) absorben el ruido. Al amortiguar las reflexiones, se obtiene una impresión sonora menos resonante y más agradable (es decir, una buena acústica). En un mismo tipo de construcción no siempre van a coincidir un buen aislamiento y una buena absorción.

1.3. ¿Qué es el ruido?

El ruido es un sonido molesto, que nos produce una sensación de incomodidad y que sufrimos habitualmente en nuestro lugar de residencia o en nuestro trabajo.

1.4. ¿Cómo se transmite el ruido?

Según su forma de transmisión el ruido se puede dividir en dos grandes grupos: ruido aéreo y ruido de impacto.

- Ruido aéreo: es aquel sonido que se transmite por el aire y se propaga en los edificios a través de los cerramientos (tabiques, forjados, fachadas, cubiertas, etc.). Los ruidos aéreos pueden propagarse desde el exterior hacia el interior (por ejemplo el tráfico, aeronaves,...), o bien entre vecinos o de un edificio a otro (por ejemplo la radio de los vecinos).
- Ruido de impacto: es causado por los pasos de personas, desplazamientos de muebles y objetos, portazos, instalaciones del edificio, caídas de objetos, etc..., este sonido genera una vibración en la estructura del edificio que hace que se convierta en un foco sonoro. Debido a la alta rigidez de los elementos constructivos, la vibración se transmite por la estructura del edificio y se emite como ruido en el aire en los diferentes lugares de dicho edificio. Para minimizar el ruido de impacto se colocan materiales elásticos que amortiguan la vibración inicial, evitando así la transmisión del ruido a través de la estructura.

La solución para aislar de los ruidos aéreos y de los ruidos de impacto no es la misma y, sin embargo, el problema planteado es de igual naturaleza: ¿qué cantidad de ruido dejan pasar los elementos constructivos?

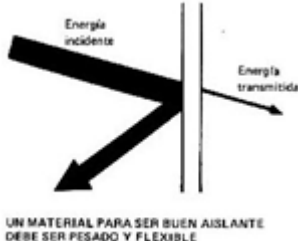

1.5. ¿Cómo combatir el ruido?

La forma más inmediata es interponer una masa suficiente entre la fuente emisora y el recinto receptor. Además existen materiales que aportan flexibilidad y estanqueidad al aire. Si no es factible alcanzar una masa

suficiente, entonces es conveniente complementar el aislamiento acústico con materiales que aporten absorción acústica.

Por ello es importante diferenciar qué es aislamiento y qué es absorción.

Tabla 1. Diferencias entre el aislamiento y absorción

Aislamiento: impedir la propagación de la energía acústica incidente	Absorción: transformación de parte de la energía incidente en calor
	

1.6. ¿Qué es el aislamiento acústico?

Aislar acústicamente es proporcionar una protección al recinto contra la transmisión del ruido generado.

Atendiendo al medio de transmisión del ruido existen dos grupos:

- **Aislamiento acústico a ruido aéreo:** el objetivo es que las ondas sonoras pierdan la mayor cantidad de energía posible al atravesar el cerramiento. Cuanto mayor sea la energía que se pierde, mayor será el aislamiento del cerramiento. El aislamiento acústico a ruido aéreo de un elemento constructivo se puede expresar de tres maneras:
 - en forma gráfica; representando el aislamiento (R en dB) en función de la frecuencia (F en Hz)
 - en forma tabulada; dando valores de frecuencias y aislamiento
 - mediante un único valor (R_w en dB)

Los parámetros que definen el aislamiento a ruido aéreo expresados en dBA son:

- R_A índice global de reducción acústica de un elemento (valor medido en laboratorio). A mayor valor de R_A , mejor aislamiento.
- D_{nTA} diferencia de presión acústica entre recintos interiores (valor medido in situ). A mayor valor de D_{nTA} , mejor aislamiento.
- $D_{2m,n,T,Atr}$ diferencia de presión acústica en fachadas y cubiertas a ruido exterior de tráfico y aeronaves (valor medido in situ). A mayor valor de $D_{2m,n,T,Atr}$, mejor aislamiento.

- **Aislamiento acústico a ruido de impacto:** el objetivo es cortar el camino de transmisión de vibraciones mediante la interposición de materiales elásticos. Para alcanzar un nivel de aislamiento a ruido de impacto hay que tener en cuenta:

- las características de la fuente de ruido por ejemplo, tipo de objeto que golpea el suelo,
- la estructura del suelo,
- el tipo de revestimiento o acabado del suelo, por ejemplo moquetas o revestimientos blandos favorecen el aislamiento.

Los parámetros que definen el aislamiento a ruido de impacto son:

- L_{nw} nivel global de presión de ruido de impacto normalizado medido en laboratorio, en dB. A menor valor de L_{nw} , mejor aislamiento.
- $L'_{nT,w}$ nivel global de presión de ruido de impacto normalizado medido in situ, en dB. A menor valor de $L'_{nT,w}$, mejor aislamiento.

2. NORMATIVA ACÚSTICA EN LA EDIFICACIÓN. CTE DB-HR

2.1. ¿Qué niveles de exigencia tiene?

Los valores de aislamiento acústico a ruido aéreo e impacto del CTE se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Requisitos de aislamiento del Código Técnico en función de los recintos

	RECINTO RECEPTOR	RECINTO EMISOR	REQUISITOS CTE DB-HR
Ruido aéreo	Recinto protegido	Recinto en la misma unidad de uso en edificios de uso residencial privado	$R_A \geq 33$ dBA
		Recinto no perteneciente a la misma unidad de uso y sin puerta o ventana	$D_{nT,A} \geq 50$ dBA
		Recinto no perteneciente a la misma unidad de uso y con puerta o ventana	$R_{A \text{ Muro}} \geq 50$ dBA $R_{A \text{ Puerta}} \geq 30$ dBA
		Recinto de instalaciones o recinto de actividad	$D_{nT,A} \geq 55$ dBA
		Exterior	$D_{2m,nT,Atr} \geq 30$ a $51^{[1]}$ dBA en función del ruido predominante, el L_d , tipo edificio y % huecos en fachada.
	Recinto habitable	Recinto en la misma unidad de uso en edificios de uso residencial privado	$R_A \geq 33$ dBA
		Recinto no perteneciente a la misma unidad de uso y sin puerta o ventana	$D_{nT,A} \geq 45$ dBA
		Recinto no perteneciente a la misma unidad de uso y con puerta o ventana	$R_{A \text{ Muro}} \geq 50$ dBA $R_{A \text{ Puerta}} \geq 20$ dBA
		Recinto de instalaciones o recinto de actividad	$D_{nT,A} \geq 45$ dBA
	Paredes medianeras entre edificios		$D_{2m,n,T,Atr} \geq 40$ dBA cada cerramiento o $D_{2m,n,T,Atr} \geq 50$ dBA ambos cerramientos juntos
Ruido impactos	Recinto protegido	Otra unidad de uso, zona común o recinto habitable	$L'_{nT,w} \leq 65$ dB
		Recinto de instalaciones o recinto de actividad	$L'_{nT,w} \leq 60$ dB
[1] Valores recogidos en la tabla 2.1 del DB-HR del CTE.			

2.2. ¿Cuáles son las características exigibles a los elementos constructivos?

Las características que se deben conocer de los elementos constructivos para luego poder usar las distintas opciones de cálculo y simulación se describen en la tabla 3.

Tabla 3. Características de los productos de aislamiento acústico

Elemento	Características
Separación vertical	Índice global de reducción acústica ponderado A R_A
Para Trasdosados	La mejora del índice global de reducción acústica ponderado A ΔR_A en dBA

Elemento	Características	
Separación horizontal		Índice global de reducción acústica ponderado A R_A en dBA Nivel global de presión a ruido de impactos $L_{n,W}$ en dB
	Suelos flotantes	Índice global de reducción acústica ponderado A R_A en dBA Reducción del nivel global de presión a ruido de impactos ΔL_W en dB La mejora del índice global de reducción acústica ponderado A ΔR_A en dBA
	Techos suspendidos	El coeficiente de absorción acústica medio α_m , si su función es de control de reverberación
Las fachadas y las cubiertas		Índice global de reducción acústica R_w en dB Índice global de reducción acústica ponderado A, R_A en dBA Índice global de reducción acústica ponderado A, para ruido de automóviles $R_{A,tr}$ en dBA
	Parte ciega	el término de adaptación espectral del índice de reducción acústica para ruido rosa incidente C en dB el término de adaptación espectral del índice de reducción acústica para el ruido de automóviles y aeronaves C_{TR} en dB
Fachadas	Huecos en fachadas y cubiertas	Lo mismo que para la parte ciega: $R_w, R_A, R_{A,tr}, C, C_{TR}; Y$ Clase de permeabilidad de la ventana Índice global de reducción acústica ponderado A, para ruido de automóviles, $R_{A,tr}$ para las cajas de persiana, en dBA
Aireadores	Diferencia de niveles normalizada ponderada A, $D_{n,eAtr}$ en dBA C, es el término de adaptación espectral del índice de reducción acústica para ruido rosa incidente. C_{tr} , es el término de adaptación espectral del índice de reducción acústica para el ruido de automóviles y aeronaves.	

2.3. ¿Cuáles son las características exigibles a los productos?

La información de los productos utilizados en edificación y que contribuyen a la protección frente al ruido debe ser proporcionada por los fabricantes.

Los productos que componen los elementos constructivos homogéneos se caracterizan por la masa por unidad de superficie (kg/m^2), y las características que contribuyen a la protección frente al ruido según se indica en el CTE se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Características de los productos de aislamiento acústico

Propiedad	Símbolo	Unidades	Norma de medición
Para productos de relleno de cámaras en elementos de separación			
Resistividad al flujo del aire	r	kPa s/m^2	UNE EN 29053
Rigidez dinámica	s'	MN/m^3	UNE-EN 29052-1
Para productos aislantes a ruido de impacto en suelos flotantes y bandas elásticas			
Clase de Compresibilidad	CP	niveles	Clases definidas en las normas de producto
Rigidez dinámica	s'	MN/m^3	UNE-EN 29052-1
Para productos usados como absorbentes acústicos			
Coeficiente de absorción acústica	α_m	adimensional	α_m UNE-EN ISO 354 o α_w ponderado UNE-EN ISO 11654

Los productos utilizados en edificación y que contribuyen a la protección frente al ruido por las siguientes propiedades:

a) Para productos de relleno de cámaras en elementos de separación:

- **Resistividad al flujo del aire:** Es una característica cuantificable en productos porosos y de celda abierta. Valores bajos significan que el aire necesita una menor presión para traspasar el producto, por tanto las ondas acústicas se verán amortiguadas por rozamiento cuando atraviesa el medio poroso absorbiendo parte de la energía y aumentando el aislamiento.
- **Rigidez dinámica:** Esta característica mide la capacidad de amortiguación de un producto. Cuanto más bajo es el valor de rigidez dinámica, más elástico es el comportamiento de dicho producto. Por tanto, un producto con un valor bajo de rigidez dinámica tendrá más efectividad el sistema masa-muelle-masa en elementos de separación verticales con PYL. Esta característica es importante para algunas aplicaciones de aislamiento a ruido aéreo.

b) Para productos aislantes a ruido de impacto en suelos flotantes y bandas elásticas:

- **Rigidez dinámica:** Esta característica mide la capacidad de amortiguación de un producto. Cuanto más bajo es el valor de rigidez dinámica, más elástico es el comportamiento del producto. Por tanto, un producto con un valor bajo de rigidez dinámica tendrá más efectividad como sistema masa-muelle-masa en un suelo flotante. Esta característica es importante para aislamiento a ruido de impacto.
- Para aquellos productos que tengan definida la **Clase de compresibilidad** en su norma de producto (Norma UNE-EN), es una característica exigible. La compresibilidad mide deformación de un material a lo largo del tiempo bajo una carga constante, como por ejemplo el peso del mortero, baldosas o muebles. En algunas normas de producto se especifican los niveles que deberá declarar el fabricante. Es importante tener en cuenta que los niveles fijados en las normas de producto son diferentes según la familia de productos. Por el contrario existen otros materiales que no teniendo norma de producto, o estando en elaboración, no indican dichos valores, aunque algunos fabricantes han realizado ensayos de reducción de espesor bajo carga constante, de acuerdo a la Norma UNE 1606 y UNE 12431, para demostrar que las propiedades acústicas de sus productos no se ven afectadas al cabo del tiempo.

c) Productos usados como absorbentes.

- **Absorción acústica:** Esta característica es importante en materiales que actúan como absorbentes acústicos, ya sean materiales ocultos o vistos. En general, se obtiene mayor efectividad del sistema masa-muelle-masa cuanto más elevado es el coeficiente de absorción acústica. La característica de absorción acústica representa la cantidad de energía que absorbe el material, por tanto impide la transmisión del ruido de una hoja a otra haciendo que aumente el aislamiento. Su cálculo se hace de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 354 para frecuencias 500, 1000 y 2000 Hz ó α_m y la norma UNE-EN ISO 11654 para el cálculo del α_w ponderado.

2.4. ¿Cómo calcular y justificar las prestaciones del edificio conforme al DB-HR?

En el pliego de condiciones del proyecto deben expresarse las características acústicas de los productos y elementos constructivos obtenidas mediante ensayo en laboratorio. Si éstas se han obtenido mediante métodos de cálculo, los valores obtenidos y la justificación de los cálculos deben incluirse en la memoria del proyecto y consignarse en el pliego de condiciones.

Una vez que tenemos los datos anteriores podemos:

- a) Utilizar tablas de la opción simplificada del DB HR.
- b) Utilizar el modelo de cálculo de la opción general del DB HR (basado en UNE-EN 12354).
- c) Utilizar el software proporcionado por el Ministerio.
- d) Utilizar otros futuros Documentos Reconocidos, como el Catálogo de Elementos Constructivos (CEC), Acoubat-DBMAT, otros.

Ventajas e inconvenientes de la Opción Simplificada y Opción General

- Ambas soluciones son válidas y están aprobadas en el DB-HR y conducen al objetivo final, que es cumplir con las exigencias prestacionales del DB-HR.
- La Opción Simplificada limita las opciones de diseño, puesto que sólo contempla un número muy limitado de soluciones constructivas.
- El cálculo a través de las tablas de la Opción Simplificada da soluciones efectivas pero sobredimensionadas.
- Incluso en soluciones contempladas en la Opción Simplificada quedan limitadas masas superficiales o características que reducen las posibilidades de diseño.
- La Opción General aparentemente es más complicada a la hora del cálculo, pero existen multitud de herramientas informáticas sencillas de usar que ayudan a su justificación.
- Mediante la Opción General las soluciones son más ajustadas a las necesidades reales (sin sobredimensionamiento) y dan gran libertad de escoger materiales y soluciones.

3. PROPIEDADES DE LAS FAMILIAS DE MATERIALES AISLANTES

A continuación se definen algunas de las familias de los materiales aislantes con sus propiedades acústicas más relevantes.

3.1. Arcilla expandida

Es un agregado ligero de partículas esféricas con una estructura interna formada por una espuma cerámica con microporos y una superficie rígida y resistente.

Existen bloques de hormigón ligero fabricado con arcilla expandida, arena, hormigón y agua. El bloque al estar hecho de hormigón con arcilla expandida es ligero y manejable. Debido a la estructura especial del bloque, ofrece un aislamiento acústico que permite proteger el ambiente interno de los ruidos exteriores. Existen bloques diseñados acústicamente para medianerías y zonas comunes.



Figura 3. Bloque de arcilla expandida

3.2. Espuma elastomérica

Las espumas elastoméricas se emplean básicamente como aislantes acústicos para todo tipo de instalaciones. Se trata de materiales elaborados a partir de caucho sintético, obteniéndose un material totalmente flexible y adaptable, fácil de trabajar e instalar.

Normalmente se presenta en forma de célula cerrada (producto totalmente liso que no presenta poros en su superficie), de ahí que trabaje como aislante acústico. El poder acústico de estos materiales se incrementa al producirlos con célula abierta, actuando así como absorbentes acústicos, idóneos para el acondicionamiento de locales.

Combinaciones de ambos materiales son una buena solución para aislar y/o acondicionar tuberías, equipos y locales.

Si se aíslan las tuberías, bajantes y conductos con espumas elastoméricas 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.

Las espumas elastoméricas se emplean básicamente como aislantes acústicos para todo tipo de instalaciones. Se trata de materiales elaborados a partir de caucho sintético, obteniéndose un material totalmente flexible y adaptable, fácil de trabajar e instalar.

Normalmente se presenta en forma de célula cerrada (producto totalmente liso que no presenta poros en su superficie), de ahí que trabaje como aislante acústico. El poder acústico de estos materiales se incrementa al producirlos con célula abierta, actuando así como absorbentes acústicos, idóneos para el acondicionamiento de locales.

Combinaciones de ambos materiales son una buena solución para aislar y/o acondicionar tuberías, equipos y locales.

Si se aíslan las tuberías, bajantes y conductos con espumas elastoméricas 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 a la estructura del edificio.

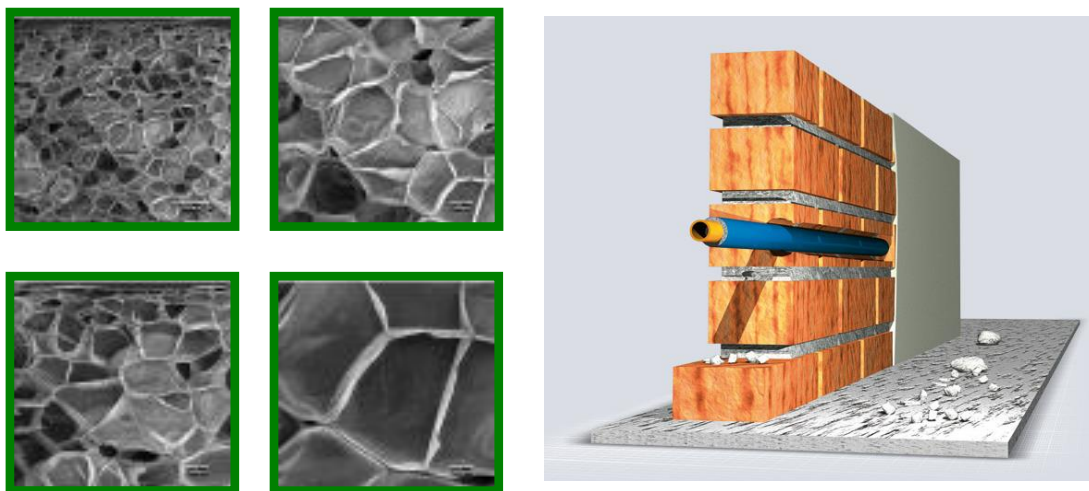


Figura 4. Detalle microscópico y dibujo de una tubería aislada con espuma elastomérica

3.3. Placa de Yeso Laminado (PYL)

Se utiliza en paredes (tabiques y trasdosados), techos y suelos a base de placas de yeso laminado, que consiguen un menor espesor y un aislamiento acústico y térmico elevados. Existen sistemas específicos para cuartos húmedos, absorción acústica, aislamiento térmico, soleras y suelos calefactados, protección frente al fuego.

Los sistemas de falsos techos se construyen con placas perforadas y ranuradas de distintos tipos que permiten, además de una buena solución de acondicionamiento acústico para cada caso, soluciones para decorar todo tipo de ambiente.

El montaje de la PYL es rápido y bastante limpio, pues apenas se producen escombros y polvo ya que no hay que utilizar mortero sino únicamente raíles o tornillos, haciendo que sea una buena solución tanto en obra nueva como en rehabilitación por el interior.

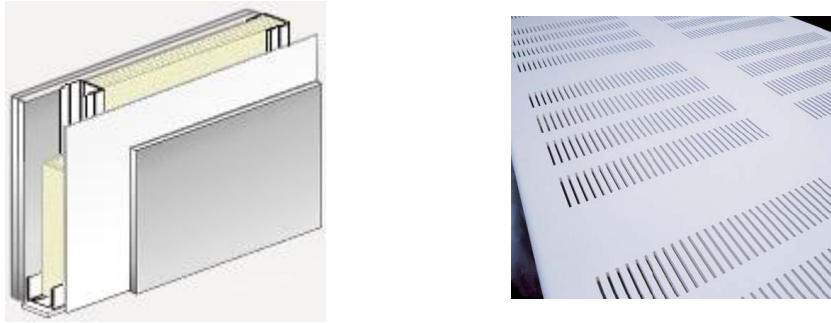


Figura 5. Detalle microscópico y dibujo de una tubería aislada con espuma elastomérica

3.4. Espuma de poliestireno Expandido Elastificado (EEPS ó EPS-t)

Dentro de la familia EPS existen dos tipos de productos diferenciados, el poliestireno expandido (EPS) y el poliestireno expandido elastificado (EEPS o EPS-t). El proceso de elastificación dota al poliestireno expandido de propiedades adecuadas para el aislamiento acústico.

Las principales aplicaciones para las que se utiliza este producto son: en suelos flotantes, bandas desolidarizantes bajo fábricas de ladrillo y trasdosados para elementos verticales, aunque también se empiezan a obtener buenos resultados en relleno de cámaras.

La normativa de producto que mide sus propiedades y es obligatoria para el mercado CE es la Norma UNE-EN 13163. En ella se dan las directrices para la medida de las propiedades acústicas. En la siguiente tabla se muestran las propiedades comunes del producto.

Tabla 5. Características típicas de los productos de aislamiento acústico con EPS

Rigidez Dinámica s' (MN/m^3) según UNE 29052-1	Clase de Compresibilidad (CP) según UNE 12431
Entre 5 - 20 MN/m^3	Generalmente CP5 (para carga < 2 kPa) CP2 (para carga < 5 kPa)

EEPS para suelos flotantes:

En el mercado podemos encontrar el EEPS en planchas de material simple, o combinado con otros materiales.

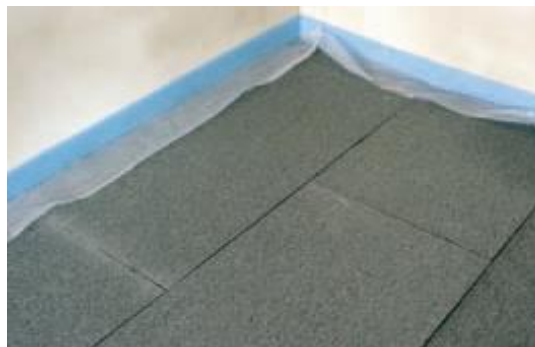


Figura 6. Detalle de instalación de un Suelo flotante con EEPS

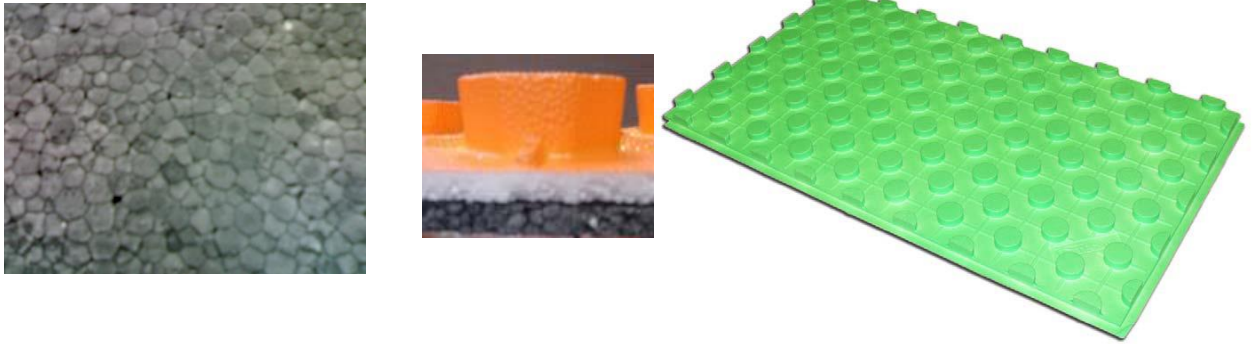


Figura 7. Detalle EEPS simple y EEPS combinado con placa de suelo radiante

EEPS para bandas resilientes:

Las bandas resilientes colocadas en el perímetro de la fábrica evitan las transmisiones laterales por flancos.



Figura 8. Colocación de banda de EEPS en perímetro de fábrica

EEPS para trasdosados directos y cámaras:

Para paramentos verticales el producto se puede usar tanto para realizar trasdosados directos, combinando el material con placa de yeso laminado (PYL), o como relleno de cámaras.

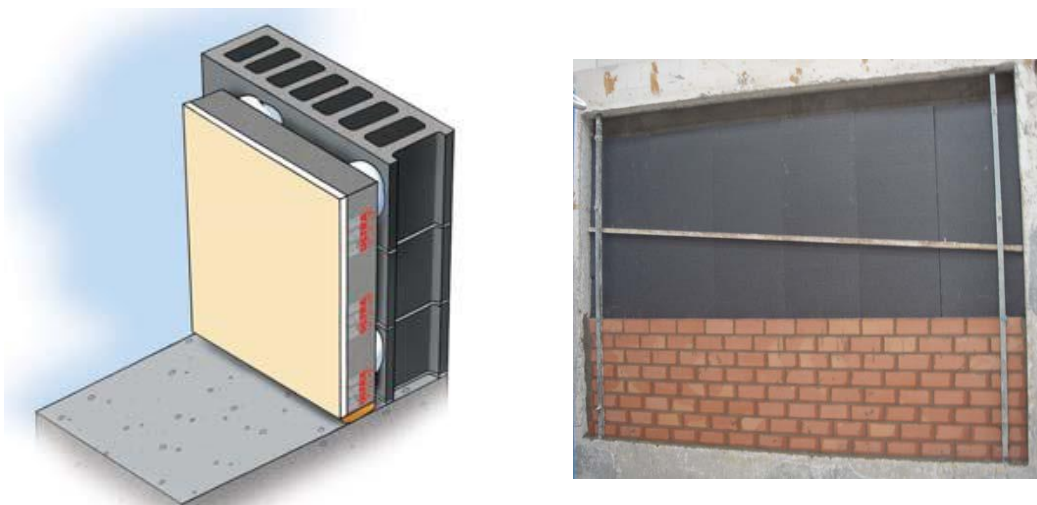


Figura 9. Detalle de la instalación de EEPS en trasdosados directos y cámaras de aire

3.5. Espuma de polietileno reticulado

El polietileno reticulado se debe diferenciar de la espuma de polietileno no reticulado, ya que la espuma de polietileno reticulado debido a su propia naturaleza posee altas prestaciones mecánicas y de resistencia al envejecimiento. La diferencia en la estructura física de ambos materiales (reticulado y no reticulado) implica un comportamiento también diferente, que puede apreciarse sobre todo en aplicaciones de alta exigencia técnica.

La espuma de polietileno reticulado, gracias a un complejo proceso de fabricación, está formada por cadenas lineales de polietileno que están unidas entre sí por fuertes enlaces químicos creando una estructura en forma de red tridimensional (reticulación). El resultado es un producto reforzado, muy resistente, con un incremento notable de las propiedades mecánicas y de la resistencia a agentes químicos, manteniéndose dichas propiedades prácticamente invariables con el tiempo y reduciéndose muy poco el espesor del producto bajo las cargas habituales de la aplicación. Esto hace que las propiedades acústicas originales del material reticulado y del sistema constructivo se mantengan invariables durante la vida del edificio. Además su estructura celular cerrada la hace impermeable, facilitando su instalación, no necesitándose de capas o laminas adicionales impermeables.



Figura 10. Detalle de instalación de lámina de PE reticulado en suelo flotante

- **Uso en suelos flotantes:** El suelo flotante está formado por el solado y su capa de apoyo, reposando todo el sistema sobre el forjado, intercalándose una lámina elástica anti-impacto de PE reticulado, que disminuirá el ruido transmitido por estructura.
- **Uso en elementos de separación verticales:** Las bandas elásticas colocadas en el perímetro de la fábrica (tabique-pared) evitan las transmisiones laterales por flancos. En los encuentros con forjados las bandas elásticas deben colocarse en los encuentros de las particiones de fábrica, ya sean elementos de separación verticales del tipo 2 o tabiques con bandas elásticas, con los forjados. Banda elástica: banda elástica perimetral de al menos 10mm de espesor utilizada para interrumpir la transmisión de vibraciones en los encuentros de la pared con suelos, techos y otras paredes. Se consideran materiales adecuados para las bandas aquellos que tengan una rigidez dinámica, s' , menor que 100 MN/m³ tales como el poliestireno elastificado, la espuma de polietileno y otros materiales con niveles de prestación análogos

3.6. Espuma de poliestireno Extruido (XPS)

Las planchas de poliestireno extruido (XPS) son un aislamiento ligero, rígido y con una estructura celular cerrada. Estas propiedades hacen que este tipo de aislamiento posea una elevada resistencia a compresión y

una prácticamente nula absorción de humedad. La resistencia a compresión evita que el poliestireno extruido pierda sus propiedades como aislante cuando está sometido a cargas permanentes en periodos largos de tiempo, 50 años de vida útil del edificio. El que este tipo de aislamiento no absorba prácticamente humedad garantiza además que sus propiedades térmicas no se van a ver mermadas con el paso del tiempo en condiciones de presencia de humedad.

Con estas propiedades tan particulares dentro del mundo de los aislantes el poliestireno extruido es especialmente utilizado en las aplicaciones de aislamiento de cubiertas y aislamiento de cerramientos en contacto con el terreno, ya sean cerramientos perimetrales o incluso las cimentaciones del edificio. La ejecución de este tipo de cerramientos conforme a los estándares utilizados hace que el conjunto del mismo cumpla con la normativa vigente en cuanto a ruido según la aplicación de la ley de masas.

En conclusión, las planchas de XPS son un buen aislante y son idóneas para cualquier solución de cerramiento exterior (cubiertas, fachadas, suelos) de los edificios. Y, en cuanto a acústica, como se puede comprobar en la información proporcionada sobre elementos constructivos, los sistemas en que se integran los productos de XPS (cubiertas, fachadas, suelos,..) permiten que el edificio satisfaga sin ninguna dificultad los requisitos reglamentarios del CTE DB-HR.

3.7. Espuma de Poliuretano (PUR)

Dentro de la familia de la espuma de poliuretano existen dos productos diferenciados: Espumas de celda cerrada y espumas de celda abierta. Así mismo existen dos tipos de aplicaciones: Proyección e inyección.

Las Principales características acústicas de la espuma de poliuretano son:

- Para la espuma de Poliuretano de celda cerrada con densidad 30 -35 kg/m³



Frecuencia (Hz)	Coefficiente de absorción
125	0,12
250	0,18
350	0,20
500	0,27
1.000	0,19
2.000	0,62
4.000	0,22

Figura 11. Detalle de instalación de espuma de poliuretano de celda cerrada aplicado in-situ

- Para la espuma de poliuretano de celda abierta tiene dos aplicaciones en función de su densidad, si son productos de baja densidad (12 a 30 Kg/m³) se emplean para relleno en cámara por inyección o aislamiento proyectado en cerramientos verticales y los productos de alta densidad (50 a 70 Kg/m³) se emplean para suelos flotantes.

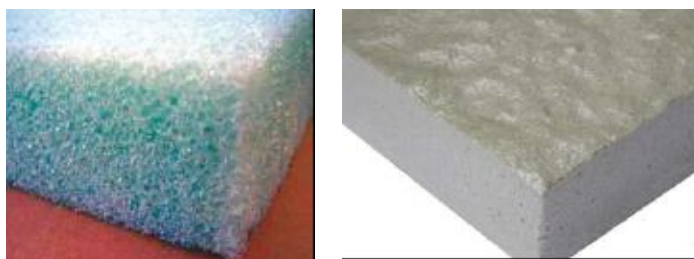


Figura 12. Detalles espumas Poliuretano Celda abierta de baja y alta densidad

3.8. Paneles Sándwich de Poliuretano Inyectado:

El panel sándwich de poliuretano inyectado es un producto formado por dos chapas metálicas y una parte central de espuma rígida de poliuretano. A efectos de sus usos y propiedades se considera como un único producto.

3.9. Paneles de fibra de madera

Es un producto aislante fabricado a partir de virutas de madera de diámetros comprendidos normalmente entre 1 y 2 mm que se compactan normalmente con un aglomerante como por ejemplo cemento blanco. Existen en el mercado paneles compuestos de fibra de madera combinados con aislantes de lana mineral y poliestireno expandido (EPS) que aportan mejores prestaciones térmicas.

La masa y estructura fibrosa de los paneles, así como su bajo módulo de elasticidad, le proporcionan altas prestaciones en corrección acústica interior de locales (fono-absorción) y en la mejora del aislamiento acústico exterior de los sistemas constructivos donde se integran.

Suelen emplearse en espacios donde se requiera una absorción acústica elevada, combinada con aislamiento térmico y acústico. También se emplea en muros de doble hoja, tablero soporte de cubiertas inclinadas, suelos flotantes, soporte de revocos y revistiendo techos y paredes incluso en parkings o sótanos.



Figura 13. Detalles de paneles de fibra de madera

3.10. Vidrio

La primera consideración que resulta necesario realizar es la diferenciación de los diferentes productos vítreos utilizados en el acristalamiento de los huecos. Si bien el material es uno, el vidrio, las diferentes presentaciones de acristalamiento necesarias para cumplir otros requisitos exigibles hacen que sus prestaciones acústicas difieran del propio material.

Entre los diferentes productos de acristalamiento podemos distinguir tres familias principales que, a su vez, pueden verse complementadas en sus prestaciones por otras características como el control solar, el aislamiento térmico, la seguridad o la estética sin que ello afecte a su comportamiento como aislante acústico mientras su configuración física (espesores y masa de sus componentes) no se vean modificados:

- Vidrio monolítico
- Vidrio laminar
- Doble acristalamiento

En general y haciendo abstracción del entorno de frecuencias próximas a la frecuencia crítica, el comportamiento del vidrio como aislante acústico es mejor frente a altas frecuencias que frente a las bajas frecuencias.

Vidrio monolítico

El vidrio monolítico se rige por la ley de masas. La curva de aislamiento típica se caracteriza por tres zonas:

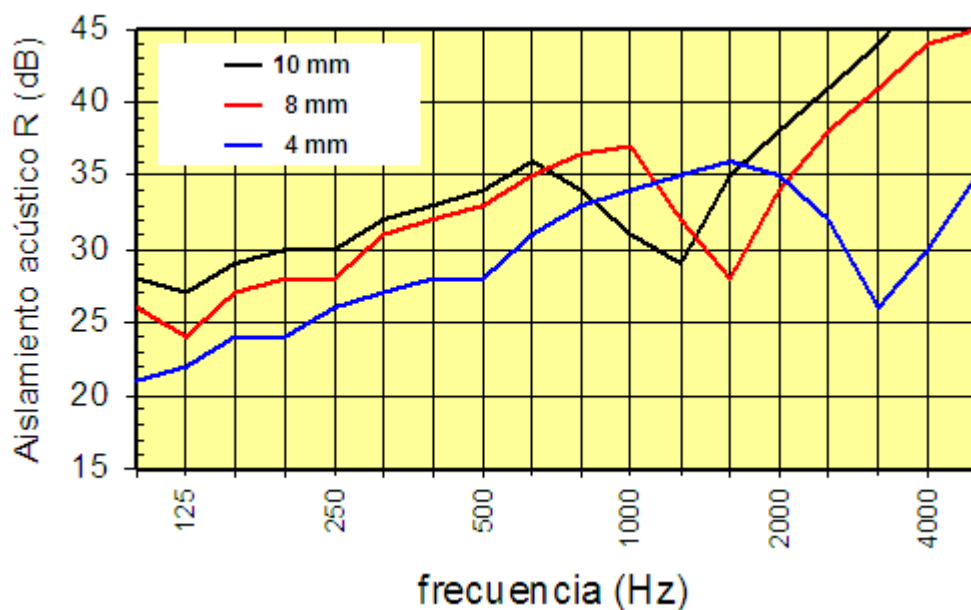


Figura 14. Curva de aislamiento típica de los vidrios monolíticos

En la primera zona, el aislamiento acústico frente a los ruidos aéreos aumenta. Un vidrio monolítico de 8 mm presenta, por ejemplo, un aumento de 4-5 dB cuando la frecuencia se duplica; esto se produce hasta aproximadamente 1000 hertzios.

En la segunda zona, el aislamiento acústico disminuye. Se trata de la zona próxima a la frecuencia crítica. Esta frecuencia crítica es la frecuencia a la que un vidrio empieza espontáneamente a vibrar al recibir un impacto. A esta frecuencia, el ruido se transmite más fácilmente y, por tanto, el acristalamiento registra una pérdida del nivel de aislamiento acústico. La frecuencia crítica depende del espesor del vidrio. En el caso de una temperatura de habitación, puede aplicarse la siguiente regla:

$$\text{Frecuencia crítica (Hz)} = 12.800/\text{espesor (mm)}.$$

Cuando se aumenta el espesor del vidrio, la frecuencia crítica disminuye hacia frecuencias inferiores

Tabla 6. Frecuencias críticas en vidrios monolíticos en función del espesor

Espesor vidrio (mm)	frecuencia critica (Hz)
4	3200
6	2133
8	1600
10	1280

En la tercera zona, el aislamiento acústico registra una rápida subida (hasta 9 dB de ganancia cuando se duplica la frecuencia).

Vidrio laminar

Un vidrio laminar, formado por dos o más láminas de vidrio unidas entre si por un plástico intercalario, normalmente PVB (Butiral de Polivinilo), ofrece 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.

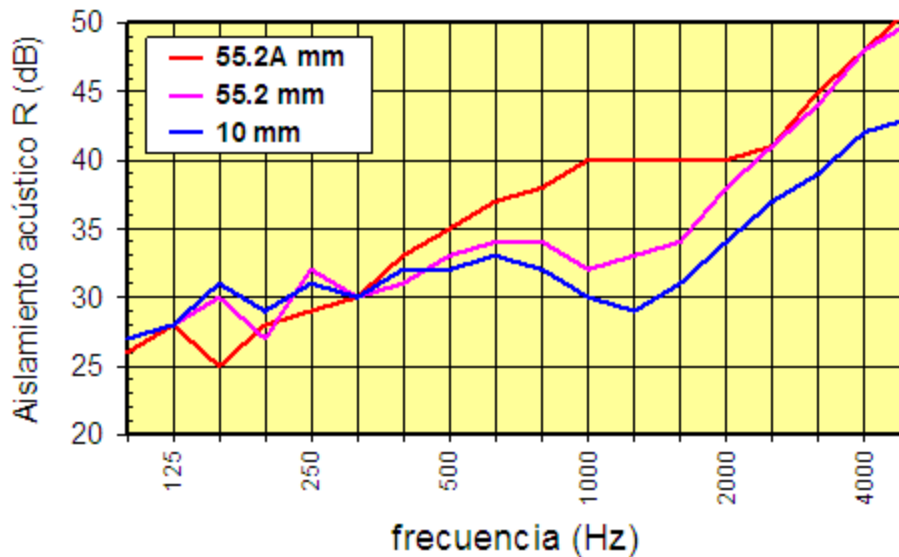


Figura 15. Curva de aislamiento típica de los vidrios laminares

La utilización de un PVB especial acústico, PVB (A), con mejores prestaciones acústicas, elimina prácticamente la disminución del aislamiento acústico en torno a la frecuencia crítica, gracias al efecto óptimo de amortiguamiento de la capa intermedia elástica de PVB (A). De esta forma, se mejoran las prestaciones de un vidrio monolítico y se suman las ventajas de un vidrio de seguridad. Los valores de aislamiento acústico de un PVB (A) que tenga una mejor acústica mejoran por término medio entre 1 y 3 dB (R_w) y esta mejora puede llegar a ser de hasta 10 dB en la zona próxima a la frecuencia crítica. El espesor acústico óptimo se eleva a 0,76 mm (2 capas). En la práctica, se comprueba que las capas más gruesas no aportan ninguna mejora acústica.

Doble acristalamiento

El doble acristalamiento puede asimilarse a un sistema de masa-amortiguador-masa. La frecuencia de resonancia del doble acristalamiento disminuye con el espesor de los vidrios y el tamaño de la cámara de aire. Para calcular la frecuencia de resonancia se puede aplicar la siguiente fórmula:

$$\text{Frecuencia de resonancia} = 60 \sqrt{\frac{1}{d} + \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right)}$$

Donde:

d = espesor de la cámara (m)

m_1, m_2 = Masa de los vidrios (kg/m^2)

En la tabla 7 se muestran las frecuencias de resonancia para diferentes composiciones de dobles acristalamientos.

Tabla 7. Frecuencias de resonancia de unidades de vidrio aislante (UVA) o doble acristalamiento

Composición UVA	Resonancia masa-amortiguador-masa (Hz)
4/12/4	245
6/12/6	200
6/16/6	173
4/12/4	245

Como la frecuencia de resonancia es superior a 100 hertzios, el doble acristalamiento presenta bajos resultados en la gama de las bajas frecuencias. Por este motivo, los resultados del doble acristalamiento suelen ser inferiores a los de un vidrio monolítico de igual espesor total. Por este motivo, la sustitución de un vidrio monolítico por un doble acristalamiento corriente (por ejemplo, cuando se hace una obra de mejora) puede por tanto disminuir el aislamiento acústico agravando el problema si no se toman las precauciones convenientes. En la realidad normalmente se sustituyen vidrios monolíticos de bajo espesor (4mm) por dobles acristalamientos que como mínimo incorporan dos hojas de vidrio de 4 mm. Para mejorar los valores del aislamiento acústico, la frecuencia de resonancia masa-amortiguador-masa debe ser lo más baja posible (lo que se logra con vidrios de mayor espesor y cámaras mayores).

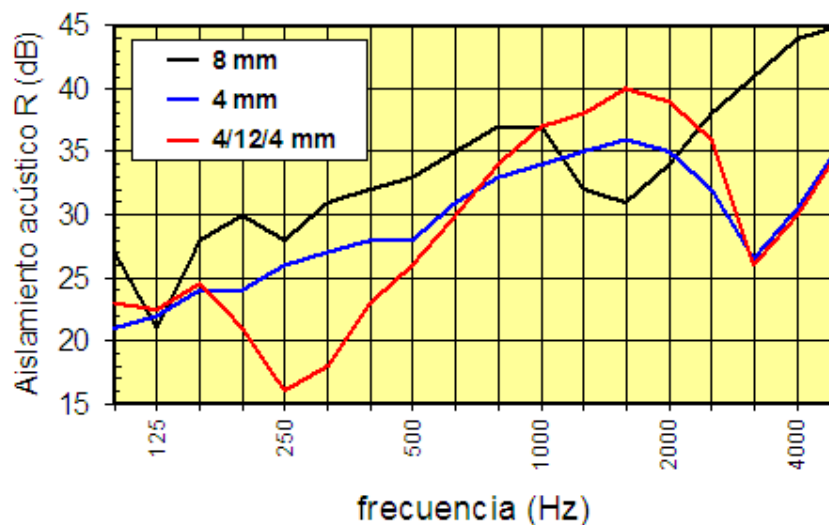


Figura 16. Curva de aislamiento típica de los vidrios monolíticos y doble acristalamiento

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.

El efecto de ampliar la cámara se traduce en un desplazamiento de la frecuencia crítica hacia las bajas frecuencias.

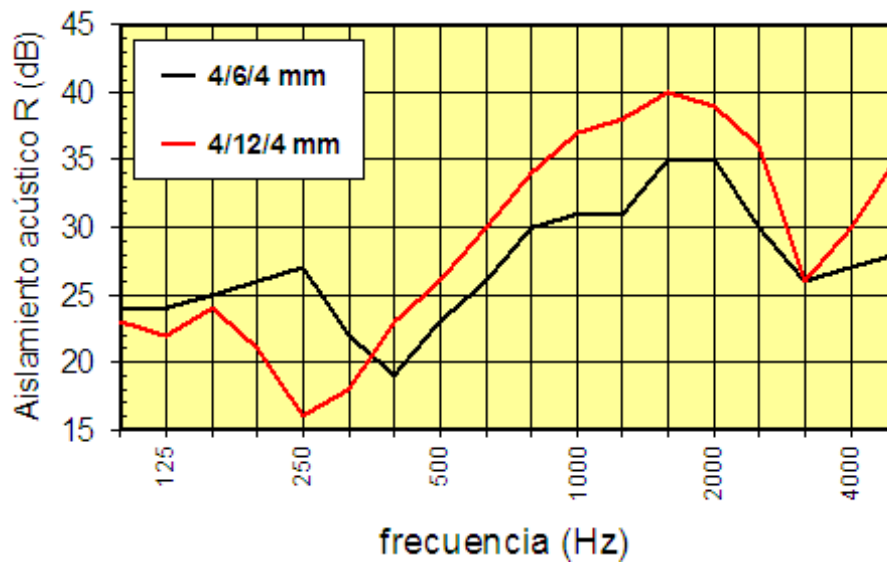


Figura 17. Curva de aislamiento típica de dobles acristalamientos en función de la cámara de aire

Las prestaciones mejorarán todavía más si se sustituye uno de los vidrios por un vidrio laminado con una película de PVB acústico.

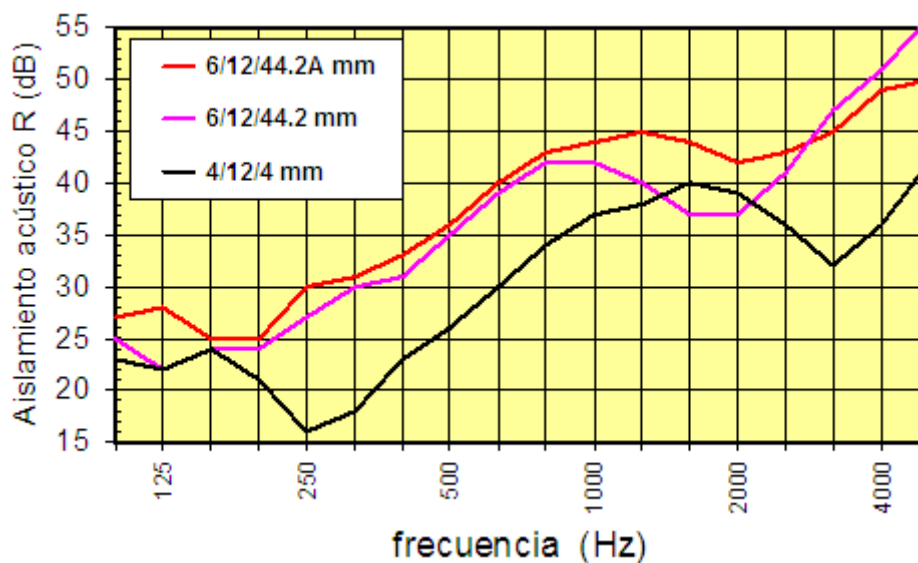


Figura 18. Curva de aislamiento típica de doble acristalamiento con vidrios laminados

Dobles acristalamientos acústicos

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.

Vidrios para lucernarios

La luz natural es un factor arquitectónico importante en cualquier construcción. Numerosos edificios, antiguos o modernos, provistos de vidrieras o lucernarios pierden calidad arquitectónica a causa del ruido de impacto de la lluvia o del granizo sobre los cristales, que perturba el ambiente interior. Los ensayos realizados en laboratorio ponen de manifiesto los aspectos recogidos a continuación.

Respecto al comportamiento del vidrio en este tipo de acristalamientos puede decirse que el vidrio laminar se comporta mucho mejor que el vidrio monolítico sencillo. El vidrio laminado con PVB normal ofrece prestaciones superiores en 5 dB(A) con respecto al monolítico corriente de igual espesor total; esta diferencia puede llegar a alcanzar los 10 dB(A) con vidrio laminar con PVB acústico. Esta diferencia corresponde a una disminución en la percepción sonora de la mitad del ruido con respecto al percibido con un vidrio monolítico.

Para el doble acristalamiento de aislamiento térmico constituido por vidrio laminar, las composiciones con PVB mejorado son hasta 6 dB(A) más eficaces que aquellas que están formadas con laminar con PVB corriente.

De esta forma, el ruido de impacto de la lluvia se mantiene a un nivel más o menos aceptable.

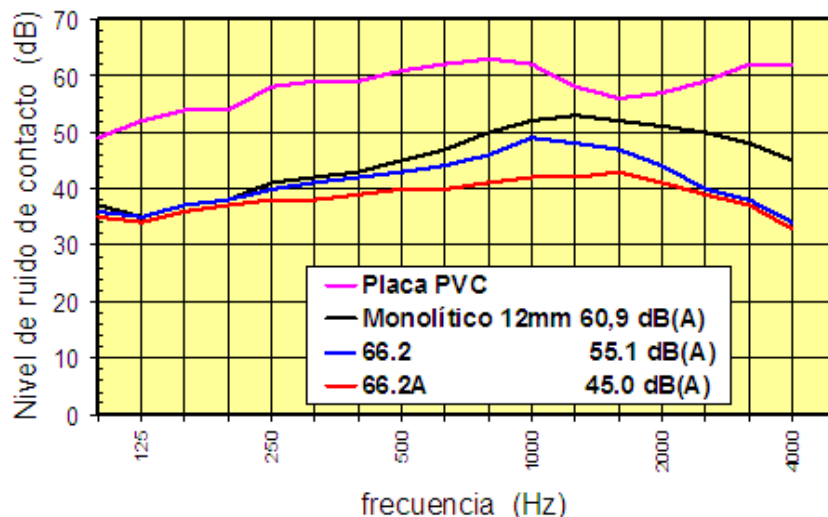


Figura 19. Curva de aislamiento de una placa de PVC, vidrios monolíticos y laminados para lucernarios

En el acristalamiento monolítico la energía generada por el impacto de las gotas de agua provoca una difusión del ruido. En vidrios laminares, el impacto se amortigua y se transmite peor hacia el vidrio inferior, de manera que la difusión hacia los espacios interiores se atenúa. Comparado con el PVB tradicional, el PVB mejorado forma una capa intermedia menos rígida y de mayor amortiguamiento, disipando así mejor la energía de los impactos de lluvia.

Por motivos de seguridad, el vidrio inferior de los acristalamientos de techo en viviendas o lugares de trabajo debe ser laminar. En este caso, la atenuación no es la misma para todas las frecuencias. La ganancia es menor para las bajas frecuencias y es mejor para las altas frecuencias, y especialmente entorno a la frecuencia límite, de manera que la lluvia que cae sobre un acristalamiento de este tipo produce un ruido menos desagradable ya que es menos intenso y más sordo.

En laboratorio, se ha medido también el efecto producido por la lluvia sobre un acristalamiento colocado en sentido inverso, es decir con el vidrio laminado por fuera. Se ha comprobado que el nivel de ruido disminuía para el conjunto de frecuencias. Sin embargo, aunque el nivel de presión acústica global resulta menos elevado

que en la situación opuesta, el ruido es más agudo. Por tanto, desde el punto de vista de la percepción subjetiva, esta solución no presenta ventajas.

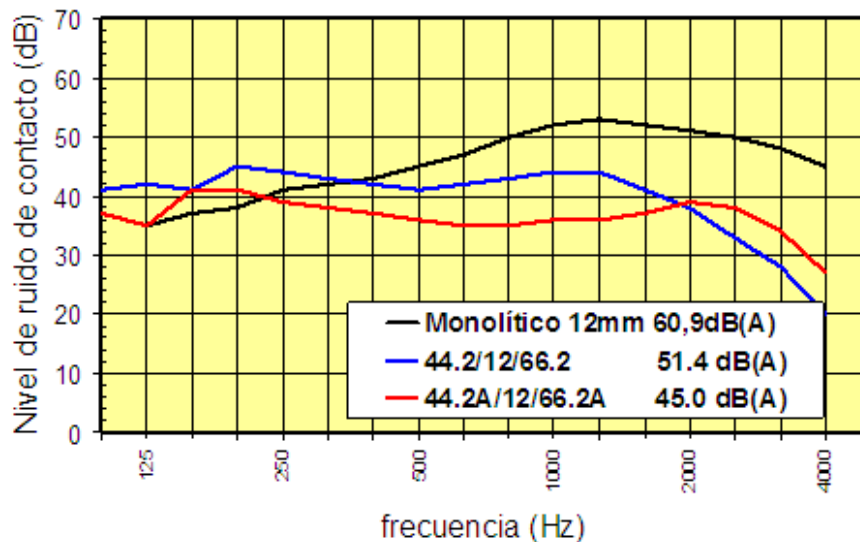


Figura 20. Curva de aislamiento de un vidrios monolíticos y laminados para lucernarios

Para obtener un resultado óptimo, pueden combinarse estas mejoras colocando un vidrio laminar con PVB acústico tanto en el interior como en el exterior. De esta manera, el nivel de presión acústica y la percepción subjetiva se reducen considerablemente.

3.11. Los huecos de las fachadas y lucernarios

El aislamiento acústico de los cerramientos acristalados suele ser determinante para el aislamiento acústico de la fachada. Merece especial atención los siguientes factores relacionados con las ventanas:

- Tipo de acristalamiento
- Dimensiones
- Tipo de Carpintería (bastidor)
- Juntas
- Uniones

La influencia del bastidor en el aislamiento acústico global depende:

- De las prestaciones de la parte acristalada: cuanto más importantes sean estas últimas, mayor será la influencia negativa que puede ejercer el bastidor sobre el aislamiento contra los ruidos aéreos.
- De la parte que representa la superficie del bastidor con respecto a la superficie total

En todos los casos, el bastidor debe obligatoriamente presentar una buena estanqueidad al aire (tanto las partes móviles como las fijas). Las juntas entre el vidrio y el perfil así como las juntas entre los distintos perfiles pueden ser fuente de problemas. Las juntas defectuosas tienen una influencia negativa sobre el aislamiento acústico en el espectro de las frecuencias altas e incluso medias.

Es conveniente y aconsejable utilizar tapajuntas de forma suficiente. Si el aislamiento acústico debe ser superior a 35dB, es necesario aplicar una doble barrera de estanqueidad en aquellas partes que se abren. La junta de las aberturas estará presente en todo el perímetro sin interrupción en ángulos y herrajes o cerrajería. Para evitar eventuales deformaciones, se recomiendan sistemas con varios puntos de cierre.

De manera general, puede decirse que es preciso elegir un tipo de bastidor adaptado a los acristalamientos especiales que se utilicen en cada caso. Las siguientes reglas prácticas pueden servir de guía para evaluar el tipo de ventana:

Ventanas con aislamiento acústico a los ruidos aéreos $R_w < 30$ dB

Pueden utilizarse todo tipo de perfiles. Una simple junta es suficiente. En cuanto al acristalamiento, el resultado de un vidrio monolítico (6-8 mm) es similar al de un doble acristalamiento normal (4/12/4 mm) y normalmente suficiente.

Ventanas con aislamiento acústico a los ruidos aéreos $R_w < 35$ dB

El marco no tiene una influencia notable cuando la superficie es inferior al 30% de la superficie total. Los perfiles de bastidor pueden ser de varios tipos:

- Perfiles de madera con una sección mínima de 55 a 60 mm.
- Perfiles sencillos de aluminio sin rotura térmica.
- Perfiles de PVC

Ventanas con aislamiento acústico a los ruidos aéreos $R_w = 35$ dB a 40 dB

Es casi necesario contar con perfiles provistos de ruptura de puente térmico (RPT) que a mayores de su prestación térmica proporcionan una separación acústica. La doble junta se hace necesaria y los herrajes deben ajustarse para un resultado óptimo.

La carpintería debe limitarse al 30% o menos del total del cerramiento. Para % mayores, el valor máximo alcanzable será muy próximo a $R_w = 35$ dB.

Ventanas de alto aislamiento acústico. Doble ventana $R_w = 45$ a 50 dB

La doble ventana está formada por dos ventanas colocadas una delante de la otra, cada una con su propio marco y bastidor. El aislamiento acústico depende de los siguientes factores:

- Tipo de acristalamientos de las dos ventanas.
- Calidad de los marcos: masa, rotura puente térmico, estanqueidad al aire, porcentaje de la superficie ocupada...
- Cámara de aire entre las dos ventanas: deberá ser como mínimo de 50 mm. El aislamiento aumenta de forma proporcional a la anchura de la cámara.
- Presencia de materiales absorbentes del ruido en la cámara de aire (colocados entre los bastidores) Por ejemplo: lana mineral revestida de una placa metálica perforada (por lo menos 15% de perforaciones).
- Unión entre los dos bastidores: esta unión será preferentemente flexible y estanca.

Si se trata de una obra de rehabilitación puede colocarse indistintamente la ventana nueva en el interior o en el exterior con respecto a la ventana existente.

Doble ventana de alta calidad acústica $R_w > 50$ dB

En este caso, el cerramiento suele estar constituido por dos ventanas totalmente independientes, recibidas sobre elementos constructivos que también lo son. La separación se prolonga en toda la construcción del muro. Entre otras aplicaciones, esta solución es frecuente en ventanas realizadas dentro de estudios de grabación. Si se aplica este principio de manera óptima, pueden alcanzarse valores de $R_w \geq 60$ dB.

3.11.1. Juntas de los cerramientos acristalados

La estanqueidad al aire tiene que ser buena en todos los puntos. Tanto en los propios puntos de cierre de los elementos practicables y en aquellos en los que la ventana va recibida a la obra. Pequeñas rendijas o juntas abiertas pueden provocar pérdidas de entre 5 y 10 dB.

Las pequeñas rendijas pueden taparse mediante masillas de larga duración que conservan toda su elasticidad, preferentemente a base de silicona. Si la anchura de la junta es superior a 5 mm; debe aplicarse previamente material de relleno. Este puede ser espuma sintética, celular y comprimible o un perfil de junta.

4. CONCLUSIONES

Aspectos a tener en consideración en el aislamiento acústico:

- ✓ No existen "soluciones sencillas para problemas complicados". Las "recetas" para soluciones acústicas que se han empleado habitualmente (anteriores al DB-HR) deben ser en su mayoría reconsideradas. Por ejemplo no es cierto que los aislamientos de un sistema constructivo in situ proporcionen 5 dBA menos de los que ofrece el ensayo de laboratorio. La transmisión del sonido depende de muchos factores: 13 caminos de transmisión, mano de obra, ruido exterior y esto nunca obedece a reglas "aproximadas".
- ✓ Existen muchos productos en el mercado que tienen propiedades acústicas. No es correcto pensar que cualquier producto es adecuado para cualquier tipo de aislamiento, se debe estudiar las propiedades necesarias para cada tipo de aplicación. Por ejemplo, la compresibilidad y rigidez dinámica para suelos flotantes.
- ✓ El punto crítico de aislamiento de las fachadas siempre es el hueco. En los cerramientos exteriores un sobredimensionamiento de aislamiento acústico en la parte ciega pierde sentido en cuanto haya un hueco, pues la prestación del hueco es siempre inferior a la de la parte ciega y absolutamente determinante para la prestación del elemento mixto (pared-hueco).
- ✓ 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.
- ✓ Hay que tener precaución al evaluar los resultados de los ensayos de mejoras de aislamiento de ruido aéreo y ruido de impacto (ΔRA y ΔLn) ya que varían en función de la masa del elemento de base. Cuanto menor es la masa del elemento de base, mayor será la mejora.
- ✓ ¿Qué ocurre cuando no tenemos datos del aislamiento a ruido aéreo de un elemento? Es habitual que se intente calcular este aislamiento con la Ley de Masa, pero debemos recordar que esta ley se debe usar para elementos homogéneos, o aquellos que las normas de cálculo permitan asimilarse como tales. No debe usarse nunca para aquellos que combinan materiales de distinta naturaleza ya que los resultados pueden ser muy distintos a los obtenidos en los ensayos reales, por ejemplo el caso de los forjados ligeros.
- ✓ No todas las "capas separadoras o desolidarizantes" entre el forjado y el suelo flotante son igual de eficientes. Hay que buscar aislamientos capaces de soportar las cargas y mantener sus propiedades durante el vertido del mortero y durante toda la vida útil del edificio.
- ✓ En general, en las actuaciones de rehabilitación de la envolvente de los edificios donde se incorpora aislamiento por el interior, exterior o inyección de cámaras, se mejora el comportamiento acústico del edificio. Aislar las tuberías, bajantes y conductos de instalaciones evitará la transmisión de ruido de vibraciones entre la estructura del edificio.
- ✓ La incorporación de un trasdosado es muy eficiente acústicamente, pero un segundo trasdosado no proporciona una mejora del doble de aislamiento.

- ✓ 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.



Figura 21. Sistemas antivibratorios para tuberías y bajantes en edificios

- ✓ Los suelos flotantes son necesarios para cumplir la nueva normativa. La utilización de suelos flotantes ayuda a minimizar la transmisión del ruido de impacto, ya que amortiguan los golpes que impactan en el suelo y el ruido aéreo al convertir la separación del elemento en dos hojas.

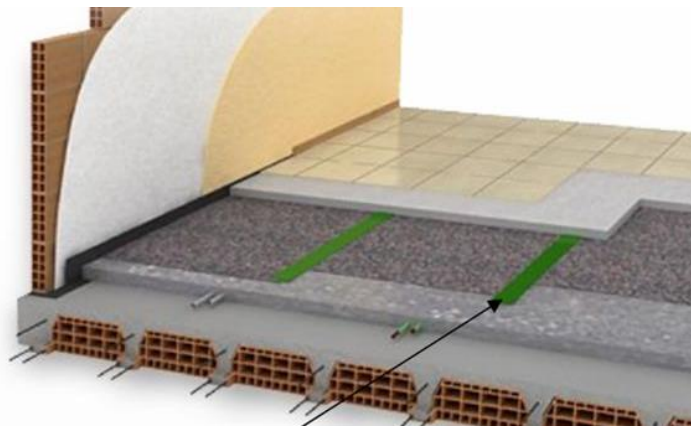


Figura 22. Sección de un forjado donde se indica el material elástico anti-impacto

REFERENCIAS

Documento Básico (DB HR: Protección frente al Ruido) del “Código Técnico de la Edificación”. Ministerio de Vivienda, septiembre 2009

Guía de aplicación del DB HR protección frente al ruido. Versión V.02 Septiembre de 2014.

Soluciones de aislamiento acústico. ANDIMAT. Junio 2009.

Los ensayos acústicos como herramienta de diseño y control

Ana E. Espinel Valdivieso

Directora Grupo AUDIOTEC.

Angel Arenaz Gombau

Ingeniero Técnico de Telecomunicaciones. Director Técnico del Laboratorio de Acústica del Grupo AUDIOTEC

Palabras clave: ensayos acústicos en cámaras normalizadas, ensayos acústicos in situ

Resumen

Los ensayos acústicos tienen una gran utilidad en el campo de la edificación y no sólo como herramienta de control a final de obra, sino también para el diseño y definición de soluciones en la fase de proyecto de un edificio.

Para su aplicación como herramienta de diseño se emplean los ensayos acústicos en cámaras normalizadas. Estos ensayos permiten caracterizar las propiedades acústicas de materiales y sistemas constructivos, algo indispensable para los proyectistas en el diseño y selección de soluciones a aplicar en un edificio, pero también para los fabricantes como herramienta para la investigación de mejoras en sus productos y el desarrollo de nuevas soluciones.

Para el control acústico de un edificio a final de obra se emplean los ensayos acústicos "in situ". Estos ensayos permiten cuantificar las prestaciones acústicas reales de un edificio y poder contrastarlas con las exigencias contempladas en la normativa de aplicación. También tienen aplicación para la cumplimentación del Informe de Evaluación del Edificio, IEE Parte IV. Condiciones acústicas, en el caso de rehabilitaciones.

1 ENSAYOS ACÚSTICOS EN CÁMARAS NORMALIZADAS COMO HERRAMIENTA DE DISEÑO

1.1 Ensayos acústicos en cámaras normalizadas. Introducción.

Los ensayos acústicos en cámaras normalizadas permiten caracterizar las prestaciones acústicas particulares de elementos constructivos, independientemente de en qué lugar se instalarán.

1.1.1 Normativa de aplicación

Para la caracterización en cámaras de ensayo de las propiedades de aislamiento acústico de materiales y sistemas constructivos, en 2011 se publicó la serie de normas UNE EN ISO 10140 partes 1 a 5, las cuales anulaban y sustituían a las normas UNE EN ISO 140 partes 1, 3, 6, 8 y 16 que llevaban muchos años en vigor.

Igualmente, para la caracterización de las propiedades de absorción acústica, en 2004 se aprobó la norma UNE EN ISO 354.

En esta serie de normas de ensayo se especifican:

- Las características dimensionales y funcionales que deben cumplir las cámaras de ensayo.
- Las características y normativas aplicables a la instrumentación de medida empleada en este tipo de ensayos.
- Los rangos de medida y la forma de obtener como resultado un valor único.
- Los métodos de ensayo.
- La forma de montaje de las muestras.

1.1.2 Características de las cámaras de ensayo normalizadas

La principal característica de las cámaras de ensayo normalizadas para ensayos de aislamientos acústicos es que permiten caracterizar las prestaciones acústicas particulares de un elemento o sistema constructivo, anulando todas las posibles influencias de factores externos a dicho elemento o sistema constructivo (transmisiones indirectas, puentes acústicos, ruido de fondo, etc). Para ello, es necesario anular la posible contribución de todos estos factores externos a la hora de obtener el resultado de ensayo. En la siguiente figura puede observarse cómo en cámaras normalizadas, el aislamiento entre un recinto y otro es sólo el que proporciona el elemento separador común.

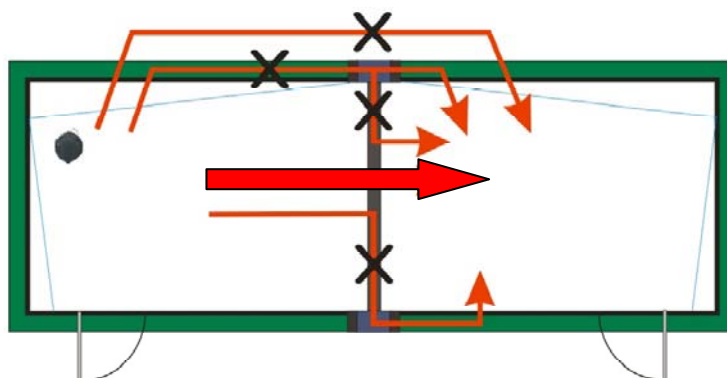


Figura 1. Cámaras normalizadas sin transmisiones indirectas.

A continuación se indican los campos de aplicación de cada tipo de cámara normalizada, así como algunas características que deben cumplir:

1.1.2.1 Cámaras de ensayo normalizadas para cerramientos verticales

En las cámaras de ensayo normalizadas para cerramientos verticales se pueden llevar a cabo entre otros los siguientes tipos de ensayos:

- Ensayos de aislamiento acústico a ruido aéreo de sistemas constructivos verticales de una o varias hojas, con o sin cámara entre ellas (paredes sencillas y dobles de ladrillo, de bloques de hormigón, de bloques de yeso, de Placas de Yeso Laminado, etc) con y sin lana mineral y/o materiales multicapa en la cámara.
- Ensayos de elementos constructivos pequeños (puertas, ventanas, acristalamiento, silenciadores, etc).
- Ensayos de pantallas acústicas.
- Ensayos de mejora de aislamiento acústico de trasdosados.

Algunos de los requisitos que deben cumplir estas cámaras para considerarse normalizadas son los siguientes:

- Deben tener un volumen superior a 50 m^3 y una apertura de muestra de aproximadamente 10 m^2 .
- Una de las cámaras debe tener un volumen al menos un 10% superior a la otra.
- Se deben evitar las transmisiones por flancos entre ellas.
- La influencia del ruido de fondo en los ensayos debe ser despreciable.
- En ellas debe existir un campo sonoro difuso evitando modos propios y un tiempo de reverberación en unos rangos determinados.
- Se debe calcular el R_{max} que es capaz de medirse en dichas cámaras (cada instalación tiene su propio R_{max}).

A su vez, existen cámaras normalizadas fijas y móviles. Estas últimas permiten la construcción de varios cerramientos simultáneamente fuera de las cámaras, y su desplazamiento a las cámaras únicamente en el momento del ensayo, mientras que en las fijas hay que esperar a ensayar y derribar un cerramiento para poder construir otro.



Figura 2. Ejemplo. Cámaras normalizadas de AUDIOTEC para ensayos de aislamiento acústico de cerramientos verticales

1.1.2.2 Cámaras de ensayo normalizadas para cerramientos horizontales

En las cámaras de ensayo normalizadas para cerramientos horizontales se pueden llevar a cabo entre otros los siguientes tipos de ensayos:

- Ensayos de aislamiento acústico a ruido aéreo de forjados y elementos constructivos horizontales (techos ligeros, cubiertas, etc)
- Ensayos de aislamiento acústico a ruido de impacto.
- Ensayo de la mejora acústica de suelos (soleras húmedas, soleras secas, soleras amortiguadas), tanto a ruido aéreo como a ruido de impacto.
- Ensayo de la mejora acústica que aportan falsos techos con posibilidad de distintos plenums.

Algunos de los requisitos que deben cumplir estas cámaras para considerarse normalizadas son los siguientes:

- Deben tener un volumen superior a 50 m^3 .
- Una de las cámaras debe tener un volumen al menos un 10% superior a la otra.
- Se deben evitar las transmisiones por flancos entre ellas.
- La influencia del ruido de fondo en los ensayos debe ser despreciable.
- En ellas debe existir un campo sonoro difuso y un tiempo de reverberación en unos rangos determinados.
- Se debe calcular el R_{max} que es capaz de medirse en dichas cámaras. Cada instalación tiene su propio R_{max} .

A su vez, existen cámaras normalizadas fijas y móviles. Estas últimas permiten la construcción de varios cerramientos simultáneamente fuera de las cámaras, y su desplazamiento a las cámaras únicamente en el momento del ensayo.



Figura 3. Ejemplo. Cámaras normalizadas de AUDIOTEC para ensayos de aislamiento acústico de cerramientos horizontales

1.1.2.3 Cámaras de ensayo normalizadas para caracterización de la absorción acústica

Las cámaras de ensayo normalizadas para evaluar la absorción acústica de materiales popularmente se denominan cámaras reverberantes. En ellas se pueden llevar a cabo los siguientes tipos de ensayos:

- Ensayo de absorción acústica de materiales y sistemas constructivos, con y sin plenum.
- Ensayo de absorción acústica de elementos (sillas, butacas, ...)
- Ensayos de absorción acústica de pantallas.

Algunos de los requisitos que deben cumplir estas cámaras para considerarse normalizadas son los siguientes:

- Deben tener un volumen de más de 200 m³.
- Deben disponer de difusores acústicos y un tiempo de reverberación mínimo con ellas vacías.



Figura 4. Ejemplo. Cámaras normalizadas de AUDIOTEC para ensayos de absorción acústica de materiales

1.2 Ensayos acústicos en cámaras normalizadas. Aplicación en el diseño y proyecto de un edificio.

Cuando un proyectista acomete el diseño y proyecto acústico de un edificio, debe hacerlo empleando información fiable que respalde sus cálculos.

Tanto si se emplea el método simplificado como el método general del Código Técnico de la Edificación, los parámetros acústicos de los sistemas constructivos que debe tener en cuenta el proyectista, y que figuran en dichas normas a la hora del diseño acústico de un edificio, son los siguientes:

- Para el aislamiento acústico a ruido aéreo, el índice global de reducción acústica, ponderado A, R_A , en dBA
- Para el aislamiento acústico a ruido de impacto, el nivel global de presión de ruido de impactos normalizado, $L_{n,w}$, en dB
- Para la mejora de aislamiento acústico a ruido aéreo, la mejora del índice global de reducción acústica, ponderado A, ΔR_A , en dBA
- Para la mejora de aislamiento acústico a ruido de impacto, la reducción del nivel global de presión de ruido de impactos, ΔL_w , en dB.
- Para la absorción acústica de materiales, el coeficiente de absorción sonora, α .

Estos parámetros y resultados **SÓLO pueden obtenerse en cámaras normalizadas**, por lo que se recomienda que los proyectistas empleen en sus proyectos únicamente soluciones constructivas que previamente hayan sido ensayadas en cámaras normalizadas si quieren evitar posibles reclamaciones en caso de que el edificio no alcance las prestaciones requeridas.

Para que un certificado de ensayo tenga validez, debe haber sido ensayado en cámaras normalizadas que cumplan con los requisitos de las normas de la serie UNE EN ISO 10140. La acreditación ENAC de laboratorios de ensayo para realizar ensayos en cámaras normalizadas es un aval del cumplimiento de los requisitos de dichas normas.

A continuación se presenta un ejemplo de certificados de ensayo obtenidos en cámaras normalizadas.

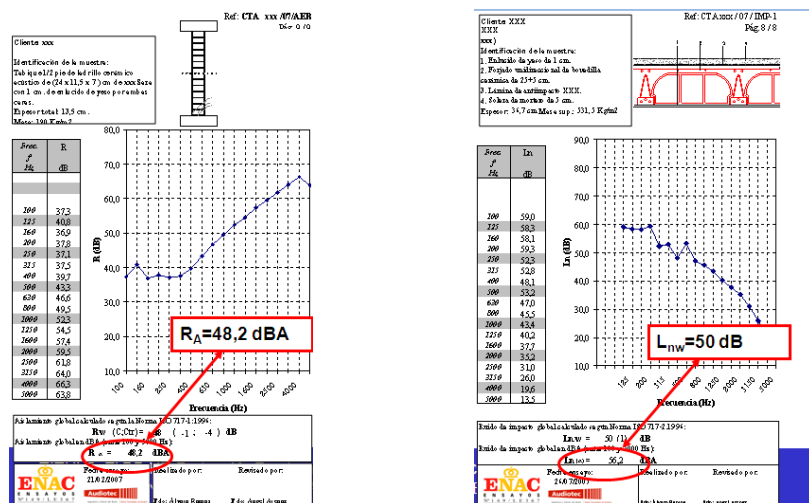


Figura 5. Ejemplo de certificados de ensayo obtenidos en cámaras normalizadas.

1.3 Ensayos acústicos en cámaras normalizadas. Aplicación en el diseño de nuevas soluciones constructivas.

En un primer momento los fabricantes de elementos constructivos emplearon los ensayos en cámaras normalizadas para justificar ante los proyectistas las prestaciones acústicas de sus productos, siendo ya muchos de ellos los que disponen de catálogos de productos avalados por certificados acústicos realizados en cámaras normalizadas.

Actualmente, los fabricantes de materiales y sistemas constructivos también emplean los ensayos en cámaras normalizadas como una herramienta para la investigación y desarrollo de nuevas soluciones constructivas, o para la mejora de los sistemas que ya fabrican.

Los cálculos teóricos y/o modelizaciones acústicas pueden servir para orientar sobre las prestaciones acústicas de una solución constructiva, así como para evaluar a priori las posibles mejoras que pueden aportar cambios en el diseño o en la utilización de nuevos productos en dicha solución, si bien por si mismas no garantizan su efectividad en la práctica, siendo necesario caracterizar dicha solución mediante ensayos en cámaras normalizadas de forma que se avale con un certificado las prestaciones acústicas reales.

En las cámaras de ensayo normalizadas se pueden llevar a cabo comparativas entre distintas propuestas de mejora de una solución, ya que las condiciones de entorno no tienen influencia y por tanto la mejora que pueda obtenerse de una solución respecto a otra se puede asignar directamente a ella y no a la influencia de otros factores externos.

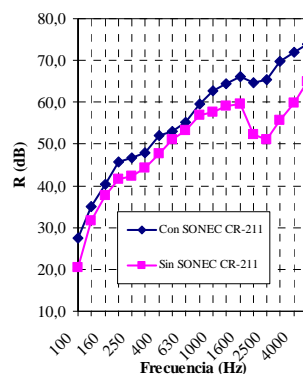


Figura 6. Ejemplo de análisis de mejora al aplicar una membrana acústica entre PVL

2 ENSAYOS ACÚSTICOS IN SITU COMO HERRAMIENTA DE CONTROL

2.1 Ensayos acústicos in situ. Introducción.

Los ensayos acústicos “in situ” permiten controlar las prestaciones acústicas reales de un edificio.

En los ensayos acústicos “in situ” no se tiene en cuenta únicamente el aislamiento acústico que aporta el elemento constructivo común entre dos recintos, sino que se tienen también en cuenta las transmisiones indirectas o por flancos entre recintos, por lo cual, el aislamiento acústico obtenido “in situ” entre dos recintos separados por un determinado sistema constructivo siempre será menor o igual que el aislamiento acústico de dicho sistema constructivo ensayado en cámara normalizada.

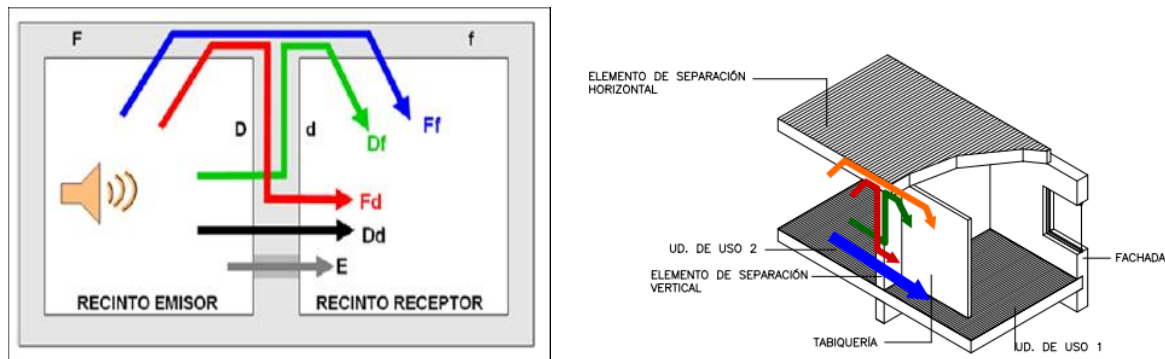


Figura 7. Transmisiones directas e indirectas en ensayos acústicos “in situ”

2.1.1 Normativa de aplicación

La normativa donde se indican los distintos tipos de ensayos acústicos “in situ” aplicables a edificios terminados es el Documento Básico DB HR Protección frente al Ruido de Código Técnico de la Edificación.

Igualmente, en el Real Decreto 1367/2007 se especifican los métodos de evaluación y los límites niveles sonoros que deberán cumplir las actividades e instalaciones ubicadas en dichos edificios, si bien en muchas Comunidades Autónomas y municipios se han desarrollado estos métodos y los límites sonoros aplicables.

Para la realización de ensayos de aislamiento acústico “in situ” las normas de ensayo (UNE EN ISO 140 Partes 4, 5 y 7) datan de antes del año 2000. Actualmente se están actualizando estas normas, y en el año 2014 ya se anuló y sustituyó la norma UNE EN ISO 140-4 sobre aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos por la norma UNE EN ISO 16283-1. Actualmente se encuentran en estudio y próxima aprobación las normas de la serie UNE EN ISO 16283 que sustituirán y reemplazarán a las normas de ensayo de aislamiento acústico a ruido aéreo de fachadas y a ruido de impacto.

Para los ensayos de tiempos de reverberación “in situ” la normativa aplicable son las normas UNE EN ISO 3382, las cuales son del año 2008.

En las normas de ensayo acústico “in situ” se especifican:

- Los rangos de medida.
- Las características y normativas aplicables a la instrumentación de medida empleada en los ensayos.
- Los métodos de ensayo.
- Los parámetros a medir (Diferencia de niveles estandarizada, D_{nTA} para ensayos de aislamiento acústico a ruido aéreo y el nivel global de presión de ruido de impactos estandarizado, $L'_{nT,w}$, en dB para ensayos de aislamiento acústico a ruido de impacto.

2.2 Ensayos acústicos in situ. Aplicación en control acústico de edificios de nueva construcción.

En el DB HR Protección frente al Ruido de Código Técnico de la Edificación, en su apartado de control de obra terminada se establece que:

- *En caso de que se realicen mediciones in situ para comprobar las exigencias de aislamiento acústico a ruido aéreo, aislamiento acústico a ruido de impactos y de limitación del tiempo de reverberación, se realizarán por laboratorios acreditados y conforme a las normas de referencia aplicables a estas mediciones*

Así mismo, en su apartado 2 se definen los requisitos acústicos que se deben cumplir “in situ” al finalizar un edificio. A modo resumen, son los siguientes:

	Elemento	Índice	Recintos protegidos	Recintos habitables
Aislamiento a RUIDO AÉREO entre recintos (Colindantes vertical u horizontalmente)	Entre recintos de distinta unidad de uso	$D_{nT,A}$	≥ 50 dBA	≥ 45 dBA
	Con recintos de instalaciones o actividad	$D_{nT,A}$	≥ 55 dBA	≥ 45 dBA
	Ruido exterior	$D_{2m,nT,Atr}$	Depende del ruido exterior	Depende del ruido exterior

Tabla 1. Exigencias de aislamiento acústico a ruido aéreo en el DB HR

	Elemento	Índice	Exigencia
Nivel global de presión de RUIDO DE IMPACTOS en recintos protegidos. (Colindante vertical u horizontalmente o con una arista común)	Con distinta unidad de uso	$L'_{nT,w}$	≤ 65 dB
	Con recintos de instalaciones o actividad	$L'_{nT,w}$	≤ 60 dB
	Bajo cubierta transitable	$L'_{nT,w}$	≤ 65 dB

Tabla 2. Exigencias de aislamiento acústico a ruido de impacto en el DB HR

Recinto	Condiciones	Exigencia TR
Aulas y salas de conferencia vacías (Vol<350 m ³)	Sin ocupación Sin mobiliario (exc. Fijo)	0,7 seg
Aulas y salas de conferencia vacías (Vol<350 m ³)	Sin ocupación Sin mobiliario (exc. Fijo) Con butacas	0,5 seg
Restaurantes y comedores	Sin ocupación Sin mobiliario (exc. Fijo)	0,9 seg
Aulas y salas de conferencia (Vol>350 m ³)		Estudio especial

Tabla 3. Exigencias de tiempo de reverberación en el DB HR

Por todo ello, en el caso de edificios construidos a partir de la entrada en vigor del DB HR Protección Frente al Ruido, los ensayos acústicos “in situ” pueden tener las siguientes aplicaciones:

- Como herramienta de control intermedio durante el proceso constructivo del edificio.
- Como herramienta de control a final de obra para verificar el cumplimiento de los requisitos mínimos contemplados en el DB HR del CTE.
- Como herramienta para poder calificar acústicamente edificios en función de los resultados obtenidos en dichos ensayos.
- Como herramienta para la interposición de denuncias y demandas por incumplimiento de los requisitos establecidos.



Figura 8. Imagen de ensayos “in situ”

2.3 Ensayos acústicos in situ. Aplicación en la rehabilitación acústica de edificios.

En los edificios acústicos ya construidos, objeto de actuaciones de rehabilitación, los ensayos acústicos “in situ” cobran una gran importancia ya que en la mayor parte de los casos es la única forma de obtener información acústica del estado real del edificio.

Estos ensayos acústicos “in situ”, tendrán gran utilidad en la cumplimentación y definición de mejoras acústicas en el Informe de Evaluación del Edificio IEE Parte IV. Condiciones Acústicas, ya que permitirán cuantificar y determinar el estado acústico real del edificio y por tanto permitirá a los proyectistas de las medidas correctoras su optimización.

REFERENCIAS

- REAL DECRETO 1371/2007, de 19 de octubre, por el que se aprueba el documento básico «DB-HR Protección frente al ruido» del Código Técnico de la Edificación y se modifica el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación
- RD 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.

Localización de fuentes sonoras: intensimetría y beamforming

Pedro Geraldo Guerra
Ingeniero. Álava Ingenieros

Palabras clave: ruido, localización, fuentes, instrumentación.

Resumen

A lo largo de esta presentación veremos que no existe una única solución para la localización de fuentes sonoras para todos los casos. La elección de la mejor técnica depende de un número de factores: rango de frecuencias de interés, tamaño de las fuentes, distancia de medida (campo cercano o lejano), régimen estacionario o transitorio, campo libre o reverberante y por supuesto del tiempo para la realización de las mediciones y del coste de la instalación y el sistema de medida. Por ello, ÁLAVA INGENIEROS ofrece diferentes soluciones fruto de acuerdos de distribución con las marcas más prestigiosas. No hay ningún otro fabricante en el mundo que disponga de una oferta tan variada. Nuestro valor añadido principal es el asesoramiento de la solución óptima para su necesidad.

1 LOCALIZACIÓN DE FUENTES SONORAS: INTENSIMETRÍA Y BEAMFORMING

1.1 Factores a tener en cuenta para la elección de uno u otro método

¿Qué factores hemos de tener en cuenta para la elección de uno u otro método?

Cuando queremos hacer un trabajo de localización de fuentes hay que tener en cuenta varios factores para elegir el método más indicado. Los principales factores son la Resolución espacial que es la capacidad para separar dos fuentes sonoras, es la mínima distancia entre dos fuentes de manera que aparezcan separadas y no como una sola fuente. Otro factor es la Distancia hasta la fuente en que las diferentes técnicas requieren la colocación de los sensores o bien en campo cercano o bien en campo lejano. El entorno en que se sitúen nuestras fuentes sonoras es muy importante, un entorno libre de reflexiones y distinto de una cámara anecoica. Uno de los factores más importantes de cara a la elección de uno u otro método es el rango de frecuencias de interés. Otro factor a tener en cuenta es si el régimen de funcionamiento es estacionario o transitorio, los métodos de localización que requieren un barrido de la sonda no son válidos para régimen transitorio, siendo necesaria la utilización de un array de sensores y un sistema de adquisición multicanal.

1.2 Métodos de Localización de fuentes

Para la localización de fuentes se pueden utilizar los siguientes métodos, Intensimetría, Beamforming, Beamforming esférico (focalización), Holografía – NAH y Holografía irregular – INAH.

El procedimiento para localización de fuentes mediante intensimetría consiste en medir la intensidad en diferentes puntos de una cuadrícula hasta obtener un mapa como el de la figura. Para la correcta realización del mapa de intensidad es necesario por tanto un proceso manual (costoso en tiempo) o con un robot (costoso en dinero). EL beamforming consiste en la utilización de un array de micrófonos y un sistema de adquisición multicanal que graba simultáneamente la señal de todos los micrófonos. Con un procesamiento, que se puede realizar en el dominio del tiempo o de la frecuencia, se obtiene un mapa sonoro de la fuente. Los arrays incluyen una cámara de vídeo lo que permite el mapa sonoro sobre la imagen real. El método de holografía consiste en realizar mediciones de presión sonora en campo cercano en puntos equidistantes.

1.3 Novedades de Instrumentación

Breve presentación de los equipos nuevos comercializados por Álava Ingenieros de sus socios tecnológicos: Head Acoustics; GFai Tech;

REFERENCIAS

Socios Tecnológicos:

G.R.A.S. Sound and Vibration A/S - <http://www.gras.dk/>

PCB Piezotronics, Inc. - <http://www.pcb.com/>

OROS - Noise and Vibration Solutions - <http://www.oros.com/>

GFai Tech - <http://www.acoustic-camera.com/>

Head Acoustics - <https://www.head-acoustics.de/eng/>

Medidas de aislamiento acústico

Jorge Fernández Gimeno

Ingeniero Técnico de Telecomunicaciones. Brüel & Kjaer Ibérica S.A.

Palabras clave: acústica, aislamiento al ruido aéreo, tiempo de reverberación, instrumentación, ISO 16283-1.

Resumen

Acústica de Edificios es la evaluación del aislamiento acústico en edificios y elementos constructivos. Es importante para el bienestar de los ciudadanos en sus hogares, lugares de trabajo o sitios públicos. La acústica de edificios es la evaluación del aislamiento acústico en edificios. Está basada en mediciones espectrales de 1/1-octava o 1/3-octava en un rango de 50 - 5000 Hz. La acústica en la edificación comprende diversas áreas o campos de estudio, entre las que se encuentran: el acondicionamiento de recintos, la protección contra el ruido aéreo o la protección contra el ruido por impactos, entre otras. En el presente seminario se tratará la protección contra ruido aéreo, principalmente, y la solución que Brüel & Kjaer propone para realizar los ensayos.

En lo que respecta a la medida del aislamiento acústico existen en la actualidad técnicas de medida que han podido llevarse a la práctica gracias a la llegada de una instrumentación tecnológicamente más avanzada. Dichas técnicas se encuentran soportadas por una normativa (UNE-EN ISO 140 y UNE-EN ISO 717) que especifica los procedimientos de medida y que las hace válidas para su aplicación en el cumplimiento de la legislación vigente en el campo de la edificación. Por último, se mostrará la solución que Brüel & Kjaer propone para el cumplimiento de la nueva norma ISO 16283-1.

1 INTRODUCCIÓN

Brüel & Kjær es una compañía de origen danés creada hace más de 70 años por Per V. Brüel y Viggo Kjær, que tiene su sede central en Nærum (Dinamarca). Juntos fundaron la que hoy es primera compañía mundial en el campo de la instrumentación acústica.

Ayudamos a nuestros clientes a resolver sus problemas de sonido y vibraciones. Tenemos clientes en una amplia gama de campos, incluyendo automoción, aeroespacial, bienes de consumo y telecomunicaciones, así como los organismos gubernamentales. Brüel & Kjær lleva 70 años, ininterrumpidamente, diseñando y fabricando instrumentos de precisión para la medida y el análisis del ruido y vibraciones. A lo largo de estos años, ha contribuido a la metrología vibroacústica con numerosos descubrimientos y nuevas tecnologías.



Figura 1. Los doctores Viggo Kjær y Per Brüel, fundadores de la compañía.

2 INTRODUCCIÓN

La acústica de edificios es la evaluación del aislamiento acústico en edificios. Está basada en mediciones espectrales de 1/1-octava o 1/3-octava en un rango de 50 - 5000 Hz. Las mediciones deben ser secuenciales (una banda de frecuencia para cada medida) o tiempo real (todas las bandas simultáneamente).

2.1 Tareas

Hay tres tipos de mediciones de la acústica para edificios:

- **Aislamiento al ruido aéreo** es el aislamiento acústico de una sala (sala emisora) a otra sala (sala receptora)
- **Aislamiento al ruido de fachada** es el aislamiento acústico aéreo con una “sala emisora” siendo el espacio exterior a la sala, y una sala receptora siendo esta el interior de la sala.
- **Nivel de Ruido de Impacto** es el nivel acústico medido en la sala receptora procedente de una máquina de impactos normalizada situada en la sala emisora.

El tiempo de reverberación también se utiliza en el cálculo para acústica de edificios. La determinación del tiempo de reverberación tiene dos propósitos: la determinación del coeficiente de absorción de los materiales del edificio y comprobar si el tiempo de reverberación cumple con las regulaciones del edificio, por ejemplo, en escaleras, salas y puesto de trabajo.

Para ayudar a comprenderlo, un ejemplo sobre cómo configurar una medición de aislamiento al ruido aéreo. Esto puede ayudar a visualizar lo que se expondrá en las siguientes secciones y puede ayudar a entender alguno de los términos utilizados, véase Fig.2.

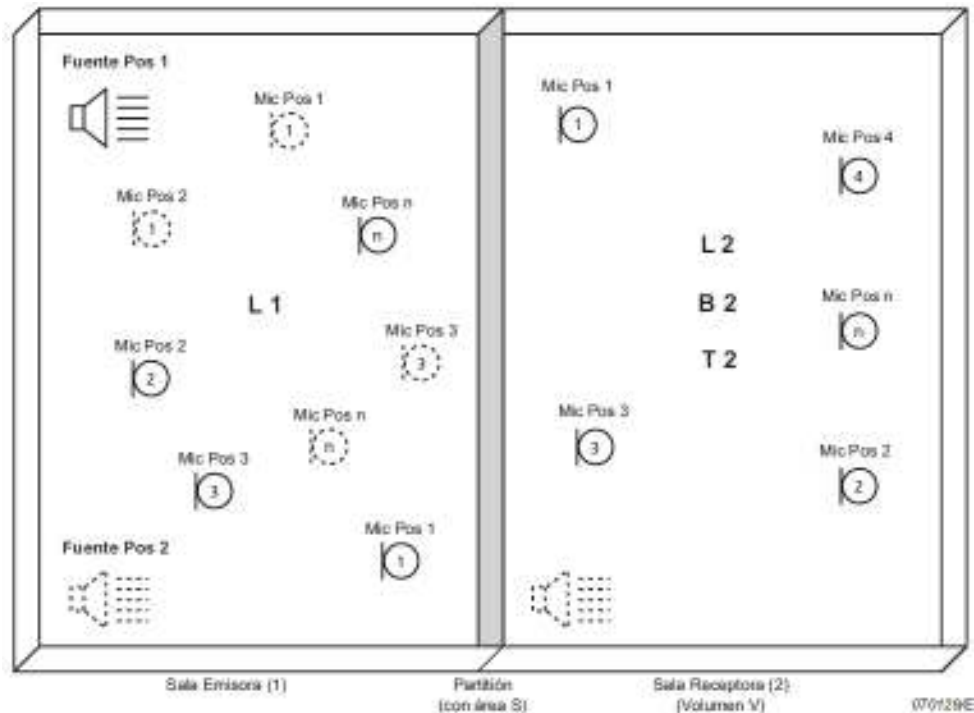


Figura 2. Configuración típica para la medición del aislamiento a ruido aéreo.

- **L1** se refiere a la medición de nivel acústico en una Sala Emisora (1) - se utilizan para el cálculo del aislamiento del ruido aéreo.
- **L2** se refiere a la medición del nivel acústico en una Sala Receptora (2) - se utilizan para los cálculos de aislamiento del ruido aéreo e impacto acústico.
- **B2** se refiere a la medición del ruido de fondo en un Sala Receptora (2) - se utilizan para las correcciones del nivel del ruido de fondo en los cálculos de nivel de aislamiento aéreo y del impacto acústico.
- **T2** se refiere a la medición del tiempo de reverberación en una sala receptora (2) – se utilizan para cálculos de aislamiento a ruido aéreo y a impacto.

En la práctica, cuando se realizan las mediciones de “campo” se deben de tener en cuenta muchas consideraciones al mismo tiempo mientras que se toman las medidas para la acústica de edificios. Por ejemplo, una habitación vacía o amueblada, grande o pequeña, de forma regular o irregular, todos estos factores afectan a la reflexión acústica en la sala y cambian el campo de sonido de la misma.

Esto puede causar variaciones en el nivel de presión del sonido en la sala emisora, entonces las mediciones normalmente se toman en varios puntos de la sala. Se debe escoger, por ejemplo, dos puntos de emisión acústica y tres posiciones de micrófono, véase Fig.2. El resultado medio de los espectros se utiliza en los cálculos de aislamiento acústico.

Los cálculos para el aislamiento acústico se realizan, utilizando combinaciones de varios valores, de acuerdo a la normativa internacional.

El objetivo para obtener un correcto aislamiento acústico a ruido aéreo, consiste en evitar que el medio transmisor del ruido (el aire) circule libremente. Concretamente, se debe evitar el camino de transmisión directa entre emisor y receptor, mediante la colocación de barreras, pantallas, paredes, paramentos, etc.

3 CAMPO VS. MEDICIONES EN EL LABORATORIO

3.1 Mediciones de campo

Las mediciones de campo se realizan en las separaciones de un edificio. Los resultados se utilizan como documento de cumplimiento con las regulaciones de edificación. En mediciones en campo el sonido y las vibraciones no se propagan solo en la dirección de la separación investigada, sino a través de otras separaciones, estructuras, etc. Esta propagación se denomina transmisión por “flancos”. En este ámbito de aplicación los requisitos de validación son menos exigentes que en el laboratorio pero se puede decir que es más difícil la validación de las medidas ya que nos encontramos en unos recintos normalmente sometidos a ruido parásito de diversa índole lejos del ambiente controlado del laboratorio.

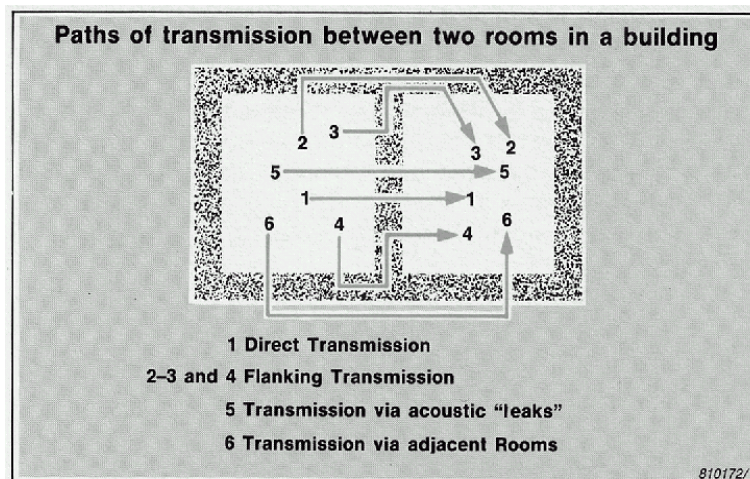


Figura 3. Mediciones de campo.

3.2 Mediciones en el laboratorio

Las mediciones en el laboratorio se realizan en elementos de construcción como paneles de pared o ventanas montadas en salas de pruebas, diseñadas y probadas para prevenir los “flancos”... Las mediciones siguen una uniformidad y estrictos procedimientos, y los equipos de medición están instalados de forma fija. Los resultados se utilizan por los fabricantes para documentar las cualidades del producto. Son útiles para describir el comportamiento acústico de los diversos materiales que se emplean habitualmente en la edificación o para el estudio del comportamiento de nuevas soluciones constructivas desarrolladas.

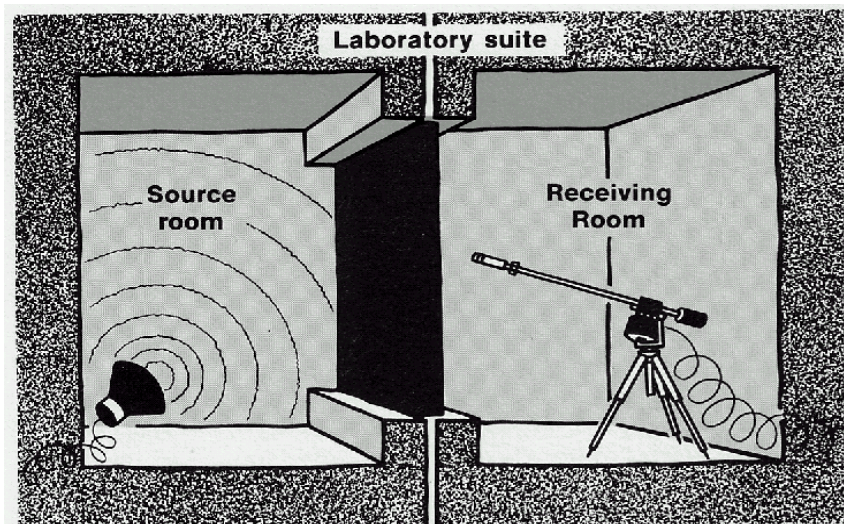


Figura 4. Mediciones en el laboratorio.

4 AISLAMIENTO A RUIDO AÉREO

El aislamiento del ruido aéreo se calcula a partir del espectro del L_{Zeq} para el promedio del nivel de la sala emisora, L_1 , del promedio del nivel de la sala receptora, L_2 , del promedio del nivel de ruido de fondo de la sala receptora, B_2 y del promedio del tiempo de reverberación, T_2 , véase Fig.2.

La fuente de sonido debe ser un altavoz omnidireccional, emitiendo ruido rosa o blanco dependiendo de las condiciones de medición.

Mediciones en la sala emisora (L_1)

Sitúe la fuente de sonido en la sala emisora para realizar las mediciones del nivel de sonido L_1 , véase Fig. 2. Estas son utilizadas para los cálculos del aislamiento a ruido aéreo.

Como se explicó anteriormente, se necesitan varios puntos de medida, tanto para la fuente sonora como para el micrófono. Recomendamos que escoja dos posiciones para la fuente sonora y un mínimo de cinco posiciones para el micrófono.

El nivel de la sala emisora, L_1 , es el resultado del promedio de la posición 1 a la n , y se utilizará para los cálculos del aislamiento del ruido aéreo.

Mediciones en la sala receptora (L_2)

Los niveles de medición, L_2 , se realizan en la sala receptora, véase Fig. 2, y se utilizan en el cálculo del impacto y el aislamiento del ruido aéreo.

Como en el caso del L_1 , una serie de mediciones se realizan en distintas posiciones de la habitación, para cada posición de la fuente de sonido de la sala emisora, para permitir variaciones de presión sonora. El resultado del promediado del espectro se utiliza para los cálculos del impacto y el aislamiento del ruido aéreo.

Mediciones en la sala receptora (B_2)

La medición del nivel de fondo, B_2 , se realiza en la sala receptora y pueden ser utilizadas para la corrección automática de los niveles L_2 , si es la opción de configuración elegida. Lo ideal sería la medición de B_2 y L_2 consecutivamente en las mismas posiciones de medición.

Mediciones del tiempo de reverberación (T_2)

El tiempo de reverberación, T_2 , es el tiempo de decaimiento del sonido en una habitación cuando termina la excitación. Es el momento de una caída de nivel de 60 dB, pero el decaimiento suele evaluarse para caídas de 20 o 30 dB; usando mediciones en esos rangos para calcular la línea de regresión que se extrapolará al rango de 60 dB, véase Fig. 5.

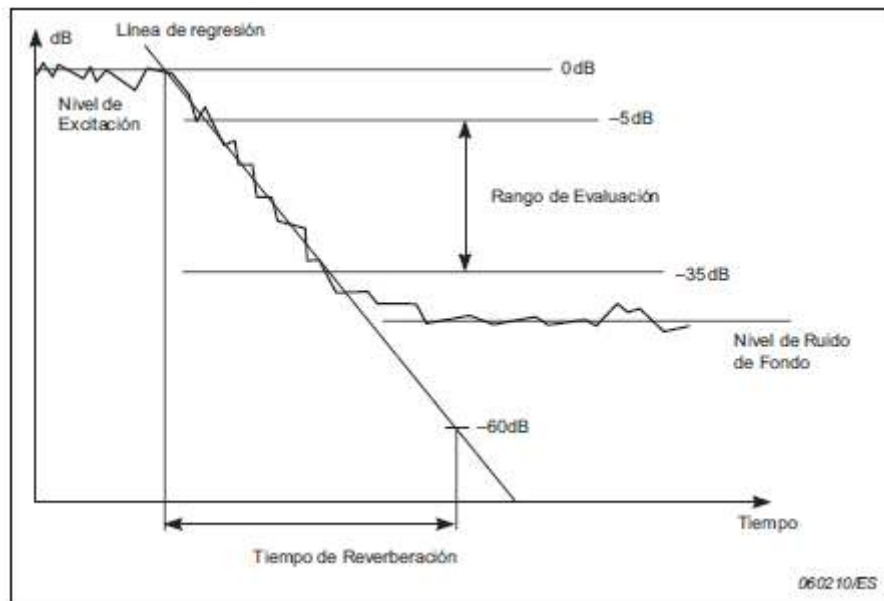


Figura 5. Definición del tiempo de reverberación (T_2).

El tiempo de reverberación utilizado para acústica de edificios puede ser T_{20} o T_{30} , dependiendo en cuál de los dos rangos de evaluación se utilice.

Todas las mediciones se realizan en la sala receptora. Como con las mediciones L1, L2 y B2, se realizan una serie de mediciones en diferentes posiciones de la habitación para permitir que decaigan las variaciones espaciales de la reverberación.

4 SOLUCIÓN PARA MEDIDAS DE AISLAMIENTO ACÚSTICO DE BRÜEL & KJAER

4.1 Sonómetro de medida

Los sonómetros de Brüel & Kjaer están diseñados como una solución avanzada para la medida, análisis y grabación de ruido y vibraciones. Continúan uniendo lo mejor de la tecnología de hoy en día con más de 70 años de experiencia en soluciones para la medida de ruido y vibraciones.



Figura 6. Ejemplo de sonómetro de Brüel & Kjaer.

Mediante el software de acústica de edificios (BZ-7228), permite evaluar el aislamiento acústico de edificios y elementos constructivos. Es posible medir el aislamiento acústico a ruido aéreo y a ruido de impacto, y los resultados finales se muestran en el acto de acuerdo con las normas internacionales (ISO) y con 12 normas nacionales (entre ellas las de carácter nacional español NBE y CTE y las internacionales ISO).

El programa guía al usuario en las distintas tareas de medición que forman una medida completa de aislamiento como son niveles de emisión (L1), niveles de recepción (L2), niveles de ruido de fondo (B2) y tiempo de reverberación (T2). Con el módulo de Acústica de Edificios, todas estas medidas se almacenan en un mismo proyecto de medida y los cálculos, según el estándar de medida seleccionado, se realizan de manera instantánea, mostrando el resultado final en pantalla, tanto del espectro de aislamiento como de los valores globales.

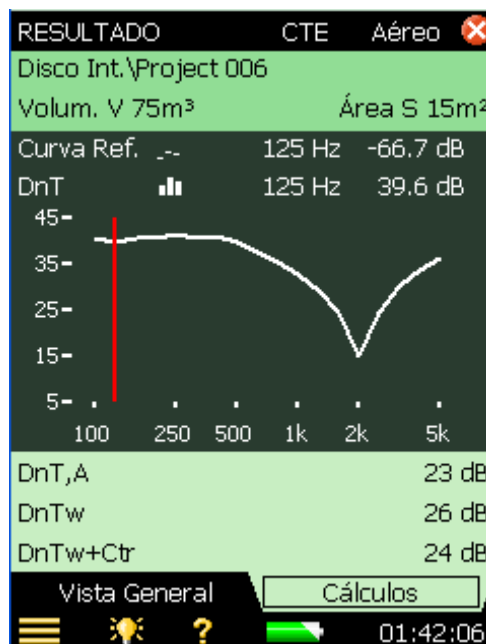


Figura 7. Resultados en la palma de la mano de todos los resultados de aislamiento acústico (D, Dn,

DnTw, DnAT, LnAT, R, R', L'nT, etc)

Los espectros requeridos (L1, L2, etc) pueden medirse en cualquier orden, para adaptarse a las condiciones de campo y a sus preferencias.

4.2 Fuente sonora omnidireccional y amplificador de potencia

La fuente sonora 4292-L es una fuente dodecaédrica, optimizada en su diseño para ser la de menor peso del mercado (8 kg). Cumple con las indicaciones de omnidireccionalidad y respuesta en frecuencia tal como indica la norma UNE-EN ISO 140-3. Así mismo, cumple con las normas DIN 52210 e ISO 3382.

El nivel de potencia acústica con una señal de ruido rosa, en banda ancha de 100Hz a 3,15 kHz, es de 122 dB ref. 1pW, que lo hace perfecto para medidas de aislamiento acústico.



Figura 8. Fuente sonora omnidireccional situada sobre el trípode

La fuente sonora es excitada a través del amplificador independiente de señal 2734, que proporciona el nivel de potencia necesario para realizar las medidas de aislamiento, y para facilitar su transporte y conseguir que sean lo más ligeros posibles para facilitar el trabajo del usuario.



Figura 9. Amplificador de potencia 2734

4.3 Adaptación de la solución de Brüel & Kjaer a la nueva ISO 16283-1

Las soluciones de Brüel & Kjaer se han adaptado para cumplir con la nueva ISO 16283-1 que es la nueva norma para medida de aislamiento a ruido aéreo y sustituye a las normas ISO 140-4 e ISO 140-14.



Figura 10. Algunos ejemplos de pantallas del cumplimiento con la nueva ISO 16283-1

REFERENCIAS

- NORMA UNE-EN ISO 140-4:1999. Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción.
Parte 4: Medición “in situ” del aislamiento al ruido aéreo entre locales.
- NORMA UNE-EN ISO 140-5:1999. 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.
- NORMA UNE-EN ISO 140-7:1999. Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción.
Parte 7: Medición “in situ” del aislamiento acústico de suelos al ruido de Impactos.

- NORMA UNE-EN ISO 717-1:2013. Acústica. Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción.
Parte 1: Aislamiento a ruido aéreo.
- ISO 16283-1:2014 Acoustics -- Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements -- Part 1: Airborne sound insulation 2014.
-
- Brüel & Kjaer Ibérica S.A., "Analizadores portátiles – Tipo 2250 y 2270, con el Software de acústica de edificios de dos canales BZ – 7229 y el Software Qualifier Tipo 7830", Septiembre de 2008.
- www.bksv.es

Cómo analizar y predecir aislamientos acústicos con precisión.

Salvador R. Domingo Bets

Ingeniero de Telecomunicación. Responsable de desarrollo de noiselab.net. Blue Noise, S.L.

Palabras clave: aislamiento acústico, reciprocidad acústica, predicción de aislamiento.

Resumen

Cuando se aplica un método adecuado de medición del aislamiento acústico en el caso real, resulta posible tanto realizar un análisis correcto del comportamiento de los recintos evaluados frente al ruido, como realizar cálculos predictivos adecuados al aplicar medidas correctoras para incrementar el aislamiento, dentro de una incertidumbre aceptable para la resolución de casos reales.

El método se sustenta en el principio de reciprocidad acústica, tal y como fue enunciado por Lord Rayleigh y Von Helmholtz. Realizando ciertas precisiones sobre el principio básico y utilizando las herramientas de medición adecuadas, resulta posible deducir las diferentes curvas de aislamiento acústico a ruido aéreo entre dos recintos, diferenciadas por vías de transmisión. Sobre esta información sí que es posible aplicar los métodos de cálculo teóricos para la aplicación de medidas correctoras en el caso real, fuera del laboratorio.

1 El problema.

El problema principal al que nos enfrentamos cuando queremos conocer el estado del aislamiento acústico a ruido aéreo entre dos recintos en el caso real es poder ir más allá de la información que nos aporta realizar una medición convencional de dicho aislamiento. Contar con la información de aislamiento detallada por bandas de frecuencias es útil, pero de forma limitada para poder aplicar ingeniería correctiva. La razón es que se trata de información global, en el sentido de que no nos indica en qué medida contribuye cada elemento constructivo a constituir dicho aislamiento.

Además, el problema se vuelve más complejo cuando el recinto bajo estudio ya cuenta con tratamientos aislantes. En este caso resulta mucho más difícil entender cuales son las vías principales de transmisión del sonido, así como el comportamiento real de los aislamientos ya aplicados. De nuevo, el problema radica en el hecho de que no contamos con información diferenciada por elementos constructivos.

Todo quedaría en anécdota si no fuese porque no contar con dicha información diferenciada por elementos constructivos implica que el ingeniero tiene que trabajar con pocas certezas y sin posibilidad de aplicar metodologías de cálculo ya contrastadas para los diseños de incremento del aislamiento que proponga. En este sentido, y con tal de no fracasar en el resultado final que se obtenga, el ingeniero tiene que sobredimensionar sus diseños. Esto implica un aumento de los costes, o bien de espacio, o bien de dinero, o de ambos. Todo ello como moneda de cambio para reducir las posibilidades de fracaso.

2 El objetivo.

Resulta necesario contar con un sistema de medición eficiente para el caso real que ofrezca al ingeniero las posibilidades de análisis y cálculo con los que cuenta para el caso teórico. La aspiración debe ser adjuntar a cualquier diseño de aislamiento que implique medidas correctoras una estimación de qué resultado se espera, y por bandas de frecuencia.

Evidentemente se producirán desviaciones entre la estimación y el resultado final real, pues se trata de un caso real sujeto desde las incertidumbres del ensayo de aislamientos por vías de transmisión y métodos de cálculo, hasta las particularidades de la puesta en obra. Pero esto no es óbice para utilizar las herramientas que nos aporten la mayor información posible y que nos acerquen más a resolver adecuadamente el problema.

La formación del ingeniero en el uso de la tecnología de medición y análisis de datos, así como su pericia en la propuesta de soluciones y atención a su ejecución; resulta crucial para que los resultados sean adecuados.

3 La inspiración.

Hermann Von Helmholtz plantea en sus tratados el principio de reciprocidad acústica. Básicamente establece que si en un punto del espacio se produce una cierta variación del nivel de presión sonora que genera una cierta velocidad de partícula en otro punto; si llevamos esa cantidad de variación del nivel de presión sonora al segundo punto, en el primero se producirá la misma velocidad de partícula que se producía en el segundo. Véase figura 1.

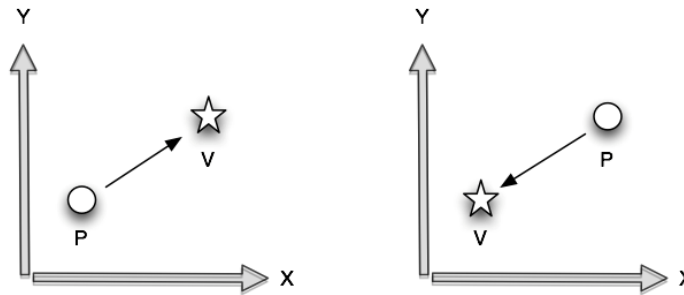


Figura 1. Principio de reciprocidad acústica.

Más adelante Lord Rayleigh, en su famoso tratado *The Theory of Sound*; aporta un avance fundamental sobre este principio, demostrando su aplicación también al caso en el que exista amortiguación en el sistema.

Por lo tanto, se abre la posibilidad a aplicar el principio de la reciprocidad acústica a sistemas constructivos reales; dado que el espacio sobre el que trabajemos con el principio de reciprocidad puede ser cualquier subsistema que consideremos.

El avance necesario para poder llegar a la aplicación práctica del principio es entender como pasar de trabajar con valores puntuales a hacerlo con niveles de presión sonora y vibración medidos de forma extensa en los recintos bajo estudio. Pasamos de puntos a superficies en el caso de las vibraciones; y de considerar presiones en campo libre a considerar presiones modificadas por las condiciones de contorno de cada recinto. Al estar trabajando con sistemas lineales e invariantes en el tiempo resulta posible aplicar el aparato matemático que nos lleve a resolver el problema.

4 El método de medición y análisis Solid Noise.

La aplicación práctica de la reciprocidad acústica que constituye el método de medición y análisis Solid Noise consiste fundamentalmente en entender que cada uno de los dos recintos bajo estudio están constituidos por una cantidad de superficies heterogéneas que los *interconectan acústicamente*, en el sentido de que son los elementos transductores de la energía acústica entre ellos. Véase figura 2.

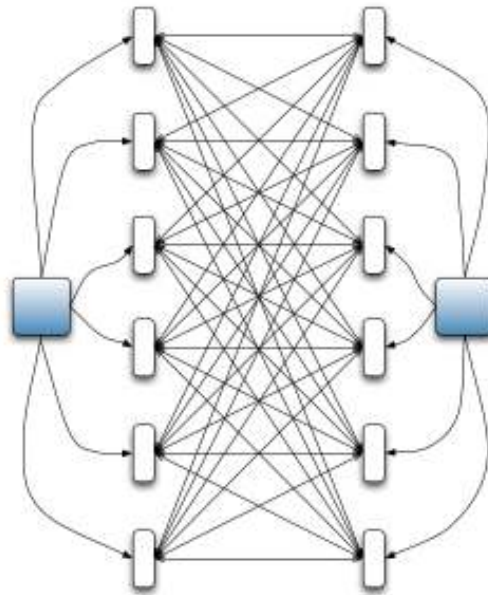


Figura 2. Método Solid Noise. Los recintos son volúmenes de aire interconectados por superficies (n, m), que actúan como transductores acústicos entre ellos .

El sistema de medición incorpora, además de mediciones de la presión sonora emitida y recibida en ambos recintos; mediciones de las vibraciones generadas en todas las superficies implicadas por razón de la presión sonora emitida desde el recinto contrario. Para conseguir realizar mediciones de la vibración de forma rápida se ha desarrollado una sonda que incorpora un acelerómetro y que permite captar datos sin necesidad de emplear fijaciones.

Se han invertido más de 5 años en sistematizar la metodología adecuada, que implique el mejor compromiso entre la practicidad de la medición del caso real y la precisión del resultado obtenido. La base del sistema es fuertemente teórica pero aborda la resolución de un problema real complejo. Se ha acumulado una experiencia de más de 800 mediciones reales para obtener parámetros de trabajo adecuados: número de puntos de medición a considerar.

El resultado que se obtiene al aplicar el método Solid Noise es el aislamiento acústico entre los recintos de forma diferenciada para cada superficie considerada, además del global. Si seguimos con el ejemplo de la figura 2, obtendríamos seis curvas de aislamiento diferenciadas.

5 La predicción del aislamiento acústico para el caso real.

Se conocen métodos de cálculo para predecir aislamiento acústico que ofrecen resultados muy precisos en el caso de trabajar en entornos de laboratorio, en los cuales no existen problemas de transmisiones secundarias del sonido de importancia entre los recintos, y por tanto el cálculo predictivo del aislamiento futuro se aproxima muchísimo al cálculo teórico. Véanse figuras 3 y 4.

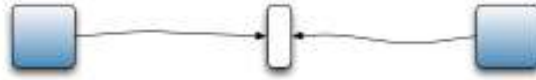


Figura 3. Dos recintos en condiciones idóneas de laboratorio. Sólo les separa una superficie común con capacidad de transmisión acústica de consideración.

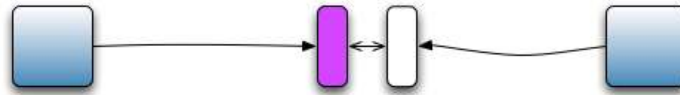


Figura 4. Solución acústica aplicada sobre los recintos de la figura 3.

La potencia del análisis Solid Noise es que permite ordenar la información del caso real de tal manera que resulta posible aplicar los mismos métodos de cálculo que en los modelos teóricos y en los ensayos de laboratorio bajo condiciones acotadas. El cálculo predictivo se realiza sobre la superficie en particular sobre la que se aplicará la medida correctora, y no sobre todas las superficies del recinto (que es lo que se hace al aplicar cálculos predictivos sobre la curva de aislamiento global).

De esta manera, lo que se obtendrá es una nueva curva de aislamiento futuro para una superficie en particular, mientras que el resto permanecen igual. Sin embargo, el aislamiento global sí que se verá afectado por el cambio de aislamiento de una de sus superficies. Resulta sencillo extender el concepto al manejo de mayor número de superficies. Véase figura 5.

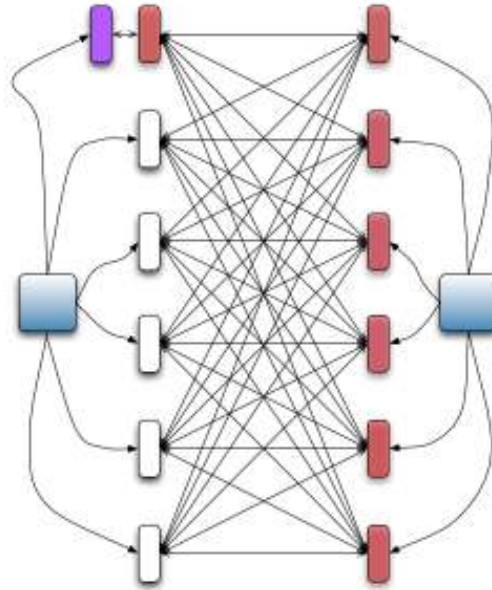


Figura 5. Solución acústica aplicada sobre recintos en un caso real.

La robustez del cálculo predictivo que se obtiene en este caso radica en que las curvas de aislamiento obtenidas para cada superficie del recinto conllevan las condiciones de contorno del caso en particular. De esta forma, el sistema asume toda la complejidad existente de una forma manejable y accesible.

REFERENCIAS

J.W.S. Rayleigh, "The theory of sound".

Higini Arau, "ABC de la acústica arquitectónica".

Harry F. Olson, "Acoustical engineering".

Software para cálculo de aislamientos según EN12354. Verificación de calidad acústica en edificación.

Cástor Rodríguez Fernández

Ingeniero de Telecomunicación - Sound of Numbers, S.L.

Palabras clave: aislamiento acústico, EN12354, calidad acústica.

Resumen

En varios países Europeos, además de contar con unos requerimientos mínimos de aislamiento acústico a ruido exigibles a la edificación, se cuenta con esquemas de clasificación de la calidad acústica de los edificios. En función de los niveles de prestación acústica alcanzados, una vivienda podrá obtener una clasificación determinada. Actualmente en Europa se está lejos de la armonización en el concepto de confort o calidad acústica: no se manejan descriptores comunes en la definición de los requisitos de aislamiento, y estos cambian en función de los países. En este artículo se presenta una herramienta que proporciona la posibilidad de determinar la clasificación acústica de un edificio completo en cualquiera de los esquemas de clasificación europeos, teniendo en cuenta la disparidad de descriptores y requisitos. El software presentado utiliza el método de cálculo descrito en la familia de normas EN12354 y además aporta una herramienta de evaluación subjetiva de la calidad acústica: la auralización 3D.

1 INTRODUCCIÓN

En los últimos años, se ha llevado a cabo en Europa una revisión importante de los requerimientos de aislamiento acústico en la edificación. Durante el año 2004 se realizó en Europa una comparativa de requerimientos en 24 países, no sólo a nivel de exigencia sino también comparando el tipo de descriptores utilizados y el rango de frecuencia aplicado. Los 24 países participantes en este estudio fueron: Austria, Bélgica, República Checa, Dinamarca, Estonia, Finlandia, Francia, Alemania, Hungría, Islandia, Italia, Letonia, Lituania, Holanda, Noruega, Polonia, Portugal, Eslovaquia, Eslovenia, España, Suecia, Suiza, Reino Unido (hasta aquí miembros del Comité Europeo de Normalización- CEN) y Rusia. De estos países, únicamente 9 cuentan con un esquema de clasificación acústica para la edificación. En la Tabla 1 se incluye la lista de países con las referencias aplicables para la calificación acústica.

Tabla 1. Países europeos con esquemas de clasificación acústica en edificación

País	Notación de Clases	Año de Implantación	Referencia
Dinamarca	D/C/B/A	2001	DS 490 (2001)
Noruega	D/C/B/A	1997/2005	NS 8175 (2005)
Suecia	D/C/B/A	1996/1998/2004	SS 25267
Finlandia	D/C/B/A	2004	SFS 5907 (2004)
Islandia	D/C/B/A	2003	IST 45 (2003)
Alemania	I/II/III	1994	VDI 4100 (1994)
Francia	QL/QLAC	1993/1995/2000	Guide Qualitel (2000)
Holanda	5/4/3/2/1	1999	NEN 1070 (1999)
Lituania	E/D/C/B/A	2004	STR 2.01.07 (2003)

Los métodos e indicadores utilizados para el establecimiento de requerimientos acústicos se basan en la familia de normas ISO 717. Esta norma ofrece variedad de opciones, alguna de las cuales han sido adoptadas en varios países, lo que ha hecho que en distintos países se hayan adoptado diversas opciones. Actualmente, las distintas propuestas europeas tanto para el establecimiento de requerimientos como para la determinación de la clasificación acústica de edificios no están armonizadas y existe un grupo de trabajo en la Asociación Europea de Acústica, el WG “Technical Committee Room and Building Acoustics” encargado del establecimiento de criterios comunes para la clasificación acústica en Europa. La tabla 2 aporta, a modo de referencia, las clases y los criterios utilizados en otros países europeos. En estas tablas se incluyen los datos del esquema de clasificación propuesto para España por la Asociación Española para la Calidad Acústica (AECOR) [5].

Tabla 2. Criterios principales de la clasificación acústica de aislamiento a ruido aéreo en Europa

Clase	Dinamarca	Finlandia	Islandia
A	$R'w + C_{50-3150} \geq 63$	$R'w + C_{50-3150} \geq 63$	$R'w + C_{50-3150} \geq 63$
B	$R'w + C_{50-3150} \geq 58$	$R'w + C_{50-3150} \geq 58$	$R'w + C_{50-3150} \geq 58$
C	$R'w \geq 55$	$R'w \geq 55$	$R'w \geq 55a$
D	$R'w \geq 50$	$R'w \geq 49$	$R'w \geq 50$

España (*)	Francia	Alemania	Holanda
$D_{nT,A} \geq 60$	$D_{nT,w} + C \geq 56$	$R'w \geq 59$	$D_{nT,w} + C \geq 62$
$D_{nT,A} \geq 55$	$D_{nT,w} + C \geq 53$	$R'w \geq 56$	$D_{nT,w} + C \geq 57$
$D_{nT,A} \geq 50$		$R'w \geq 53$	$D_{nT,w} + C \geq 52$
			$D_{nT,w} + C \geq 47$
			$D_{nT,w} + C \geq 42$

Estas tablas ponen de manifiesto la disparidad de criterios a la hora de definir un único esquema europeo común: tanto en los descriptores utilizados (D_{nT} , $R'w$, $R'w+C_{tr}$, ...) como en la definición del número de clases y los umbrales de clases. En las referencias [1] a [4] se detalla la descripción de los esquemas de clasificación actualmente vigentes en Europa, su evolución y se analiza la dificultad que existe en el establecimiento de criterios objetivos de calidad que sean representen adecuadamente la reacción del usuario ante el nivel de calidad percibido (es decir, el grado de confort acústico percibido sea coherente con el valor objetivo del descriptor acústico).

En octubre de 2009 se presentaba una nueva herramienta de diseño, SONarchitect [6], que permite el cálculo de las prestaciones acústicas de todo un edificio mediante los métodos de cálculo descritos en las normas EN 12354. Con este programa se han realizado campañas de validación de cálculo, mostrando buena correlación entre las medidas y los cálculos realizados. El tiempo de cálculo del programa permite optimizar el diseño, al no resultar pesado el proceso iterativo cálculo-modificación-recálculo.

En este artículo se revisan algunas de las características del programa y se describen las nuevas capacidades desarrolladas, como la posibilidad de establecer la clasificación acústica del proyecto, permitiendo elegir cualquiera de los esquemas de clasificación actualmente vigentes en Europa: Dinamarca, Finlandia, Islandia, Noruega, Suecia, Francia Alemania, Lituania y los Países Bajos. El software, además, incluye una herramienta de auralización en 3D que permite facilitar la comprensión del concepto de calidad acústica y aclarar algunos conceptos básicos a profesionales, claves en el proceso de construcción (arquitectos, arquitectos técnicos, promotores), no familiarizados con la acústica.

2 REVISIÓN GENERAL DEL CÁLCULO AUTOMÁTICO MEDIANTE EN12354

SONarchitect proporciona el cálculo automático del aislamiento acústico en un edificio del aislamiento a ruido aéreo y de impacto, aislamiento a ruido exterior, y la emisión de ruido desde los recintos ruidosos del edificio hasta el exterior. Calcula además el tiempo de reverberación. Todos los cálculos se realizan conforme a las normas EN12354, partes 1, 2, 3, 4 y 6 (ISO 15712) Los cálculos se efectúan a partir de los planos del edificio sin la necesidad de aplicar restricciones geométricas.

Los índices de reducción vibracional, K_{ij} , se eligen de forma automática a partir de la información que el procesador geométrico extrae y del tipo de material seleccionado por el usuario. Los cálculos se realizan en tercios de octava y los requisitos del proyecto se pueden seleccionar de forma automática.

El usuario puede navegar por todas los recintos del edificio presentado en 3D e investigar cuál es el valor del aislamiento calculado para todos los elementos del edificio, tanto cuando estos actúan como vía directa como cuando actúan como flanco. El programa permite además extraer un histograma que representa el comportamiento global del edificio.

Simmons en [7] analiza el impacto que tienen sobre los resultados de cálculo, las aproximaciones y simplificaciones que el usuario debe realizar durante el proceso de modelado.

Como se ha comentado anteriormente, uno de los principales problemas relacionados con el uso de herramientas de diseño tradicionales es la dificultad que surge al tratar con geometrías complejas. El usuario se ve forzado a aproximar todas las posibles formas geométricas que se encuentra en los planos del edificio por

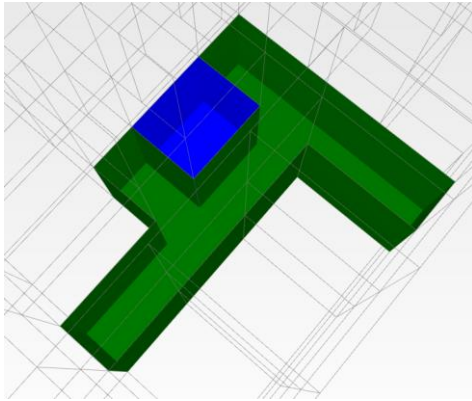


Figura 1 - Geometría dos recintos SONarchitect

cajas rectangulares. La figura 1 muestra como ejemplo uno de los casos en los que la utilización de herramientas tradicionales de cálculo puede conducir a errores en la estimación del aislamiento. En la figura, se muestran dos recintos que comparten tres elementos separadores comunes. Con herramientas tradicionales, el usuario debe asumir que el tabique separador es único, lo que conduce a un error en la estimación del tiempo de reverberación estructural (no se tiene en cuenta la atenuación provocada por la esquina) y de la longitud de absorción equivalente. El usuario se ve forzado a definir “recintos equivalentes” y deberá poner especial cuidado al definir los “nuevos flancos equivalentes” para no modificar las longitudes y las superficies correspondientes y mantener así el correspondiente índice de reducción sonora del flanco. En el caso de recintos en U para transmisión horizontal o L en el caso de transmisión vertical, las simplificaciones de cajas

rectangulares no son posibles. La Figura 2 muestra algunos de los casos donde la aproximación de cajas rectangulares no es utilizable.

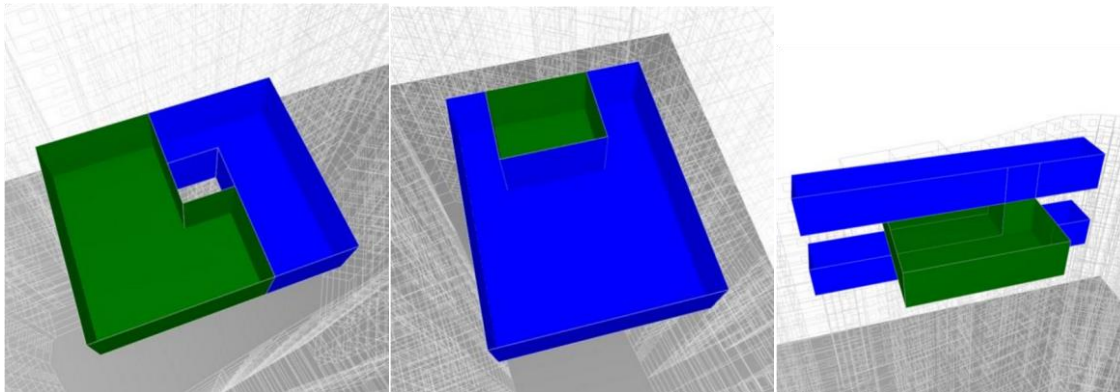


Figura 2 - Ejemplos de geometrías donde no puede utilizarse el modelo de cajas

SONarchitect ISO calcula la transmisión sonora a través de cada elementos separador y de cada par de flancos sin restricciones geométricas y suma todas las contribuciones de los caminos de propagación entre el recinto fuente y receptor. El programa incluye herramientas de dibujo que permite recrear la geometría completa en 3 dimensiones de un edificio. El trazado del plano puede realizarse a partir de la importación de ficheros en formato “.dxf”, como indica la Figura 3.

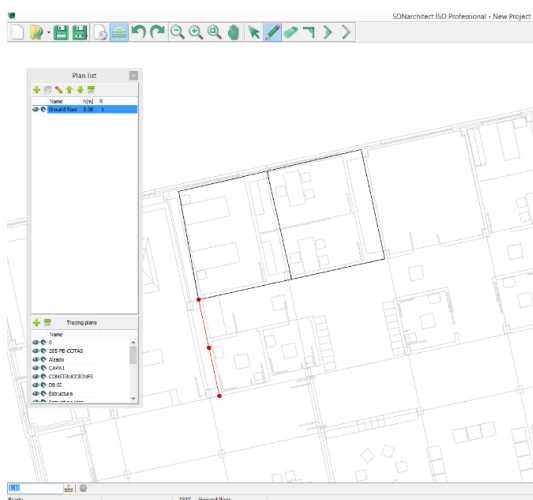


Figura 3 - Trazado sobre DXF

El programa contiene un potente procesador geométrico que reconoce automáticamente los volúmenes del edificio y detecta las intersecciones entre paramentos, etiquetando el tipo de unión (cruz, uniones en T,...). Es decir, SONarchitect selecciona automáticamente el índice de reducción vibracional, K_{ij} , apropiado para cada tipo de unión. Al contrario que en otras herramientas convencionales, no hay necesidad de especificar si una unión es en “T”, “L” o “X”, o si los elementos son ligeros o si la unión corresponde con una fachada ligera. Toda esta información está implícita en el proceso de introducción de la geometría y de los elementos constructivos. Se han incluido algunas extensiones a los índices de reducción vibracional, que permiten mejorar la estimación del aislamiento en el caso de encuentros entre la tabiquería interior y tabiques dobles [11]. Actualmente se están desarrollando y validando nuevas expresiones mediante la utilización de elementos finitos [12]. La única

información adicional necesaria para la perfecta definición de uniones, son las juntas elásticas. Si se desea incluir la utilización de bandas elásticas en los encuentros, el usuario cuenta con el modo de configuración de las uniones, Figura 4, que implementa el interfaz.

Los materiales constructivos se seleccionan de la base de datos, Figura 5, donde se incluyen más de 2000 soluciones constructivas de distintas bases de datos y fabricantes europeos, con datos de aislamiento en laboratorio en tercios de octava. El usuario puede además diseñar sus propias soluciones constructivas. Se han desarrollado diferentes herramientas que permiten al usuario definir nuevos materiales, utilizando diferentes ecuaciones par la predicción del aislamiento, incluidas en el apéndice B de la norma EN ISO 12354-1, apéndice C de la EN 12354-2 y otras expresiones de la ley de masas publicadas por distintos autores, como Cremer, London, Josse-Lamure, Price-Crocker, Sewell, Brekke y Arau. Se ha implementado además el método de impedancia para medios multicapa.

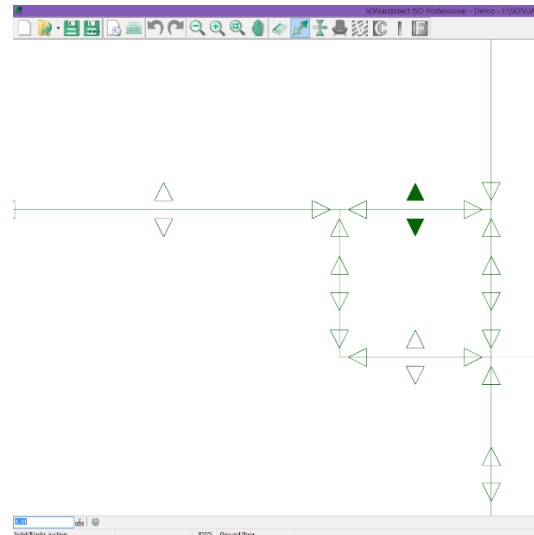


Figura 4 - Definición e uniones elásticas

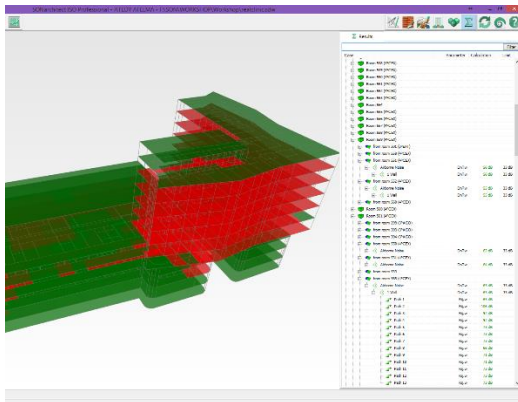


Figura 5 - Árbol de resultados

Los cálculos del aislamiento *in-situ* se presentan en un árbol de resultados, tal como indica la Figura 5. Para cada resultado presentado en el árbol se puede desplegar para determinar la contribución de cada uno de los flancos que intervienen en cada caso. Para cada resultado se puede imprimir una ficha justificativa en formato *pdf*.

Los pares de recintos que no verifican los requerimientos establecidos durante la fase de configuración del proyecto se representan en color rojo. (recordemos que los requisitos y límites de aislamiento son totalmente configurables). El programa además asigna color rojo a las vías de transmisión débiles, permitiendo localizarlas con rapidez dentro del árbol de resultados.

Además de los resultados de aislamiento según las partes 1, 2 y 3 de la norma EN 12354, el programa calcula la radiación hacia el exterior de los recintos clasificados como ruidosos. Para ello, previamente el usuario deberá indicar los valores de presión sonora máxima en el interior del recinto (Figura 6).

Los resultados pueden presentarse en un informe recopilatorio, ver Figura 7, de aquella información que el usuario desee incluir (informes configurables). Se incorpora además una nueva posibilidad: la auralización de los resultados de los cálculos. La auralización permite la evaluación subjetiva del proyecto, más allá de los requisitos legales establecidos y además trasladar el significado de las magnitudes acústicas manejadas a usuarios o clientes no familiarizados con ellas. El programa incluye algunos ficheros para permitir al usuario evaluar subjetivamente el aislamiento conseguido en el proyecto utilizando distintos tipos de fuentes sonoras, pudiendo también incluir ficheros propios. En la Figura 8 se presenta el entorno 3D de

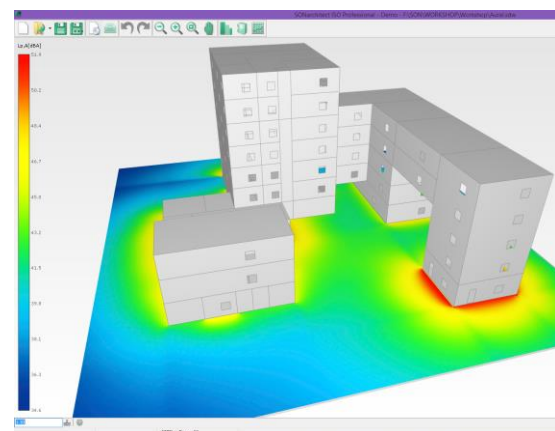


Figura 6 - Nivel de presión sonora exterior

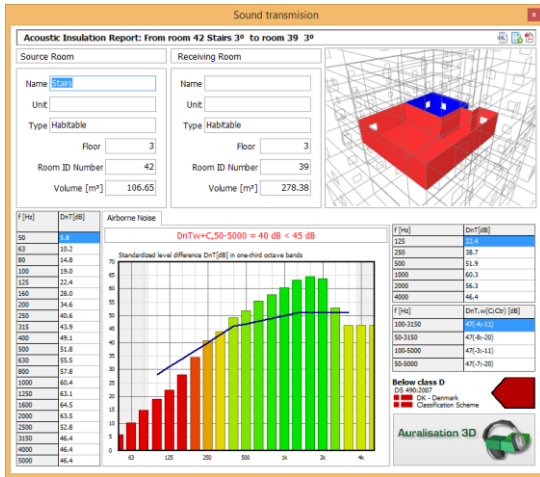


Figura 8 - Ficha de resultado con clasificación

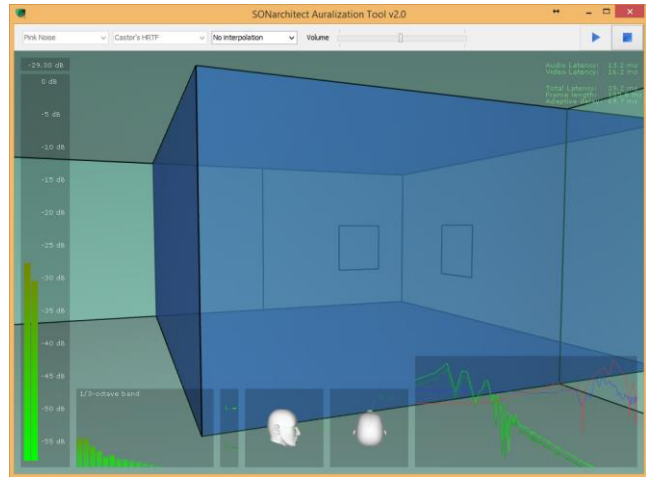


Figura 7 - Entorno de Auralización 3D

escucha, en el que el usuario se puede desplazar por ambos recintos y apreciar las diferencias, puesto que posee procesado binaural. Puede además observarse en la Figuras 7 que se propone una *etiqueta de eficiencia acústica*, en analogía a la utilizada en eficiencia energética, además de declarar el cumplimiento con los requisitos legales mínimos establecidos. Esta etiqueta se otorga en función del esquema de clasificación acústica correspondiente.

3 CLASIFICACIÓN ACÚSTICA DE EDIFICIOS: OPTIMIZACIÓN

El objetivo del establecimiento de un esquema de clasificación garantizar unos niveles de confort acústico determinado, en función de la clase. La definición de las clases más elevadas debería ir orientada hacia el objetivo de que un 100 % de los usuarios del edificio declaren no percibir molestias procedentes de las actividades desarrolladas por otros ocupantes del edificio. Principalmente dos trabajos [9] y [13] han establecido las relaciones dosis-reacción en función de distintos niveles de aislamiento ante distintas fuentes de ruido doméstico: música comercial reproducida por Cds, ruido de impacto de pasos y de niños jugando. Las conclusiones y la curva dosis-reacción publicada en estos trabajos, con una pendiente del 4% por dBA entre 20% y el 80% de usuarios con molestias por ruido, fue verificada mediante los estudios realizados en la Universidad Técnica de Dinamarca [14]. En nuestra opinión la variación, la pendiente de molestia podría mostrar variaciones superiores si se hubieran considerado más fuentes de ruido habituales en entornos domésticos, como son los ruidos procedentes de cuartos de baño, ruidos con componentes tonales procedentes de instalaciones o incluso la música procedente de un principiante tocando un instrumento durante las largas horas de aprendizaje (música no comercial). Incluso cuando estos sonidos no están presentes en todos los recintos de una vivienda, nuestra sensibilidad ante ellos podría suponer una percepción devaluada del grado de confort acústico. Ante esta situación, puede resultar interesante la utilización de herramientas de auralización en un entorno de diseño acústico de un edificio para poder evaluar la presencia e importancia de estos ruidos en distintas estancias de una vivienda.

Actualmente, los requisitos mínimos de aislamiento acústico establecidos en Europa, suponen un nivel de confort acústico donde únicamente un 40% de los usuarios de una vivienda que cumpla el mínimo establecido se declararían satisfechos. Claramente los requisitos legales garantizan un umbral de confort mínimo, pero este mínimo no es suficiente.

En agosto de 2009, nueve países europeos habían ya desarrollado un sistema de clasificación acústica en la edificación, descritos en [2],[3]. Estos esquemas surgen como una herramienta para incrementar el nivel de confort acústico en las viviendas y muchos de ellos están vinculados con los códigos técnicos nacionales, al asignar un nivel de clasificación determinado a los niveles requeridos en el código técnico de la edificación nacional correspondiente. Este vínculo entre esquema de clasificación y código técnico simplifica considerablemente la aplicación del Código Técnico y realza el concepto de calidad definido en el esquema: el mensaje que se genera es *existe una mayor calidad acústica posible y los requisitos legales solo garantizan un grado e confort mínimo*. En muchos de estos esquemas de clasificación, las clases más altas incluyen

requerimientos mínimos de aislamiento en baja frecuencia, incluyendo descriptores que utilizan términos de adaptación espectral extendidos a 50 Hz.

Los esquemas de clasificación se aplican a cada par de recintos. En la aplicación de un esquema que garantice confort acústico hay un problema en el viaje desde el elemento constructivo al edificio. Podemos determinar mediante y cálculo el aislamiento de un paramento y determinar su clase. Para determinar la clase de un recinto tenemos que resolver todas las colindancias del recinto y determinar la clase de todos los paramentos. Entonces, ¿cómo podemos clasificar una habitación a partir de las clases de los paramentos? ¿Cómo podemos asignar una clase a una vivienda a partir de la clasificación de las habitaciones? ¿Cómo asignar una etiqueta acústica a un edificio? ¿Hay algún interés en este proceso?

Un esquema de clasificación acústica resulta de interés para el público. Podemos comprobar el éxito en el desarrollo e implantación del esquema de clasificación de eficiencia energética. Cada vez más el gran público comprende el significado de las clases y que un frigorífico de clase A es más eficiente que el de clase B. También implica una simplificación importante en los descriptores. No nos venden un frigorífico explicándonos cuántos vatios consume. Simplemente con la etiqueta nos llega: clase B “debe ser bastante bueno”. Los esquemas de clasificación resultan de gran interés porque los usuarios se sentirán mucho más cómodos con un concepto como “esta habitación es clase A”, o “clase B”, que con cantidades acústicas. Con el tiempo un usuario entenderá que en una vivienda clase B escuchará algo los ensayos del pequeño vecino del quinto, mientras que con una vivienda clase A, puede estar tranquilo organizando cenas para los amigos sin que estos molesten a sus vecinos. Parece por tanto, que es útil y recomendable llevar el esquema de clasificación hasta el nivel de vivienda.

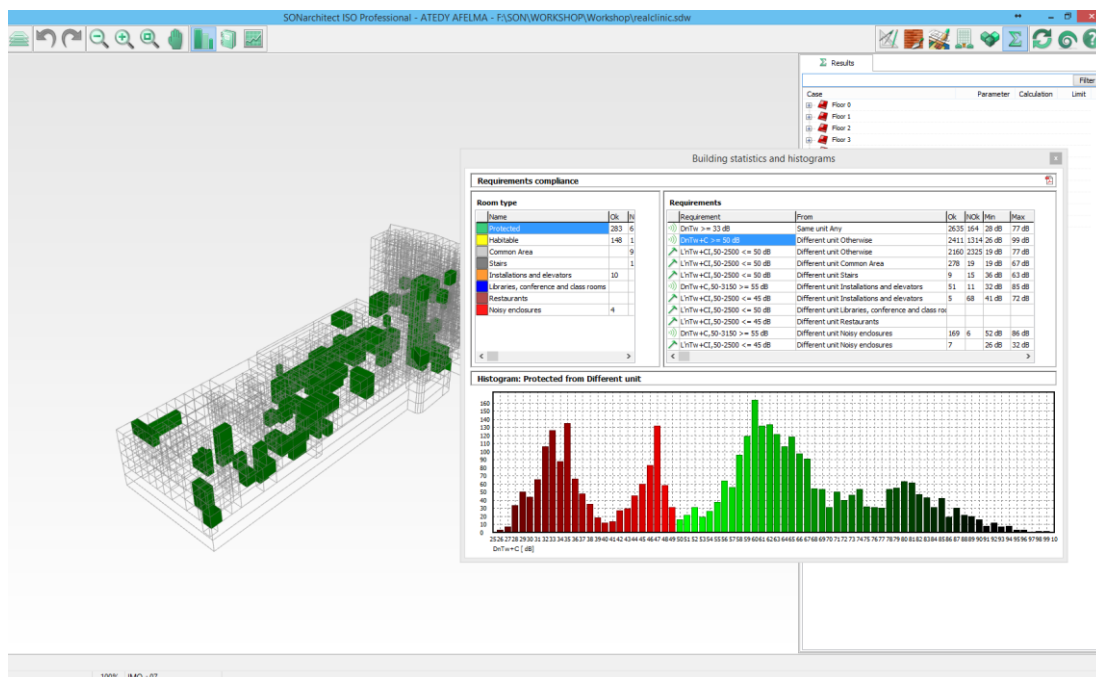
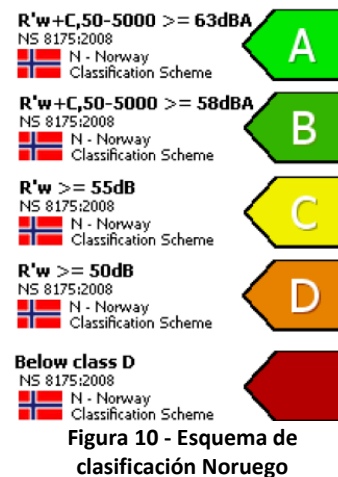


Figura 9 - Histogramas interactivos

Por otra parte, el problema de establecer un sistema de clasificación, puede no ser tan importante para los usuarios finales como para los promotores o los legisladores. No es incompatible, o al menos no lo parece, mantener en el mismo edificio viviendas que pertenecen a distintas clases. Puede haber usuarios que prefieran pagar algo más por un grado de confort acústico superior. En el aseguramiento de la calidad, el eslabón más débil establecerá el nivel de calidad del conjunto. De este modo, la clase de una habitación debería ser definida a partir de la peor de las particiones. De poco importa si el 90 % de las colindancias de un recinto es de clase A, si una de las particiones es de clase d. Del mismo modo, la clase de una vivienda debería ser establecida a partir de la clase de la habitación con peor clasificación. Claramente, si en fase de proyecto resulta complicado establecer el caso peor para dar conformidad a un mínimo legal, cuando hablamos de la verificación de la calidad y del establecimiento de clases en las viviendas de un edificio, el 100 % de las viviendas debe ser verificadas, y, al menos en cada vivienda, ser capaces de detectar la habitación y la partición con clase mínima. Si una habitación de un edificio pertenece a una clase determinada, ¿puede deducirse que todas las habitaciones de una vivienda

pertenecen a la misma clase?, si se ha establecido una clase para una vivienda, ¿podemos inferir que todas las viviendas de un edificio pertenecerán a la misma clase?. Estas cuestiones se resuelven parcialmente echando un vistazo a un histograma obtenido calculando el 100 % de los paramentos de un proyecto. En la Figura 9 se muestra el histograma correspondiente al aislamiento a ruido aéreo de un proyecto real. Se observa una gran dispersión de resultados y revela como es difícil establecer conclusiones o extrapolaciones para todas las particiones de un edificio (es decir, para todas las habitaciones y viviendas) a partir del conocimiento de un conjunto pequeño de ellas. Si todas las plantas de un edificio presentan la misma distribución, los resultados podrían extrapolarse a partir el cálculo de tres plantas. Con SONarchitect se facilita enormemente la tarea de la optimización, ya que los histogramas que se obtienen son interactivos, pudiendo así saber qué grupos de recintos están situados en qué valor de aislamiento, aplicando mejores soluciones a los aislamientos más pobres, y soluciones más pobres a los aislamientos más fuertes.

Para una mejor comprensión de los agentes implicados en el proceso de construcción (desde arquitectos, promotores a usuarios finales), tal como se ha expuesto anteriormente, se propone una traslación de los requisitos acústicos a un sistema de etiquetado. Una de las ventajas técnicas futuras es su robustez frente a posibles cambios o unificaciones a nivel europeo de los descriptores acústicos utilizados. El sistema etiquetado puede mantenerse si más que cambiar la definición subyacente. El usuario recibe el mismo mensaje de eficiencia acústica aunque esta pueda verse redefinida en el tiempo, ajustando los niveles de clase a nuevos valores o, simplemente cambiando las definiciones expresadas en $D_{nT,A}$ a, por ejemplo $D_{nT,w}$. El mero cambio “de subíndice” causaría confusión en el profesional no acostumbrado a los indicadores acústicos, y para él, con herramientas de diseño adaptadas a los cambios de descriptores, nada habrá cambiado en términos de etiquetado. La Figura 10 muestra una propuesta de etiquetado atizado por SONarchitect adaptado al esquema de clasificación noruego



4 CONCLUSIONES

En este artículo se ha presentado un resumen de los esquemas de clasificación europeos y discutido el entorno de los esquemas de clasificación acústica. Se han revisado las características de SONarchitect y descrito la inclusión de nuevas herramientas para la verificación del confort acústico: la inclusión de una herramienta de auralización y la propuesta de SONarchitect de utilizar un sistema de etiquetado como sistema para describir la clasificación acústica de un edificio.

REFERENCIAS

- [1] Rasmussen, B.; Rindel JH. Concepts for evaluation of sound insulation of dwellings-from chaos to consensus?. Proceedings Forum Acusticum 2005. Budapest, “IN- CDROM”
- [2] Rasmussen, B.; Rindel JH. Sound insulation between dwellings – Descriptors applied in building regulations in Europe. Applied Acoustics, Volume 71, Issue 3, March 2010, Pages 171-180
- [3] Rasmussen, B. Sound insulation between dwellings – Requirements in building regulations in Europe. Applied Acoustics, Volume 71, Issue 4, April 2010, Pages 373-385
- [4] Rasmussen, B. Sound insulation of residential housing – building codes and classification schemes in Europe. In Handbook of noise and vibration control. USA: Wiley & Son; 2007. Crocker Malcolm J, editor-in-chief.

- [5] Espinel Valdivieso, A.; Iguualador Pascual, Fernando; Frias Pierrad, Juan. Proposal of acoustic classification scheme in Spain. Proceedings INTERNOISE 2010, Lisboa, Portugal, Junio 13-16. IN CD-ROM.
- [6] Sobreira Seoane, M.; Rodríguez Molares A and Martín Herrero J. Automatic calculation of sound insulation following UNE 12354 in a whole building. Proceedings Euronoise 2009. Edimburgh, Scotland, October 26-28 2009. IN CD-ROM.
- [7] Christian Simmons. Reproducibility of measurements with ISO 140 and calculations with EN 12354. NT Technical Report. ISSN 0283-7234
- [8] European standard EN 12354. Building Acoustics – estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements.
- Part 1: Airborne sound insulation between rooms (2000)
 - Part 2: Impact sound insulation between rooms (2000)
 - Part 3: Airborne sound insulation against outdoor sound (2000)
 - Part 4: Transmission of indoor sound to the outside (2000)
 - Part 5: Sound levels due to service equipment in buildings, prEN 2004
 - Part 6: Sound absorption in enclosed spaces (2003)
- [9] Rindel JH. Acoustic quality and sound insulation between dwellings. J Build Acous 1999;5:291–301.
- [10] Rasmussen, B. Facade sound insulation comfort criteria in european classification schemes for dwellings. Euronoise 2006. Tampere, Finland, 30 May-1 June 2006, “ IN-CD ROM”.
- [11] Metzen, Pedersen, Sonntag. “Extending the CEN calculation model for sound transmission in buildings to heavy double walls as separating and flanking walls”. Forum Acusticum, Sevilla, 2002.
- [12] Rodríguez-Molares, A.; Sobreira-Seoane, M.A. “Determination of vibration reduction index by numerical calculations”. Proceedings Euronoise 2009. Edimburgh.
- [13] Nielsen, J.R.; Rindel, J.H.; Mortensen, F.R. “Subjective Evaluation of Noise from Neighbours – With Focus on Low Frequencies”, Pilot project, Publication n. 52, 1998, Department of Acoustic Technology, Technical University of Denmark.
- [14] Mortensen, F.R. “Subjective Evaluation of Noise from Neighbours – With Focus on Low Frequencies”, Main project, Publication n. 53, 1999, Department of Acoustic Technology, Technical University of Denmark.

S6

Acústica de la edificación. Normativa, materiales, instrumentación y control

PATROCINA EL SEMINARIO

COLABORA



Con el apoyo de



Patrocina el curso



Colabora



Publicaciones IETcc-CSIC

