

*Detection of weak points
of sound insulation in
constructed buildings*

Detección de puntos débiles de aislamiento acústico en edificación ya construida



Autores

- DEL REY, R.** Universitat Politècnica de València,
roderey@doctor.upv.es
Valencia, España
- ALBA, J.** Universitat Politècnica de València,
jesalba@fis.upv.es
Valencia, España
- RAMIS, J.** Universidad de Alicante,
jramis@ua.es
Alicante, España
- BERTÓ, L.** Universitat Politècnica de València,
jesalba@fis.upv.es
Valencia, España

Fecha de recepción 21/03/2011

Fecha de aceptación 16/04/2012

Resumen

El aislamiento acústico es un problema de difícil solución una vez que la obra ya está acabada. En el caso de que la obra esté finalizada y no se cumplan con los valores de calidad acústicos que nos marca la legislación, deben detectarse los puntos débiles que provocan esa deficiencia de aislamiento acústico. La publicación de catálogos de soluciones constructivas hace que el problema no sea el material elegido, sino cómo se han unido estos materiales entre sí. Por tanto, debe analizarse este problema y buscar

mecanismos con los que determinar los puntos débiles.

En este trabajo se propone un método para la determinación de caminos débiles de transmisión entre un recinto emisor y un recinto receptor. El método obtiene el índice de reducción vibracional, como indicador de estos caminos débiles. Se muestran en el trabajo varios casos estudiados en el propio edificio, y cómo valorar la transmisión que debilita el aislamiento global de todo el conjunto constructivo.

Palabras clave: Aislamiento acústico, flancos laterales, medición.

Abstract

A poor sound insulation of building elements that constitute a building has a difficult solution when the building is finished. If we have a finished building in which not reached the minimum values of sound quality that marks the relevant legislation, we must be able to detect weaknesses that cause gaps in the sound insulation. The publication of catalogs of constructive solutions makes the problem not the material of choice, but how these materials have been joined together. Therefore,

this problem must be analyzed and we should seek mechanisms that determine the weak points.

This paper proposes a method to detect weak transmission paths between two sites. This method obtains the vibration reduction index as indicator of weak transmission paths. In this work we can see several case studies in a building on how to value what is the transmission path that weakens the global sound insulation of the whole construction

Keywords: *Sound insulation, lateral transmissions, measurement.*

1. Introducción

El aislamiento acústico es uno de los problemas que en la actualidad se plantea en la edificación de calidad. Las fuentes de ruido son cada vez más numerosas y emiten niveles más altos. Por ejemplo, el tráfico se ha incrementado notablemente en los últimos años aumentando el nivel de ruido en fachada de las distintas edificaciones, los niveles dentro de las viviendas han aumentado por el incremento del número de fuentes y otros motivos, tal y como se relata en estudios de la Organización Mundial de la Salud [1].

Al mismo tiempo se han ido incrementando las exigencias de confort del ciudadano, como se justifica con diferentes trabajos de investigación donde se observa la gran dispersión en los resultados de las mismas soluciones constructivas [2][3]. Esto ha llevado en parte a un gran desarrollo legislativo en los últimos años, donde a nivel internacional diferentes países han publicado distintas normativas para disminuir el ruido en la edificación [4][5]. Toda esta normativa busca disminuir el nivel de ruido en diferentes hábitats, como los de vivienda y trabajo, para reducir el efecto del ruido en la salud de las personas.

En este desarrollo legislativo se han plasmado varias cuestiones. Una de las cuestiones ha sido la necesidad de tener datos concretos y conocimiento del comportamiento acústico de todos los materiales empleados en edificación cuyo fin último sea la reducción del ruido. Han aparecido catálogos oficiales publicados con materiales y elementos constructivos [4] [5] y trabajos de investigación buscando la mejora de las soluciones constructivas [6][7].

Otra de las cuestiones que también se ha impuesto es la importancia de la cuantificación y/o estimación de las transmisiones laterales, causa por la cual se producen esas grandes dispersiones. La nueva legislación implica no solo diseñar y validar el muro o la pared de separación en un laboratorio o en una cámara de transmisión sino que se debe tener en cuenta todos los elementos o flancos instalados finalmente en la edificación, y valorar la transmisión del ruido por los diferentes caminos que se crean en la solución final decidida.

Para poder estimar el efecto de las transmisiones laterales se pueden utilizar las normas UNE-EN 12354 [8] [9] donde se ofrecen diferentes métodos predictivos de soluciones de aislamiento completas, partiendo de los elementos que constituyen la solución y de las condiciones de unión entre éstos. Las condiciones de unión se modelan con un parámetro denominado índice de reducción vibracional, que está relacionado con

la transmisión de potencia vibratoria entre diferentes elementos estructurales, de forma normalizada. Este índice de reducción vibracional es uno de los parámetros más importantes, una vez elegidas las soluciones constructivas, para una correcta estimación del aislamiento acústico.

El índice de reducción vibracional se puede obtener en las UNE-EN 12354 [8][9] para ciertos casos muy concretos. Sin embargo, existen otros casos para los cuales no hay información al respecto. Para paliar este problema está apareciendo la familia de normas UNE EN ISO 10848 [10][11], que ofrece métodos de ensayo en laboratorio de este "índice de reducción vibracional". En este caso, el valor de ensayo sustituye a la predicción ofrecida por las normas anteriores para realizar los cálculos. Sin embargo, estas normas solo ofrecen la posibilidad de ensayo de ciertas soluciones constructivas, estando todavía por resolver, por ejemplo, las soluciones con entramados ligeros.

Actualmente no existe una norma reconocida para la medición del "índice de reducción vibracional" "in situ". Diferentes investigadores han llegado a procedimientos similares bastante parecidos a las líneas de actuación que se marcan en la UNE-EN ISO 10848-1:2007 [12][13][14]. Dado que el "índice de reducción vibracional" es crítico en el cálculo final, podría medirse este parámetro en obra para tener datos reales con configuraciones que luego podrían volver a repetirse.

En este trabajo se analiza ese protocolo de ensayo "in situ" del índice de reducción vibracional, y se valida "in situ" en edificio acabado, con el fin último de buscar la justificación a la gran dispersión observada en las mismas soluciones constructivas.

2. Índice de reducción vibracional

2.1 Definición de índice de reducción vibracional

El índice de reducción vibracional o índice de reducción de vibraciones, K_{ij} es una magnitud relacionada con la transmisión de potencia vibratoria entre diferentes elementos estructurales que confluyen en una unión, que se mide en decibelios.

El índice de reducción vibracional es un parámetro de gran importancia que indica si un camino de transmisión considerado plantea un problema de aislamiento acústico. Cuanto mayor sea este parámetro, mayor es el aislamiento acústico en ese camino. Si es cero, es muy probable que ese camino presente un debilitamiento acústico y haya que revisar la solución

adoptada. En la Figura 1 se presenta un esquema de diferentes caminos de transmisión extraídos de la UNE-EN 12354-1 [8]. En ese esquema, F indica flanco y D elemento separador. Se utiliza la mayúscula para el recinto emisor y la minúscula para el receptor.

Una de las expresiones a partir de la cual se puede obtener esta magnitud es la siguiente:

$$K_{ij} = \frac{D_{v,ij} + D_{v,ji}}{2} + 10 \log \frac{l_{ij}}{\sqrt{a_i a_j}} \text{ dB} \quad (1)$$

Donde:

$D_{v,j}$ es la diferencia del nivel de velocidad entre los elementos i y j, cuando el elemento i es excitado, en decibelios

$D_{v,i}$ es la diferencia del nivel de velocidad entre los elementos j e i, cuando el elemento j es excitado, en decibelios

l_{ij} es la longitud común de la unión entre los elementos i y j, en metros.

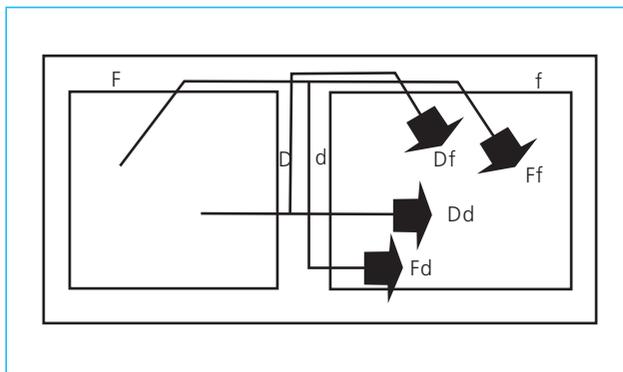
a_i es la longitud de absorción equivalente del elemento i, en metros.

a_j es la longitud de absorción equivalente del elemento j, en metros

La longitud de absorción equivalente se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$a = \frac{2.2 \cdot \pi^2 \cdot S}{c_0 \cdot T_s} \sqrt{\frac{f_{ref}}{f}} \quad (2)$$

Figura 1. Diferentes caminos de transmisión ij



Donde:

T_s es el tiempo de reverberación estructural del elemento i o j, en segundos, S es el área del elemento i o j en metros cuadrados, f es la frecuencia central de la banda, en hercios, f_{ref} es la frecuencia de referencia; 1000 Hz y c_0 es la velocidad del sonido en el aire, en metros por segundo.

2.2 Medición del índice de reducción vibracional

Como se observa en el punto anterior, el índice de reducción vibracional se determina mediante el ensayo de dos magnitudes diferentes: la diferencia de niveles de velocidad promediada y el tiempo de reverberación estructural de cada uno de los elementos que conforman la unión.

2.2.1 Medición de diferencia de velocidades

Es necesario conocer la diferencia del nivel de velocidad entre los elementos i y j, cuando el elemento i es excitado, en decibelios, $D_{v,ij}$ y la diferencia del nivel de velocidad entre los elementos j y i cuando el elemento j es excitado, en decibelios, $D_{v,ji}$, este se puede obtener a partir de los niveles de velocidad.

$$D_{v,ij} = L_{v,i} - L_{v,j} \quad (3)$$

En la UNE-EN 10848-1 [10] se describen dos formas de excitar los elementos para poder obtener la velocidad de excitación de éstos, excitación aérea o excitación estructural. En el procedimiento de ensayo detallado a continuación y utilizado para obtener todos los resultados que se muestran en este trabajo se ha escogido la excitación estructural, por ser la excitación aérea en los casos que es aplicable más lenta e ineficaz.

Como excitador se ha utilizado para superficies horizontales una máquina de impactos normalizada. Esta se dispone formando un ángulo de 45° con la normal de la superficie a medir. En superficies verticales se utiliza una caladora. De esta forma se asegura, en la medida de lo posible que la fuerza de excitación sea constante durante la realización de las medidas.

Para contrarrestar la posibilidad de que la fuerza de excitación no sea constante, sobre todo para superficies verticales en las que la caladora es sujeta por un operario que interviene en las mediciones, se realizan los promediados de las diferencias de los niveles de velocidad ($D_{v,ij}$ o $D_{v,ji}$) y no de los niveles de velocidad en cada elemento (L_i o L_j). Además para cada punto

de excitación se registran simultáneamente los niveles en el elemento excitado y en elemento inverso. En la Figura 2 se pueden observar imágenes de este procedimiento de medida.

Como transductores de registro de la vibración se utilizan acelerómetros de pulgada de Brüel&Kjaer, Type 4370, obteniendo la aceleración de vibración.

En la normativa UNE-EN 10848-1 [10] se detalla que en general es suficiente con tres posiciones de excitación y nueve posiciones de transductor, y tres posiciones de transductor asociados a cada posición de excitación. En el procedimiento seguido se han realizado cinco posiciones de excitación y tres posiciones de transductor asociadas a cada posición de excitación. Las posiciones entre transductor, excitador y límites de los elementos de ensayo seguidos en este procedimiento también han sido los que se detallan en la normativa UNE-EN 10848-1 [10]. Se han distribuido todos los puntos de medida de forma aleatoria y no simétrica y antes de cada medición debe comprobarse que se supera en 10 dB el nivel de fondo en cada banda de frecuencias.

2.2.2 Medición del tiempo de reverberación estructural

Los valores de las absorciones de longitud equivalentes, a_i y a_j , se determinan de acuerdo con la Ecuación (2) por lo tanto es necesario conocer los tiempos de reverberación estructural, T_{si} y T_{sj} . El tiempo de reverberación estructural se define como el tiempo que se

requiere para que la velocidad o nivel de aceleración en una estructura disminuya 60 dB después de que la fuente sonora estructural haya cesado. Se determina mediante excitaciones puntuales y mediciones puntuales de la velocidad o la aceleración. En el caso que nos ocupa, en diferentes posiciones de transductor.

Se permite según UNE-EN 10848-1 [10] la excitación mediante vibrador o martillo. El procedimiento seguido ha sido excitar con martillo. Se ha utilizado un martillo de Brüel&Kjaer, type 8208. Éste dispone de diferentes extremos, cada uno de una masa diferente, por lo que mediante este procedimiento asegura que queden excitadas todas las diferentes bandas de frecuencia, variando, cuando ha sido necesario, la masa del martillo.

Se han realizado, como mínimo, tres puntos de excitación en el elemento a estudio. Se han distribuido de forma aleatoria los impactos con martillo y los transductores, con el fin de obtener estadísticamente puntos de medición con la suficiente precisión para obtener a partir de éstos por promediado aritmético el tiempo de reverberación del elemento a estudio y en base a las condiciones descritas por la UNE-EN 10848-1 [10].

En todo momento debe cumplirse que el tiempo de respuesta del detector promediador era el suficiente para poder registrar la caída. En la Figura 3 se puede observar el detalle de alguna de las mediciones.

Figura 2. Detalle de mediciones en superficie horizontal (forjado) y vertical (medianera) de los niveles de velocidad



Figura 3. Medida del tiempo de reverberación estructural en una maqueta a escala de hormigón



2.3 Fórmulas empíricas para el índice de reducción vibracional

Otra vía posible para determinar el índice de reducción vibracional es a través de ecuaciones empíricas. Estas fórmulas pueden encontrarse en la UNE- EN 12354-1 [8], o en estudios específicos realizados por institutos o grupos de investigación para topologías de unión determinadas. Las ecuaciones empíricas que se dan para la estimación de K_{ij} se basan en el parámetro M :

$$M = \lg \frac{m'_{\perp i}}{m_i} \quad (4)$$

Donde

m_i es la densidad superficial (kg/m^2) del elemento i en la transmisión ij .

$m'_{\perp i}$ es la densidad superficial (kg/m^2) del otro elemento, perpendicular a i , y que forma la unión.

Además, en el caso de que existan elementos flexibles insertados, se introduce un parámetro Δ_1 :

$$\Delta_1 = 101g \frac{f}{f_1} \text{dB}; f > f_1 \quad (5)$$

Donde $f_1 = 125$ Hz si la relación entre el Módulo de Young (E_1 en N/m^2) y espesor (e_1 en m) del elemento flexible insertado es la siguiente: $E_1/e_1 \approx 100 \text{ N}/\text{m}^2$. En la Tabla 1 se resumen algunas expresiones empíricas de la norma UNE-EN 12354-1 [8].

Existen otras fórmulas empíricas obtenidas por laboratorios internacionales que ensayan según la UNE-EN 10848 [15] [16] [17].

3. Resultados

En este apartado se muestran algunos de los resultados de campaña de ensayos realizados para el estudio de transmisiones laterales. Se muestran resultados asociados a diferentes campañas de medición en obras a punto de entregarse.

3.1 Unión en cruz rígida

Se presentan algunos resultados de ensayos "in situ" de un edificio en construcción para una unión en cruz entre medianeras y forjados. La descripción de los elementos que forman la configuración "in situ" se detalla a continuación y en la Figura 4 se pueden observar fotografías de ensayo.

Las medianeras están compuestas por paredes dobles de ladrillo hueco doble del 7 (de pequeño formato) enlucido en la cara exterior con yeso (15 mm) con lana acústica en su interior. El forjado es de bovedilla de hormigón de 25 cm y $372 \text{ kg}/\text{m}^2$, con suelo flotante de poliuretano, $151 \text{ kg}/\text{m}^2$. Se considera para las comparaciones con las ecuaciones empíricas $m = 372 \text{ kg}/\text{m}^2$.

En la Figura 5 se ilustra cómo son los resultados de las mediciones de las diferencias de niveles de velocidad para los diferentes caminos de transmisión estudiados. En principio, a falta de otras correcciones según (1), a mayor diferencia de niveles de velocidad, mayor índice de reducción vibracional, y por tanto, mayor aislamiento acústico en el camino considerado. En la Figura 6 se ilustra un resultado de ensayo del tiempo de reverberación estructural sobre la pared de ladrillo.

Las masas por unidad de área (kg/m^2) para realizar la estimación según las expresiones empíricas han sido obtenidas a partir del catálogo de elementos constructivos del Código Técnico de la Edificación [5].

En la Figura 7 se comparan datos del índice de reducción vibracional medidos, determinados según la UNE-EN 12354-1 por dos hipótesis diferentes (con y sin tener en cuenta el suelo flotante) y fórmulas corregidas según el CSTB [15].

3.2 Unión en T rígida

Se presenta en la Figura 8 resultados de una unión en T formado por un elemento simple y un elemento doble.

Tabla 1. Algunas fórmulas empíricas del Índice de reducción vibracional de la UNE-EN 12354-1

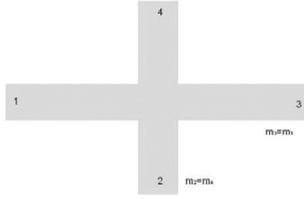
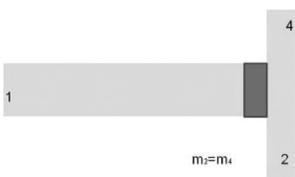
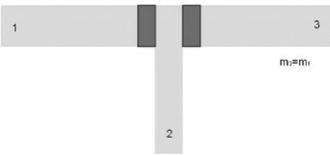
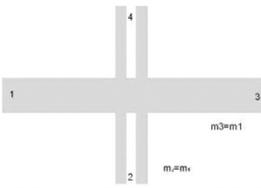
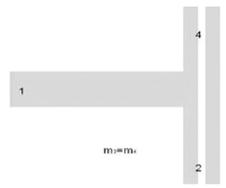
	<p>Unión rígida en cruz</p> $K_{13} = 8,7 + 17,1M + 5,7M^2 \text{ dB}; 0 \text{ dB/octava}$ $K_{12} = 8,7 + 5,7M^2 (= K_{23}) \text{ dB}; 0 \text{ dB/octava}$
	<p>Unión rígida en T</p> $K_{13} = 5,7 + 14,1M + 5,7M^2 \text{ dB}; 0 \text{ dB/octava}$ $K_{12} = 5,7 + 5,7M^2 (= K_{23}) \text{ dB}; 0 \text{ dB/octava}$
	<p>Unión flexible en T (1)</p> $K_{13} = 5,7 + 14,1M + 5,7M^2 + 2 \text{ dB}$ $K_{24} = 3,7 + 14,1M + 5,7M^2 \text{ dB}$ $0 \leq K_{24} \leq -4 \text{ dB}; 0 \text{ dB/octava}$
	<p>Unión flexible en T (2)</p> $K_{12} = 5,7 + 5,7M^2 + \text{ dB} (= K_{23})$
	<p>Unión en cruz de elementos pesados y livianos</p> $K_{13} = 10 + 20M - 3,3 \lg \frac{f}{f_k} \text{ dB}; \text{ min } 10 \text{ dB}$ $K_{24} = 3,0 - 14,1M + 5,7M^2 \text{ dB};$
	<p>Unión en cruz de elementos pesados y livianos</p> $K_{12} = 10 + 10 M + 3,3 \lg \frac{f}{f_k} \text{ dB} (= K_{23})$ $f_k = 500 \text{ Hz} \frac{m_2}{m_1} > 3; 0 \text{ dB/octava}$

Figura 4. Ilustración de ensayo de medida



Figura 5. Evolución de la diferencia de niveles de velocidad con la frecuencia, para los diferentes caminos estudiados de la conción en cruz rígida

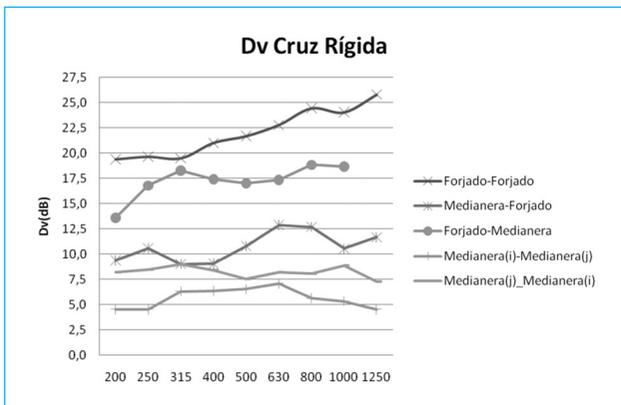


Figura 6. Tiempo de reverberación estructural en diferentes posiciones del transductor para una de las medianeras de la maqueta de hormigón

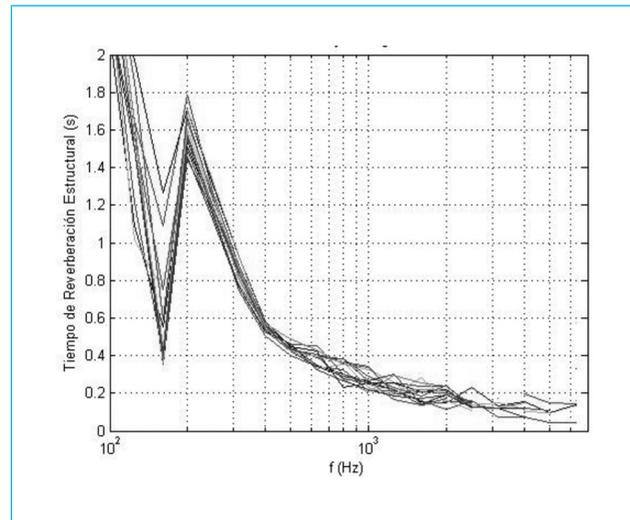
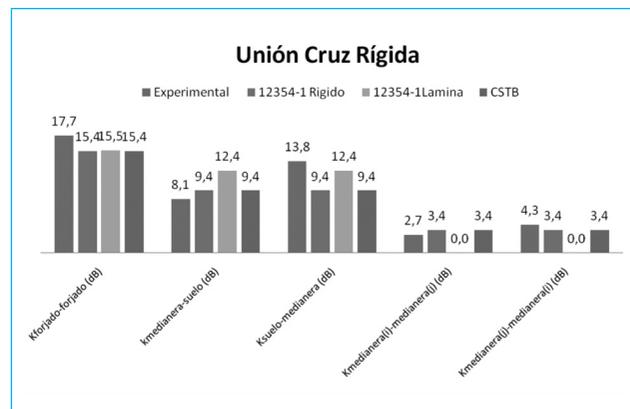
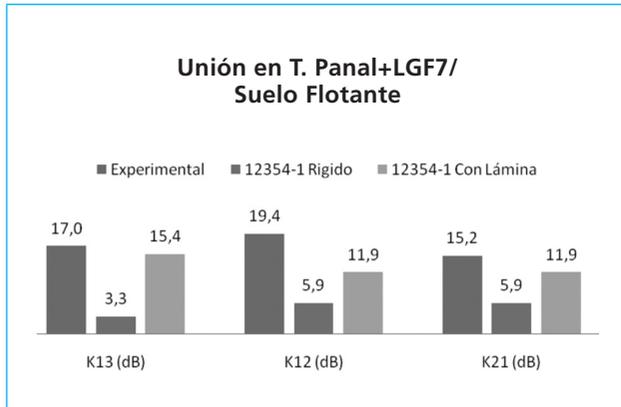


Figura 7. Comparación de los valores globales de los diferentes caminos de transmisión experimentales y empíricos



El simple es un forjado con suelo flotante y pavimento de 30 cm, la masa de carga del forjado base de 350 kg/m². El elemento doble es ladrillo panal enlucido por una de sus caras y ladrillo de gran formato del 7, de masa 230 kg/m². Como cuestión importante, ya que hay un suelo flotante instalado, se han usado para la predicción del índice de reducción vibracional dos hipótesis: considerar la unión sin elemento elástico y considerarla con elemento elástico. Si se sigue la UNE-EN 12354-1 la fórmula válida es la de unión rígida.

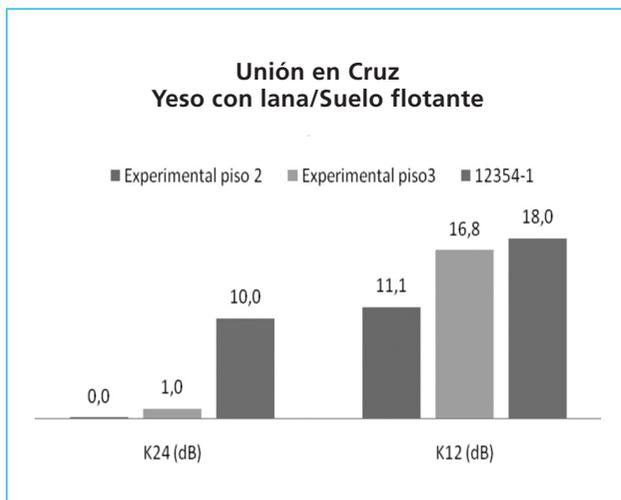
Figura 8. Valores globales experimentales y empíricos para el esquema de Unión T



3.3 Unión en cruz con elementos livianos

En este caso se muestra el resultado en la Figura 9 de una configuración en cruz con tabiquería seca de doble placa de yeso laminado (13+15) a cada lado y en un perfil de 63 mm, lana de roca en el interior, en vertical. En el momento de las medidas, esta tabiquería está colocada sobre la capa de mortero a falta de colocar el acabado. La parte horizontal es forjado de canto 30 cm con suelo flotante compuesto por una lámina de impacto de 5 mm de espesor y 5 cm de capa de mortero. Se muestran los resultados para el piso 2 y el piso 3 de una vivienda de tres plantas.

Figura 9. Valores globales experimentales y empíricos para el esquema de unión cruz con elementos livianos



A continuación se muestran también resultados en la Figura 10 para una configuración en cruz de doble placa de yeso laminado y un material de amortiguación de alta densidad, lana mineral dentro de la cavidad de 250 mm de espesor. Se muestran dos ensayos en dos plantas distintas, a y b.

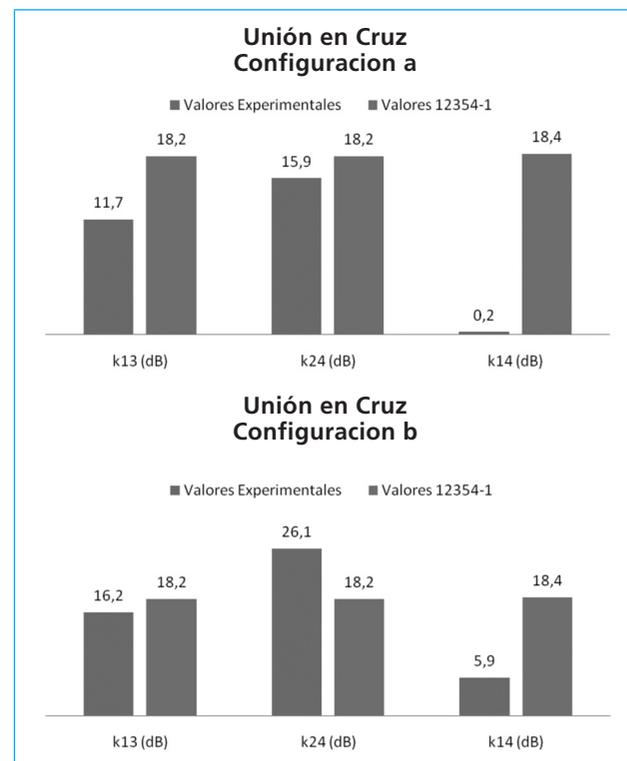
3.4 Unión en T con elementos livianos

Se presenta por último en la Figura 11 una unión continua rígida en T de elemento entramado autoportante simple con elemento homogéneo simple con revestimiento (techo). El elemento simple es un forjado (techo) con suelo flotante y pavimento de 30 cm y masa de 350 kg/m². El elemento autoportante es entramado simple, de masa 25 kg/m².

4. Discusión

Una vez mostrados algunos resultados de diferentes tipologías de unión, se pueden comentar ciertas cuestiones.

Figura 10. Valores globales experimentales y según ecuaciones empíricas para los diferentes caminos estudiados



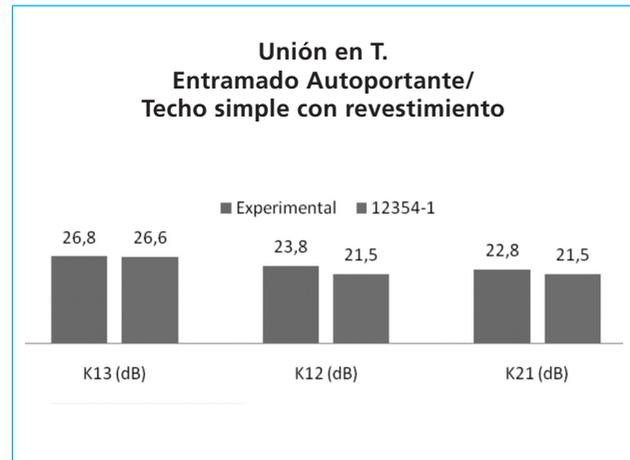
En primer lugar, si se analizan los resultados resumidos en la Figura 7, se puede observar que existe cierta coincidencia entre los valores del índice de reducción vibracional medido, y los obtenidos mediante el uso de fórmulas empíricas. Parece que en este tipo de uniones, las expresiones empíricas se ajustan relativamente bien y que podrían usarse para la obtención de este parámetro. Si se analiza el caso de unión en T rígida resumido en la Figura 8, aunque la norma UNE-EN 12354-1 indica que no se tiene en cuenta el suelo flotante en los cálculos, los ensayos evidencian que en caminos donde la transmisión pasa por esos suelos, se ajusta mejor la predicción si se usan las fórmulas con elementos elásticos insertados.

También hay mucha diferencia en el caso de tipologías con doble ladrillo (Figura 9). La UNE-EN 12354-1 nos indica que las masas se suman en una única masa total para hacer los cálculos y parece que eso no es adecuado para este tipo de tipologías. El CSTB [15] y otros laboratorios están estudiando fórmulas más precisas.

Respecto a las uniones con elementos livianos, si se analiza la Figura 10, puede verse que no se ajustan a los ensayos las fórmulas que nos ofrece la UNE-EN 12354-1 para unir elementos pesados y livianos. Sin embargo, en la Figura 11, donde todos los elementos son livianos, los ajustes son bastante buenos.

Por tanto, sí que se observa que un buen ajuste en algunos casos, pero no en otros. En la Figura 12 se añaden unas fotografías tomadas en obra, para justificar también algunas desviaciones. Se pueden ver

Figura 11. Valores globales experimentales y según ecuaciones empíricas para los diferentes caminos estudiados



cómo ciertos defectos de obra se ocultan sobre todo en caso de índices de reducción vibracional bajo.

En segundo lugar es conveniente tratar la utilidad de índice de reducción vibracional. Si se dispone de valores de ensayo, como en este caso, podemos observar qué camino es el más débil. En la Figura 7 se ve claramente cómo el camino "Medianera-Medianera" es el más débil, y por tanto el que tenemos que estudiar y mejorar.

Figura 12. Fotografías de detalle de algunas obras



En la Figura 8, los resultados medidos son elevados y con poca diferencia. Por tanto, si la elección de materiales ha sido adecuada, esta solución es robusta. En la Figura 9 se ve un debilitamiento claro en el camino 2-4, que debe ser estudiado. Ocurre lo mismo en la Figura 10, en el camino 1-4. Por último, la solución mostrada en la Figura 11 es robusta como se ve en sus valores.

5. Conclusiones

Como conclusión final, puede indicarse que para poder estudiar la influencia de las transmisiones laterales en el valor del aislamiento acústico global de todo el conjunto constructivo es conveniente estudiar con detenimiento el índice de reducción de vibraciones, K_{ij} . Si es posible, de forma experimental, y si ello no es factible, de forma empírica. En este trabajo se ha propuesto un procedimiento de ensayo para determinar este parámetro "in situ".

En los modelos que se describen en la norma UNE EN 12354-1 se obtiene un valor estimado mediante

diferentes expresiones empíricas. Se ha visto coincidencia en algunos casos, pero no en otros. Esto es debido a varias cuestiones: la aparición de defectos de obras ocultos en muchos casos que no modelables de forma sencilla, o que, las aproximaciones que se hacen en la UNE-EN 12354-1, al incluir suelos flotantes, revestimientos, elementos elásticos no ajustados exactamente a las expresiones empíricas estas fórmulas necesitan revisarse.

Por último destacar que la determinación del índice de reducción vibracional "in situ" podría ayudar a la búsqueda de puentes acústicos y que al mismo tiempo sería conveniente ampliar el número de expresiones empíricas para este parámetro, añadiendo más casos.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia. DG RESEARCH (BIA2007-C02-01 y BIA2007-C02-02) y por el Ministerio de Ciencia e Innovación (BIA2010-17723).

Referencias

1. Organización Mundial de la Salud (OMS). "Guidelines for Community Noise". <http://www.who.int/docstore/peh/noise/guidelines2.html>. Ginebra, 1999.
2. Meza, L. Recuero, M. Análisis y comparación de aislamiento acústico en viviendas y edificios de nueva construcción. *Revista de la Construcción*. Vol. 7, nº 1, 20-26 (2008).
3. Alba J., Ramis J., Escuder E., Bertó L. Airborne Sound Insulation of Hollow Brickwork. *Building Acoustics*. Vol. 33, nº 3, 231-267 (2007).
4. Minvu 2007. Listado Oficial de Soluciones Constructivas para Aislamiento Acústico. Obtenido el 4 de noviembre de 2010. http://www.minvu.cl/opensite_20070611111640.aspx#
5. 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
6. Meza, L. Recuero, M. Modelo simplificado de valoración de aislamiento acústico de viviendas frente a ruido exterior. *Revista de la Construcción*. Vol. 6, nº 2, 16-25 (2007)
7. Escuder E., Alba J., Ramis J. Aislamiento acústico a ruido aéreo en acristalamientos de vidrio. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*. Vol. 46, nº 4, 197-204 (2007)
8. UNE EN 12354-1:2000 Acústica de la edificación. Estimación de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos. Parte 1: Aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos.
9. UNE EN 12354-2:2001 Acústica de la edificación. Estimación de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos. Parte 2: Aislamiento acústico a ruido de impactos entre recintos
10. UNE-EN ISO 10848-1:2007. Acústica. Medida en laboratorio de la transmisión por flancos del ruido aéreo y del ruido de impacto entre recintos adyacentes. Parte 1: Documento marco. (ISO 10848-1:2006)
11. UNE-EN ISO 10848-2:2007. Acústica. Medida en laboratorio de la transmisión por flancos del ruido aéreo y del ruido de impacto entre recintos adyacentes. Parte 2: Aplicación a elementos ligeros cuando la unión tiene una influencia pequeña. (ISO 10848-2:2006)
12. Alba, J., Ramis, J., Escuder, E., del Rey, R. Effect of the estimation of the wall/floor junction type on the acoustic isolation. *Acoustics'08*. Paris. 29 Junio-4 Julio 2008.
13. Barbaresi Luca, Sempreni Giovanni. Laboratory measurements of the flanking transmission for brick wall junctions. *19th International Congress on acoustics. Ica 2007 Madrid*. 2007
14. Del Rey Tormos, Romina; Alba Fernández, Jesús; Ramis Soriano, Jaime; Escuder Eva. Nuevas fórmulas empíricas para la obtención del índice de reducción vibracional de uniones con suelos flotantes. *Congreso de Métodos Numéricos en Ingeniería*. Barcelona. 2009.
15. Centre Scientifique et Technique du Batiment. (CSTB). <http://www.cstb.fr>
16. Hopkins, C. Measurement of the Vibration Reduction Index, Kij on Free-Standing Masonry Wall Constructions. *Building Acoustics*, Vol. 6, Nº 3-4, 235-257 (1999)
17. Crispin C., Ingelaere B., Van Damme M., Wuyts, D. The Vibration Reduction Index Kij: Laboratory Measurements for Rigid Junctions and for Junctions With Flexible Interlayers. *Building Acoustics*, Vol. 13, nº 2, 99-111 (2006)