

CARACTERIZACIÓN ACÚSTICA DE ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS HABITUALES EN LA EDIFICACIÓN RESIDENCIAL ESPAÑOLA, MEDIANTE ENSAYOS EN OBRA Y EN LABORATORIO

M^a TERESA CARRASCAL GARCÍA y AMELIA ROMERO FERNÁNDEZ

Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, IETec.

RESUMEN:

El aislamiento acústico de elementos constructivos obtenido en obra difiere del aislamiento acústico obtenido en laboratorio, tanto para ruido aéreo como para ruido de impactos. Esto se produce porque el aislamiento acústico de cualquier elemento constructivo, como por ejemplo una pared, está influido por los elementos constructivos conectados a ella, como son tabiques, forjados o fachadas, ya que los elementos constructivos, en presencia del campo acústico vibran y transmiten sus vibraciones al elemento de separación produciendo la transmisión indirecta estructural o también denominada transmisión por flancos.

El objeto de esta comunicación es cuantificar la pérdida de aislamiento acústico a ruido aéreo, que se produce en la edificación y que es atribuible a las transmisiones indirectas. En el caso de los edificios estudiados, la pérdida de aislamiento acústico puede variar de 4 a 10 dB.

ABSTRACT:

The values of noise insulation obtained in field tests differ from the values obtained in laboratory for the same single construction element. This happens for both, airborne and impact sound. This apparent loss of insulation is due to the fact that the insulation provided by any construction element, such as a separating wall, is influenced by all the other separating elements connected to it, like external walls or floors. These elements are excited by the acoustical energy and start vibrating; therefore they transfer their vibrations to the separating wall, provoking what the flanking transmission.

The aim of this paper is to quantify the loss of insulation that is produced in Spanish dwelling-houses, which is mainly caused by flanking transmissions. In the case of Spanish dwellings, this loss of airborne insulation ranges from 4 to 10 dB.

1. Introducción

Uno de los requisitos de los elementos constructivos que conforman los recintos es el de proporcionar el aislamiento acústico adecuado para que las actividades realizadas en ellos sean llevadas a cabo sin interrupciones debidas a ruidos no deseados.

El aislamiento acústico que proporciona un elemento constructivo en la edificación es diferente del aislamiento que proporciona el mismo elemento en laboratorio. Esto es debido a que los elementos constructivos, en presencia del campo acústico, vibran y transmiten sus vibraciones a los elementos que están conectados, provocando las transmisiones indirectas.

El objetivo de esta comunicación es establecer una comparación entre el aislamiento acústico de particiones entre viviendas obtenido in situ, con el aislamiento que se puede obtener en laboratorio, para los mismos elementos constructivos y de esta forma determinar cuál es la pérdida de aislamiento acústico a ruido aéreo producida en la edificación.

2. Principios de la transmisión de ruido entre dos recintos

La transmisión de ruido entre dos recintos (emisor y receptor), se produce por dos vías (figura 01):

1. **Vía directa**, a través del elemento de separación. Dd. Esta transmisión depende básicamente del tipo de elemento constructivo. La transmisión aérea directa incluye la transmisión E, a través de rejillas, aireadores o dispositivos de menos de un metro cuadrado de superficie que atraviesen en el elemento de separación vertical.
2. **Vía indirecta**. Se distinguen dos tipos de transmisiones indirectas:
 - a) **Aérea indirecta**, si la energía acústica se transmite de un recinto a otro a través de conductos de instalaciones tales como conductos tipo shunt, de aire acondicionado, falsos techos, suelos técnicos o puertas, S.
 - b) **Transmisión indirecta estructural o por flancos**, producida por las vibraciones de los elementos de flanco conectados al elemento de separación entre recintos. El campo acústico produce en los elementos constructivos una serie de vibraciones que no quedan confinadas en el elemento constructivo, sino que se disipan en parte en forma de calor, y en parte se transmiten a los elementos constructivos adyacentes. Ya sea desde el elemento de separación a un elemento de flanco (Df), desde un elemento de flanco al elemento de separación (Fd) o a través de los flancos. (Ff). Las transmisiones indirectas dependen del tipo de elementos constructivos de flanco y de sus formas de unión entre sí.

En las cámaras de medida de los laboratorios de acústica, el sonido se transmite mayormente a través de la probeta, ya que las transmisiones indirectas son despreciables. Sin embargo en la edificación, las transmisiones indirectas, vía aérea o por flancos no son despreciables. Por lo que para un mismo elemento constructivo, el aislamiento obtenido in situ, siempre es menor que el aislamiento teórico o de laboratorio.

Además de las transmisiones indirectas, existen otros motivos por los cuales el aislamiento acústico proporcionado por un elemento constructivo en la edificación es menor que el proporcionado por el mismo elemento en laboratorio, que son:

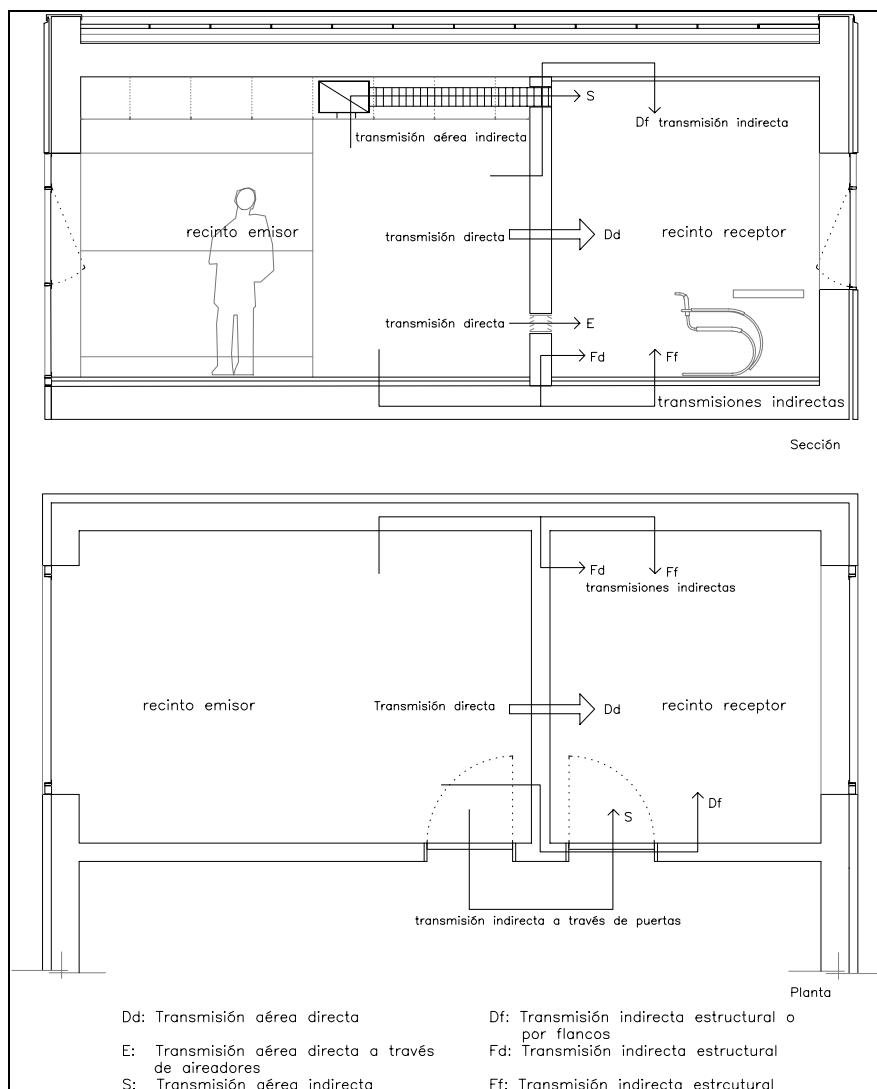


Figura 1. Definición de los caminos de transmisión del sonido entre dos recintos.

- Defectos en la ejecución (falta de sellado o de estanqueidad en la ejecución de falsos techos, ventanas, trasdosados, rozas...etc.).
- Presencia de instalaciones (tuberías, interruptores, cajas de registro...etc.) que pueden actuar como puentes acústicos, transmitiendo el sonido entre las hojas que componen los elementos de separación.

Para evaluar el aislamiento acústico de particiones en la edificación existen distintos métodos, uno de los cuales está recogido en la norma UNE EN 12354: 2000 Estimación de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus ele-

mentos. El procedimiento recogido esta norma consiste en evaluar la cuantía de las transmisiones indirectas, para determinar cuál es el aislamiento acústico a ruido aéreo medido in situ. Según este método, el aislamiento acústico varía según el volumen del recinto receptor, el tipo de elementos constructivos que conforman el recinto y el tipo de encuentro entre cada uno de los elementos de separación.

Sin embargo, la influencia de los defectos de ejecución o de los puentes acústicos en el aislamiento es muy difícil de evaluar. Cuando un elemento constructivo se ensaya en un laboratorio de acústica, no alberga instalaciones, ni presenta rozas. Por lo que el dato que nos proporciona un ensayo en cámara, siempre va a ser mayor que el aislamiento obtenido en la edificación. Simplemente, se puede decir que tan sólo una buena ejecución, que no deteriore los elementos constructivos o de lugar a puentes acústicos, puede garantizar un buen aislamiento acústico.

Cuando la ejecución de las soluciones es la correcta, la pérdida de aislamiento acústico en la edificación según la UNE EN 12354-1 varía en función de los siguientes factores:

- a) El tipo de elemento constructivo, de su masa por unidad de superficie y de su índice de reducción acústica.
- b) El tipo de elementos de flanco, de su masa, de su índice de reducción acústica medido en laboratorio y de sus dimensiones.
- c) Forma de la unión. Si es en cruz o en T.
- d) Tipo de unión. Cada familia de elementos constructivos lleva asociado un sistema constructivo y una forma de transmitir las vibraciones:
 - Para los elementos de fábrica, la transmisión de vibraciones de un elemento a otro depende de si están unidos rígidamente o de si en la unión hay un elemento flexible interpuesto que minimice las transmisiones.
 - Para las particiones de yeso laminado ancladas a un entramado portante, la transmisión de vibraciones varía en función del tipo de elemento al que se unen, si es de fábrica o si se unen a otro elemento de yeso laminado.

3. Normativa actual sobre aislamiento acústico

La normativa actual, la Norma Básica de la Edificación NBE-CA-88 sobre condiciones acústicas en los edificios establece los valores de aislamiento acústico mínimos que deben tener los elementos constructivos: Particiones, forjados y fachadas.

Estos valores de aislamiento exigidos están expresados por el índice global de reducción acústica ponderado, en dBA, $R_{A,T}$ para ruido aéreo y el nivel de ruido de impactos normalizado $L_{NA,T}$ para ruido de impactos.

Ambos índices, R_A y L_{NA} son índices obtenidos en laboratorio. Un determinado elemento constructivo cumple las exigencias de la norma, si su aislamiento acústico medido en laboratorio es superior al exigido.

Cuando se aplica la NBE-CA-88 en un proyecto de arquitectura, las transmisiones indirectas no se tienen en cuenta, lo que se traduce en una pérdida de aislamiento en la obra acabada y en una pérdida de confort en la edificación. El valor del aislamiento que se obtiene in situ no es comparable con el valor de la exigencia y resulta siempre menor.

Respecto a las transmisiones indirectas, en la NBE-CA-88 se establecen unos valores orientativos de la cuantía de las transmisiones indirectas, que son:

- a) 5 dB, en construcciones homogéneas, es decir, cuando el elemento de separación y los adyacentes son de la misma masa.
- b) Superiores a 5 dB, en construcciones no homogéneas, es decir, cuando el elemento de separación tiene una masa sensiblemente superior a la de los adyacentes.
- c) Son despreciables ante la magnitud de la transmisión directa, en construcciones no homogéneas, cuando el elemento de separación es ligero en comparación con los adyacentes.

En edificación, no puede afirmarse que los elementos de flanco tienen la misma masa, pues los forjados se conectan a tabiques, que son mucho más ligeros. Como se demuestra en esta comunicación, las pérdidas de aislamiento acústico son generalmente mayores de 5 dB en la edificación.

El documento básico DB-HR Protección frente al ruido dentro del nuevo Código Técnico de la Edificación, CTE, sustituirá a la norma básica NBE-CA-88. En lo que se refiere al aislamiento acústico introduce una serie de cambios significativos con respecto a la actual norma básica. No sólo aumentan los valores de aislamiento acústico exigidos, sino que además están definidos en términos de aislamiento entre recintos.

En el caso de ruido aéreo, el índice de aislamiento acústico exigido es la diferencia de niveles estandarizada ponderada A, $D_{nT,A}$, que evalúa el aislamiento a ruido aéreo entre recintos y no sólo el aislamiento de un elemento constructivo. Este índice se puede obtener en un ensayo in situ e incluye las pérdidas por transmisiones indirectas.

En el caso de aislamiento a ruido de impactos, el índice utilizado es el nivel global de presión de ruido impactos estandarizado, $L'_{nT,w}$, que al igual que la diferencia de niveles, evalúa el aislamiento a ruido de impactos entre recintos y no solamente el del forjado. También se puede obtener en una medición in situ e incluye las pérdidas por transmisiones indirectas.

Este cambio de filosofía, hace necesario el estudio en el comportamiento de los elementos constructivos en la edificación española, saber cómo varía su aislamiento según las características constructivas y geométricas de los recintos, así como determinar cuál es la pérdida de aislamiento atribuible a las transmisiones indirectas y cómo puede evitarse.

4. Elementos ensayados

Esta comunicación es parte de un trabajo más exhaustivo, que pretende estudiar las prestaciones acústicas de los elementos constructivos habituales en la edificación, tanto en obra como en laboratorio. Se ha tomado como base parte del trabajo desarrollado por el grupo de investigación prenormativa GI-HR-1 Acústica en la edificación, formado por el Instituto Eduardo Torroja, el Ministerio de Vivienda, el Instituto de Acústica y AECOR, Asociación Española contra la Contaminación por el Ruido. En este trabajo simplemente se establece una primera cuantificación de la pérdida de aislamiento en la edificación, mediante la comparación entre los valores de aislamiento acústico a ruido aéreo in situ y los valores obtenidos en laboratorio para los mismos elementos.

Los valores de aislamiento corresponden a elementos de separación entre viviendas. Se ha estudiado el comportamiento acústico de las siguientes tipologías (figura 02):

- a) Elementos de fábrica:
 - a.1 Pared formada por dos hojas de ladrillo hueco doble de 7 cm de espesor, enlucido por ambos lados, con cámara de 3 cm rellena de lana mineral de densidad alrededor a 22 kg/m^3 .

- a.2 Pared formada por dos hojas de ladrillo hueco doble de 7 cm de espesor, enlucido por ambos lados, cámara de 3 cm rellena de panel multicapa, compuesto por dos capas de geotextil de fibra de vidrio, entre las cuales hay una capa elastomérica con filler de barita.

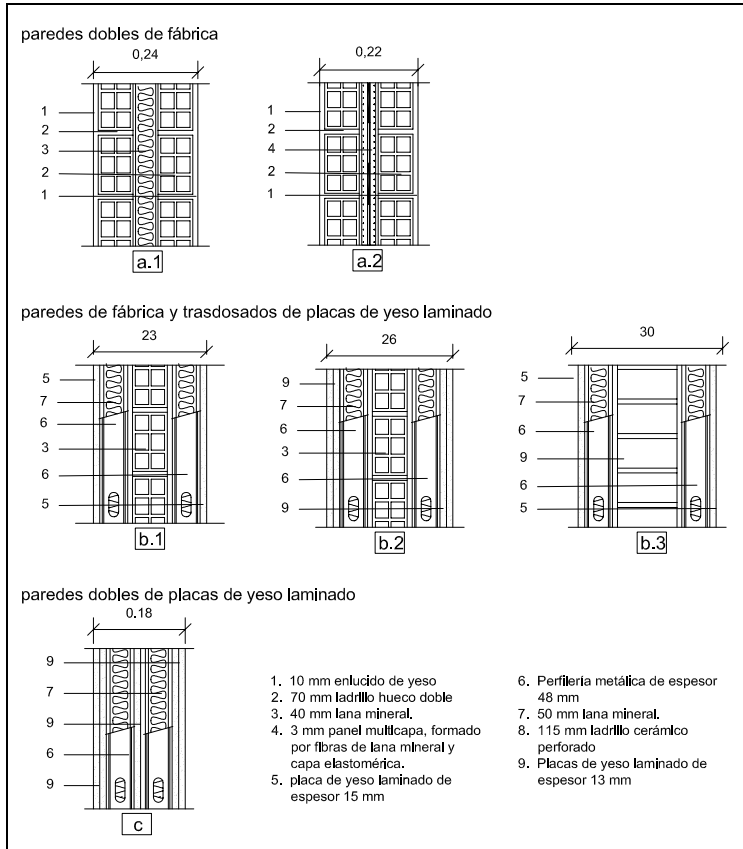


Figura 2. Elementos ensayados

- b) Paredes de fábrica con trasdosados de placas de yeso laminado por ambos lados
Los trasdosados están formados por una placa de 15 mm o dos placas de 13 mm de yeso laminado, anclada a una perfilera autoportante de acero de 48 mm de espesor. La cámara está rellena de unos paneles de lana de vidrio de 22 kg/m^3 de densidad. Las soluciones ensayadas han sido:
- b.1 70 mm de ladrillo hueco doble y trasdosado por ambas caras con una placa de yeso laminado de 15 mm de espesor.
- b.2 70 mm de ladrillo hueco doble y trasdosado por cada cara con 2 placas de yeso laminado de 13 mm de espesor cada una.
- b.3 $\frac{1}{2}$ pie ladrillo perforado y trasdosado por ambas caras con una placa de yeso laminado de 15 mm de espesor.

- c) Pared doble formada por dos placas de yeso laminado de 13 mm de espesor cada una, ancladas a una perfilera doble de 48 mm de espesor. Las cámaras están rellenas con paneles de lana mineral de espesor 50 mm y densidad aproximada de 25 kg/m³.

Todos los ensayos han tenido lugar recintos de viviendas, con unas superficies comprendidas entre 8 y 22 m². En cuanto a los elementos de flanco, en todos los casos correspondían con elementos habituales de la edificación.

La tabiquería interior era indistintamente de fábrica o de placas de yeso laminado. La tabiquería de fábrica estaba formada por ladrillo hueco doble de espesor 70mm, enlucido 10 mm por ambas caras, con una masa por unidad de superficie aproximada de 95 kg/m². La tabiquería de placas de yeso laminado estaba formada por dos placas de 15 mm ancladas a una perfilera autoportante de 48 mm.

Los elementos de separación horizontal estaban formados por un forjado unidireccional, con cantos que oscilaban entre 30 y 35 cm, con masas por unidad de superficie que oscilaban entre los 300 y los 450 kg/m².

En todos los casos, se montó un suelo flotante sobre el forjado, que contaba de una capa de hormigón de 50 a 70 mm de espesor sobre una capa aislante a ruido de impactos, que consistía en 5 mm de polietileno reticulado o 20 mm de lana mineral.

Las fachadas estaban formadas por dos hojas; la hoja exterior era un ladrillo perforado cara vista, enfoscado al interior y la hoja interior era indistintamente una hoja de ladrillo hueco sencillo guarnecido y enlucido por la cara interior o una placa de yeso laminado de 15 mm de espesor, anclada a una perfilera autoportante de 48 mm de espesor. En ambos casos la cámara de 6 cm estaba rellena de lana mineral.

5. Resultados obtenidos.

Los índices comparados son el índice de reducción acústica aparente R', obtenido mediante ensayos de aislamiento acústico en viviendas y R, el índice de reducción acústica, que se ha estimado a partir de mediciones en laboratorio para particiones análogas a las ensayadas in situ.

En la tabla 01 se muestran la media de los valores obtenidos in situ, y las diferencias entre R' y R.

	1.a		1.b		2.a		2.b		2.c		3	
	R'	R'-R	R'	R'-R	R'	R'-R	R'	R'-R	R'	R'-R	R'	R'-R
125	33,9	9,23	38,3	5,23	40,7	0,4	45,7	-4,6	43,4	6,2	31,8	6,37
250	38,6	1,96	39,9	4,55	45,2	14,5	53,5	6,26	51,6	21,2	48,3	8,28
500	39,7	4,15	42,8	6,16	53,3	28	59,3	21,9	56,3	30,9	56,2	9,82
1000	47,1	5,98	48,7	4,51	56,5	33,5	63,3	26,7	60,4	28,3	66	7,19
2000	54,9	12,8	48,7	10,2	57,2	36,1	61,6	31,6	58,0	33,8	63,8	12,6
4000	60,7	12,9	56,6	8,88	61,9	30,8	65,4	27,3	64,4	30,4	64,5	6,85
	R'_A	R	R'_A	R	R'_A	R	R'_A	R	R'_A	R	R'_A	R
	43,6	48,5	47,2	53	56,1	64	57,7	64	52,3	62,3	54	62

Tabla 1. Valores de R' medios obtenidos en los ensayos y diferencia entre R y R' para los elementos ensayados.

5.1 Elementos de fábrica:

Para los elementos a.1 y a.2, la diferencia entre el índice de reducción acústica ponderado A, R_A , y el índice de reducción acústica aparente, $R'_{A'}$, es 5 y 6 dBA respectivamente. La figura 03 recoge los índices de reducción acústica R de las soluciones a.1 y a.2 y los índices aparentes, R' de los ensayos realizados in situ para los mismos elementos. Se observa que las diferencias mayores se encuentran en las altas frecuencia, en las bandas de 2000 y 4000 Hz.

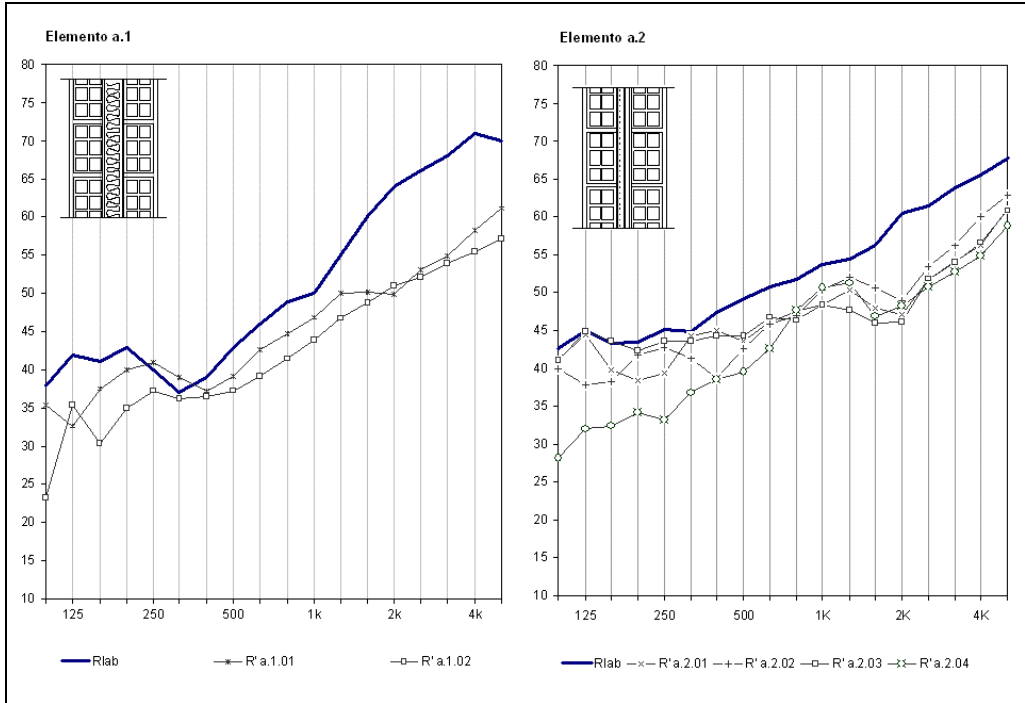


Figura 3. Diferencias entre R' y R para los elementos a.1 y a.2 respectivamente.

5.2. Elementos de fábrica trasdosados con placas de yeso laminado

Para los elementos de separación 2.a y 2.b, la diferencia entre el valor del índice de reducción acústica aparente, $R'_{A'}$, es decir, el obtenido in situ, y el índice de reducción acústica R_A estimado, oscila entre 6,5 y 8 dBA.

Para el elemento de separación 2.c, formado por medio pie de ladrillo perforado trasdosado por ambas caras con placas de yeso laminado, la pérdida de aislamiento acústico llega a los 11 dBA.

La figura 04, muestra los índices de reducción acústica aparente, R' , obtenidos mediante diferentes mediciones in situ. En estos casos, la mayor diferencia se encuentra en las altas frecuencias, de 2000 a 4000 Hz.

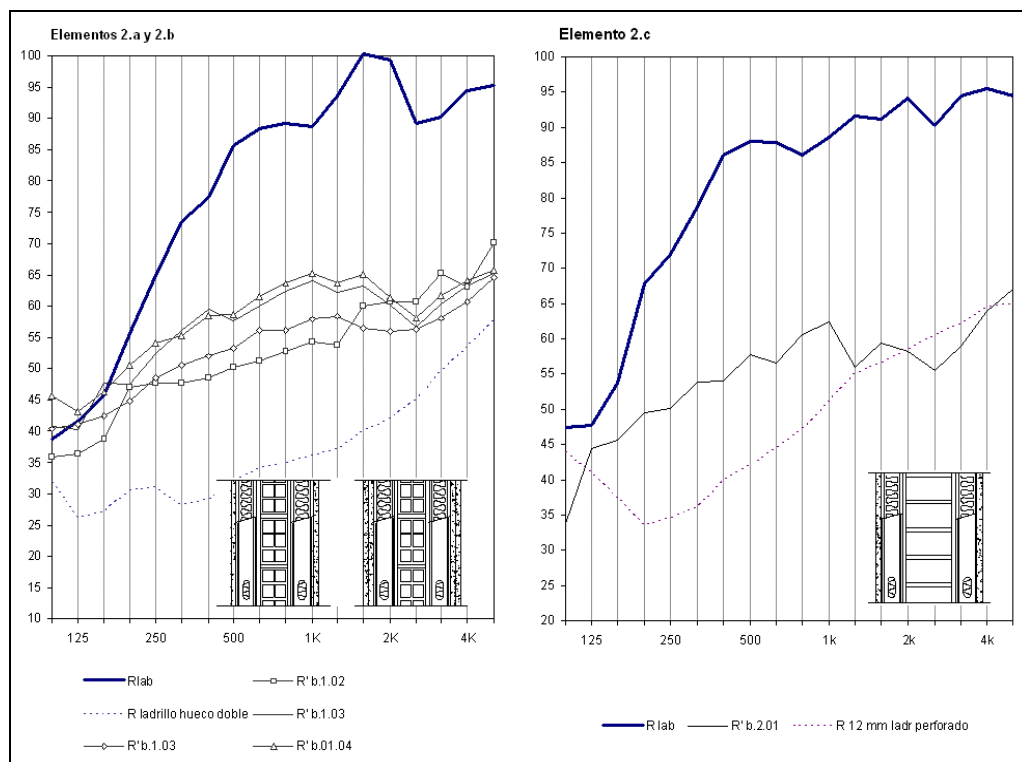


Figura 4. Diferencias entre R' y R para los elementos b.1, b.2 y b.3.

5.3. Elementos de placas de yeso laminado ancladas a una perfilaría autoportante

En el caso de los elementos de separación formados por placas de yeso laminado, la diferencia entre el aislamiento obtenido in situ y el aislamiento obtenido en laboratorio asciende a 8 dBA, y como en los casos anteriores, en las frecuencias de 2000 Hz se registran las mayores pérdidas de aislamiento acústico. (Figura 05)

En este tipo de elementos se obtuvieron resultados que dependían en gran medida de la ejecución y de los elementos constructivos de flanco. En la figura 05, todos los recintos tenían un falso techo de placas de yeso laminado, descolgado 10 cm respecto del forjado. En la cámara se introdujo 50 mm de lana mineral. El efecto del techo en el aislamiento acústico entre recintos colindantes verticalmente es el de minimizar la transmisión F_f de techo a techo, (véase figura 01) y las transmisiones D_f y F_d , desde el forjado al elemento de separación y viceversa.

A modo de ejemplo, la figura 05 (derecha) contiene las curvas de aislamiento acústico a ruido aéreo de las particiones tipo c ensayadas entre los recintos, cuando no tenían techo de placas de yeso laminado y cuando lo tenían. En ellas se observa una diferencia de 2,5 en el caso c.01 y 5 dB en el caso c.05.

Uno de los errores frecuentes en los proyectos es el de considerar el aislamiento acústico como una superposición de productos. Con este ejemplo, se demuestra que para conseguir una solución de aislamiento acústico, debe tenerse en cuenta el conjunto de todos los elementos que conforman un recinto: Paredes y suelos.

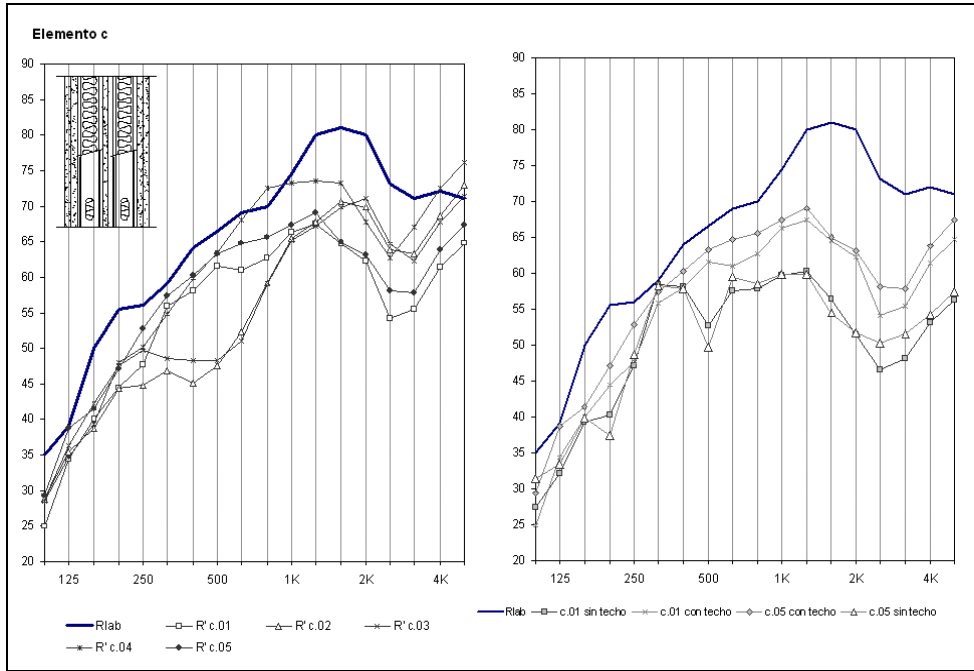


Figura 5. (Izquierda) Diferencia entre R' y R para el elemento c. (Derecha) Caso c, aislamiento acústico de recintos, con techo y sin techo suspendido.

6. Conclusiones

El aislamiento a ruido aéreo de particiones verticales obtenido in situ es muy diferente del aislamiento a ruido aéreo obtenido en laboratorio para las mismas particiones.

Si consideramos los edificios de viviendas ensayados, como edificios representativos de la edificación española, tras esta experiencia puede decirse que las diferencias entre el índice de reducción acústica ponderado A, R_A y el índice de reducción acústica aparente, ponderado A, $R'_{A,1}$, varían de 5 a 11 dB, con una media de 7 dBA. Esta diferencia aumenta en las frecuencias de 1000 y 2000Hz.

Agrupando por tipo de elemento, se observa que las diferencias entre el aislamiento acústico obtenido in situ y el estimado en laboratorio son:

- a) Entre 5 y 6 dBA en el caso de elementos formados por dos hojas de separación vertical de fábrica.
- b) De 6,5 a 11 dBA en el caso de elementos de separación vertical de fábrica trasdosados por ambos lados con placas de yeso laminado.
- c) 8 dBA en el caso de tabiques dobles de yeso laminado.

Esta pérdida de aislamiento acústico en la edificación es debida a:

- a) Las transmisiones indirectas, que se producen cuando los elementos de separación en presencia del campo acústico vibran y transmiten sus vibraciones al resto de elementos constructivos que están en contacto con ellos.

- b) Posibles defectos en la ejecución o la presencia de instalaciones que den lugar a puentes acústicos o debilitar el aislamiento del elemento.

Cuando se proyecta una solución de aislamiento entre dos viviendas, debe tenerse en cuenta esta pérdida de aislamiento acústico y elegir los elementos constructivos de tal forma que se compensen las transmisiones por flancos, especialmente cuando el nuevo reglamento del CTE entre en vigor.

Bibliografía

- GI-HR-1 Acústica en la edificación. Resumen y conclusiones de los ensayos realizados en el proyecto prenormativo del CTE-HR. Protección frente al ruido. Diciembre de 2003.
- I Proyecto Código Técnico de la Edificación. Documento de Aplicación del Código. HR Protección contra el ruido.
- INSTITUTO DE ACÚSTICA, Programa IAPAI, Herramienta de predicción de aislamientos acústicos en edificios a partir de los elementos constituyentes.
- Norma Básica de la Edificación NBE-CA-88 sobre condiciones acústicas en los edificios.
- Tenorio Ríos, José Antonio, Carrascal García, M^a Teresa, Principios de la protección frente al ruido en el Código Técnico de la Edificación, Seminario S15: Habitabilidad en los edificios, Salubridad y acústica, dentro del XVI estudios mayores para la construcción: Nuevas tendencias de la Construcción, El enfoque por objetivos y prestaciones, Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja.
- UNE-EN-ISO: 12354-1: 2000. Estimación de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos, Parte 1: Aislamiento del ruido aéreo entre recintos.
- UNE-EN-ISO: 140-1: 1997, Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción, Parte 1: Requisitos de las instalaciones en laboratorio sin transmisiones indirectas.
- UNE-EN-ISO: 717-1: 1996. Evaluación del aislamiento acústico de los edificios y de los elementos de construcción, Parte 1: Aislamiento a ruido aéreo.