

Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería

www.elsevier.es/rimni



Propuesta de fórmula empírica para el factor de pérdidas

R. del Rey^a, J. Alba^a, J. Ramis^b, E. Julia^c y J. Segura^c

^a Instituto para la Gestión Integral de las Zonas Costeras (IGIC), Universitat Politècnica de València, Escuela Politécnica Superior de Gandía, C/ Paraninfo, n.º 1, 46730, Grao de Gandía, España

^b Universidad de Alicante, Escuela Politécnica Superior, Apdo. Correos 99, 03080, Alicante, España

^c Universitat Politècnica de València, Escuela Politécnica Superior de Alcoy, Alcoy, España

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Recibido el 16 de mayo de 2011

Aceptado el 5 de agosto de 2011

On-line el 13 de junio de 2012

Palabras clave:

Tiempo de reverberación estructural

Vibraciones

Aislamiento acústico

Factor de pérdidas

Modelo empírico

R E S U M E N

La evaluación del ruido transmitido por flancos en edificación es esencial para el estudio del aislamiento a ruido aéreo. Desde el punto de vista numérico, para la determinación de las transmisiones laterales es necesario conocer un parámetro conocido como índice de reducción vibracional. Para obtener este parámetro con el objetivo de conocer el comportamiento acústico de todo el conjunto constructivo, es necesario conocer la diferencia de niveles de velocidad y el tiempo de reverberación estructural. Indeterminaciones bien en la diferencia de niveles de velocidad, bien en el tiempo de reverberación estructural supondrán desviaciones en la determinación del aislamiento global de todo el conjunto constructivo. Existen normativas (UNE EN 12354-1:2000) que ofrecen expresiones empíricas para obtener el tiempo de reverberación estructural. Otras (UNE-EN ISO 10848-1:2007) ofrecen un procedimiento detallado para determinar experimentalmente la diferencia de niveles de velocidad y el tiempo de reverberación estructural, y así poder conocer las transmisiones por flancos. En este trabajo se compara el tiempo de reverberación estructural que se obtiene mediante las expresiones empíricas con el tiempo de reverberación estructural que se obtiene experimentalmente, aplicando el procedimiento de medida normalizado. Basándonos en estas comparaciones se reajustan las ecuaciones empíricas con un parámetro fundamental: el factor de pérdidas. Se observa que las estimaciones no reflejan la realidad si tenemos en cuenta el mismo factor de pérdidas para todos los distintos elementos estructurales, tal y como se permite en las predicciones de la UNE EN 12354.

© 2011 CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya). Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.

An empirical expression for loss factor

A B S T R A C T

Noise transmitted by the sidewalls of buildings is essential to study the overall airborne sound insulation. For the determination of the lateral transmissions we must determine a parameter known as vibration reduction index. To obtain the value of the vibration reduction index to know the acoustic behaviour of the whole constructive, it is necessary to know the velocity level difference and the structural reverberation time. The indeterminations in the velocity level difference, or in the structural reverberation time will add diversions in the global determination of the isolation of the whole constructive.

In the Standard UNE EN 12354-1:2000 there are empirical expressions for obtained the structural reverberation time. In the Standard UNE-EN ISO 10848-1:2007 there is a detailed procedure to determine experimentally the velocity level difference and the structural reverberation time, and to know the sidewalls transmissions.

In this work, it is compared the structural reverberation time obtained by empirical expression and the structural reverberation time obtained experimentally, applying the normalized procedure. Based on this comparison we readjusted the empirical equations with a fundamental parameter; the loss factor. It is observed that the estimates do not reflect reality if we consider the same loss factor for all the structural elements, as it is allowed in the predictions of UNE EN 12354.

© 2011 CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya). Published by Elsevier España, S.L. All rights reserved.

Keywords:

Structural reverberation time

Vibrations

Acoustic isolation

Loss factor

Empirical adjustment

1. Introducción

El aislamiento acústico es uno de los grandes 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 edificaciones. Además el nivel de ruido emitido por instalaciones dentro de las viviendas es mayor. El número de fuentes de ruido se ha incrementado: los electrodomésticos son más numerosos, ha aumentado la potencia acústica de los equipos de reproducción sonora, de la televisión, los sistemas de aire acondicionado, etc.

Al mismo tiempo se han ido incrementado las exigencias de confort del ciudadano, lo que se puede comprobar por el desarrollo legislativo que se ha llevado a cabo en los últimos años, publicándose, entre otros, el Documento Básico de Protección frente al ruido [1].

En busca del cumplimiento de esta legislación, otra cuestión que se ha impuesto es la importancia de la cuantificación de las transmisiones laterales. Las soluciones constructivas no implican solo diseñar y validar la pared de separación entre dos recintos, sino que se deben tener en cuenta todos los elementos o flancos instalados finalmente en la edificación, y valorar la transmisión del ruido por los diferentes caminos posibles, y no solamente por el camino directo. En este sentido, el ruido transmitido por flancos laterales en edificación es uno de los problemas importantes en su aislamiento acústico. Es por este motivo que es importante la correcta determinación de la transmisión por flancos con el fin de evitar introducir desviaciones en la determinación del aislamiento global. Algunos autores, ya conocían la importancia de las transmisiones laterales en el comportamiento acústico global del conjunto constructivo [2–4].

Para valorar estas transmisiones laterales existen distintas posibilidades. En primer lugar, debe conocerse el comportamiento acústico de todos los elementos que componen la solución completa, con este fin, existen ya trabajos que muestran los métodos numéricos como una herramienta útil para conocer el comportamiento acústico de materiales absorbentes [5].

Una familia importante de normas son las UNE-EN 12354, donde se ofrecen diferentes métodos predictivos de soluciones de aislamiento. Para ello, la norma ofrece valores orientativos de las transmisiones por flanco en ciertos casos muy concretos y con condiciones limitadas.

Otra familia de normas, la UNE EN ISO 10848, ofrece métodos de ensayo en laboratorio para determinar estas transmisiones por flanco. En este caso, el valor de ensayo sustituye a la predicción ofrecida por las normas anteriores.

Actualmente no existe una norma reconocida para la determinación de las transmisiones por flanco «in situ». Diferentes investigadores, bien de forma predictiva, bien a través de ensayos experimentales trabajan en la determinación de esta transmisión de energía [6–8].

Desde el punto de vista numérico, el método reconocido más habitual para valorar acústicamente la transmisión por flanco es el de valorar el índice de reducción vibracional. El índice de reducción vibracional, K_{ij} , se define como la magnitud relacionada con la transmisión de potencia vibratoria a través de una unión entre elementos estructurales, normalizada con el objeto de hacerla una magnitud invariante. Se determina normalizando la diferencia de niveles de velocidad promediados en todas direcciones sobre la unión, con la longitud de la unión y la longitud de absorción equivalente de ambos elementos según la siguiente ecuación:

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

Donde:

$D_{v,ij}$ es la diferencia del nivel de velocidad entre los elementos i y j , cuando el elemento i es excitado, en decibelios; $D_{v,ji}$ 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 y 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, que depende del tiempo de reverberación estructural:

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

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; 1.000 Hz y c_0 es la velocidad del sonido en el aire, en metros por segundo.

El tiempo de reverberación estructural se define como el tiempo que se requiere para que la velocidad o nivel de aceleración de una estructura disminuya 60 dB después de que la fuente sonora estructural haya cesado. Se determina mediante excitaciones puntuales y registros puntuales de la velocidad o la aceleración. Desviaciones en la determinación del tiempo de reverberación estructural afectarán al segundo término de la expresión (1) de forma logarítmica $(10 \log \sqrt{T_s})$, aportando así desviaciones en la determinación del aislamiento global.

El tiempo de reverberación estructural está relacionado con el factor de pérdidas total del elemento estructural, η_{total} . En el conjunto de normas UNE EN 12354 se dan expresiones y estimaciones para obtener el tiempo de reverberación estructural de un elemento. En general, este se puede obtener a partir de la siguiente expresión:

$$T_s = \frac{2,2}{f \eta_{total}} \quad (3)$$

Siendo f la frecuencia central de la banda considerada.

El factor de pérdidas total de un elemento estructural tiene en cuenta el factor de pérdidas interno del material constructivo, η_{int} , las pérdidas por radiación y las pérdidas debidas a las condiciones de conectividad del elemento.

En la misma normativa se describe que el factor de pérdidas interno para los elementos constructivos homogéneos habituales es aproximadamente 0.01, que las pérdidas por radiación generalmente se pueden despreciar y que el término asociado a las condiciones de fijación depende de cada caso en particular, siendo necesario conocer el índice de reducción vibracional para determinarlo con exactitud. Llegamos así a un camino de difícil salida si buscamos T_s a partir de la ecuación (3), ya que es necesario conocer el tiempo de reverberación estructural in situ para poder conocer el índice de reducción de vibraciones.

Para la situación en laboratorio, con condiciones normalizadas, se da una expresión para estimar el factor de pérdidas total, y a partir de este, según la expresión (3) el tiempo de reverberación estructural. La expresión es la que se describe a continuación, válida para elementos estructurales con una densidad superficial (m') por debajo de 800 kg/m².

$$\eta_{total,lab} \approx \eta_{int} + \frac{m'}{485 \sqrt{f}} \quad (4)$$

Esta expresión nace del estudio realizado en los años 70 de la influencia del factor de pérdidas en los laboratorios de ensayo de aislamiento acústico [9], y en la revisión posterior de la ISO 140 [10] realizada en los 80 para la búsqueda de la reducción del efecto del factor de pérdidas en los ensayos. Estas cuestiones, así como la relación entre el tiempo de reverberación estructural y el factor de pérdidas se resumen en [11].

En el presente trabajo, con el fin de determinar de forma más precisa el tiempo de reverberación estructural, sin la necesidad de realizar mediciones in situ, y poder así disminuir la incertidumbre asociada a la determinación del índice de reducción de vibraciones, se intenta particularizar la expresión (4) a cada realidad estructural. Para ello, siguiendo los protocolos descritos en [12] se obtienen resultados experimentales de distintos elementos constructivos en una maqueta a escala de hormigón. Estos resultados experimentales son comparados con los valores empíricos que aporta [13]. Ajustando la expresión (4) conseguimos acercar más los valores experimentales a los valores empíricos, obteniendo así un valor del factor de pérdidas interno y una dependencia con la masa por unidad de superficie particular para cada elemento constructivo.

Para asegurar que los resultados obtenidos del modelo a escala pueden ser aplicados a un modelo real, este ha sido diseñado considerando las pautas de escalado ya utilizadas por [14] para el estudio de frecuencias propias y reproducidas en [15] para su aplicación en acústica de la edificación. Estas pautas de escalado, en el estudio de la transmisión por flancos donde interesan principalmente las ondas de flexión en placas, se traducen en que la relación entre la longitud de onda de flexión y la longitud de onda sonora debe mantenerse constante. Esto es, la relación entre el módulo de Young y la densidad del material en el modelo a escala y en el modelo original debe permanecer constante.

2. Estimación del tiempo de reverberación estructural

2.1. Medición del tiempo de reverberación estructural

En [12] existe un procedimiento de medida del tiempo de reverberación estructural en condiciones de laboratorio. Este procedimiento ha sido reproducido en una maqueta a escala de hormigón. Como ya se ha adelantado, el tiempo de reverberación estructural se determina mediante excitaciones puntuales y mediciones puntuales de la velocidad o la aceleración en diferentes posiciones de transductor. Para la realización de este trabajo se ha excitado de forma impulsiva utilizando un martillo. Se han seleccionado, como mínimo tres puntos de excitación en el elemento a estudio, se han distribuido de forma aleatoria tanto impactos con martillo como transductores, cumpliendo siempre en la medida de lo posible las condiciones descritas en [12], con el fin de obtener estadísticamente puntos de medición con la suficiente precisión para obtener a partir de estos por promedio aritmético el tiempo de reverberación del elemento a estudio. Las condiciones descritas por [12] se describen a continuación: 0,5 m entre posiciones de transductor y límites de ensayo; 1,0 m entre puntos de excitación y las posiciones de transductor y 0,5 m entre cada posición de transductor. En la figura 1 se pueden observar detalles de algunas de las mediciones del tiempo de reverberación estructural de una medianera de la maqueta utilizada.

En la figura 2 se pueden observar las mediciones del tiempo de reverberación estructural en diferentes posiciones del transductor para una de las medianeras de la maqueta.



Figura 1. Detalle de la medición del tiempo de reverberación estructural en la maqueta de hormigón.

Las partículas de un paramento, en ausencia de excitación, poseen una vibración de fondo que origina un nivel de velocidad estacionario. Si en un instante determinado el paramento recibe una excitación de gran intensidad, como ha sido el caso de

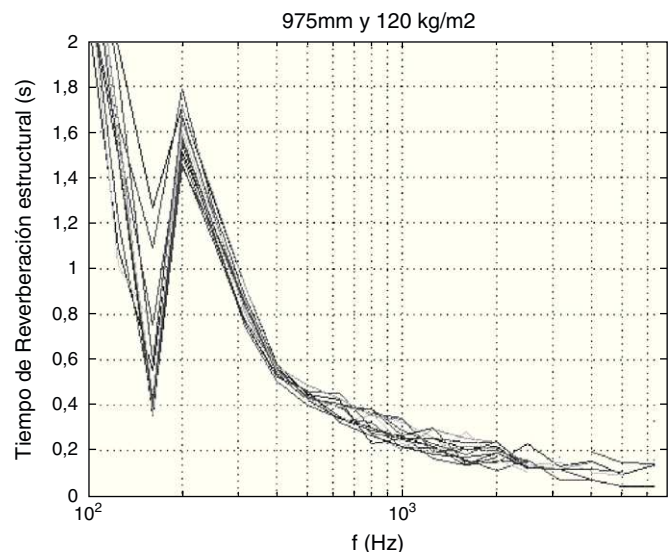


Figura 2. Tiempo de reverberación estructural en diferentes posiciones del transductor para una de las medianeras de la maqueta de hormigón.

la excitación de medianeras y suelos de la maqueta, el nivel de velocidad de dicho paramento asciende de forma brusca hasta un valor máximo, y seguidamente desciende de manera casi lineal hasta alcanzar una vez más el nivel de vibración de fondo. Este valor máximo de excitación se da en torno a la frecuencia crítica del material. Esta depende de parámetros elásticos del material (rigidez a flexión, módulo de Young, etc.) y de la masa por unidad de área. En el caso del hormigón que hemos utilizado para la realización de este trabajo, la frecuencia crítica se encuentra entre 200 Hz y 300 Hz.

2.2. Estimación empírica del tiempo de reverberación estructural

El factor de pérdidas interno es un parámetro crítico ya que pequeñas desviaciones sobre la determinación de este conducen a desviaciones importantes en el estudio de la transmisión acústica, y en consecuencia, del aislamiento global [16]. Con esta consideración se realizan los ajustes que se exponen a continuación a los valores experimentales, obteniendo en cada caso las desviaciones medias (dB) entre los valores empíricos y los valores experimentales. Para obtener las desviaciones medias se ha utilizado la misma función de error descrita en [5], aunque en este caso se aplica con otras variables. Para realizar los ajustes se ha utilizado un método iterativo de disminución de función de error cuadrática. El proceso de optimización se realiza utilizando la función `fminsearch.m` de Matlab®, y como valores iniciales se consideran los valores propuestos por la normativa [12].

- Ajuste 0: propuesta de la normativa [12], con el factor de pérdidas interno constante para todo elemento constructivo.

$$\eta_{total,lab} \approx 0,01 + \frac{m'}{485\sqrt{f}} \quad (5)$$

- Ajuste 1: se propone la siguiente modificación, particularizando el valor del factor de pérdidas interno para el material estudiado.

$$\eta_{total,lab} \approx A + \frac{m'}{485\sqrt{f}} \quad (6)$$

- Ajuste 2: se propone particularizar la dependencia con la frecuencia.

$$\eta_{total,lab} \approx A + \frac{B'}{\sqrt{f}} \quad (7)$$

Como se puede observar en el ajuste 0, en [12] se propone un factor de pérdidas interno para todo tipo de material con $m' < 800 \text{ kg/m}^2$ igual a 0,01. En el ajuste 1 se contempla la posibilidad de particularizar el valor del factor de pérdidas interno a cada material en concreto. En [17] se justifica la tendencia del factor de pérdidas con la frecuencia. En este trabajo se ha considerado mantener esta dependencia pero en base a unas constantes particulares para cada tipo de acoplamiento entre distintos paramentos. De esta manera se utiliza una variación de la expresión (4) que además permite reajustarse para masas diferentes de las usadas en los años 80 e incorporar también otras condiciones de contorno diferentes a las tenidas en cuenta originalmente, propias de laboratorios de ensayo.

3. Resultados

Se han estudiado los elementos de la maqueta a escala de hormigón, medianeras y forjados. Las dimensiones de la maqueta de hormigón son; 975 mm de longitud para las medianeras A, 675 mm de longitud para las medianeras B y 600 mm de longitud para el forjado. La masa por unidad de superficie es de 120 kg/m^2 para medianeras y 240 kg/m^2 para el forjado. En la figura 3 se puede observar una ilustración de la maqueta estudiada.

En las tablas desde 1 hasta 4 se pueden observar los resultados de los diferentes ajustes para cada elemento estudiado: medianera de 120 kg/m^2 y 975 mm de longitud (tabla 1), medianera de 120 kg/m^2 y 675 mm de longitud (tabla 2), forjado de 240 kg/m^2 y 600 mm de longitud (tablas 3 y 4).

En las figuras 4 y 5 se ilustra el ajuste 2 para los diferentes elementos estructurales estudiados.

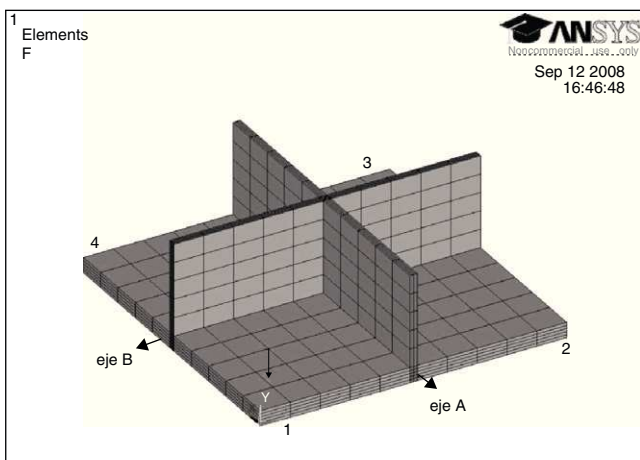


Figura 3. Ilustración de la maqueta estudiada.

Tabla 1

Resultados de los diferentes ajustes para la medianera de 120 kg/m^2 y 975 mm de longitud

Medianera a	A	B	Desviación Media (dB)
Ajuste 0	0,0100	0,2474	0,0335
Ajuste 1	0,0047	0,2474	0,0061
Ajuste 2	0,0098	0,0445	0,0037

Tabla 2

Resultados de los diferentes ajustes para la medianera de 120 kg/m^2 y 675 mm de longitud

Medianera b	A	B	Desviación media (dB)
Ajuste 0	0,0100	0,2474	0,0412
Ajuste 1	0,0010	0,2474	0,0212
Ajuste 2	0,0044	0,1522	0,0195

Tabla 3
Resultados de los diferentes ajustes para un forjado de 240 kg/m² y 600 mm de longitud

Forjado 1	A	B	Desviación media (dB)
Ajuste 0	0,0100	0,4948	0,0697
Ajuste 1	0,0030	0,4948	0,0615
Ajuste 2	0,0003	0,2250	0,0234

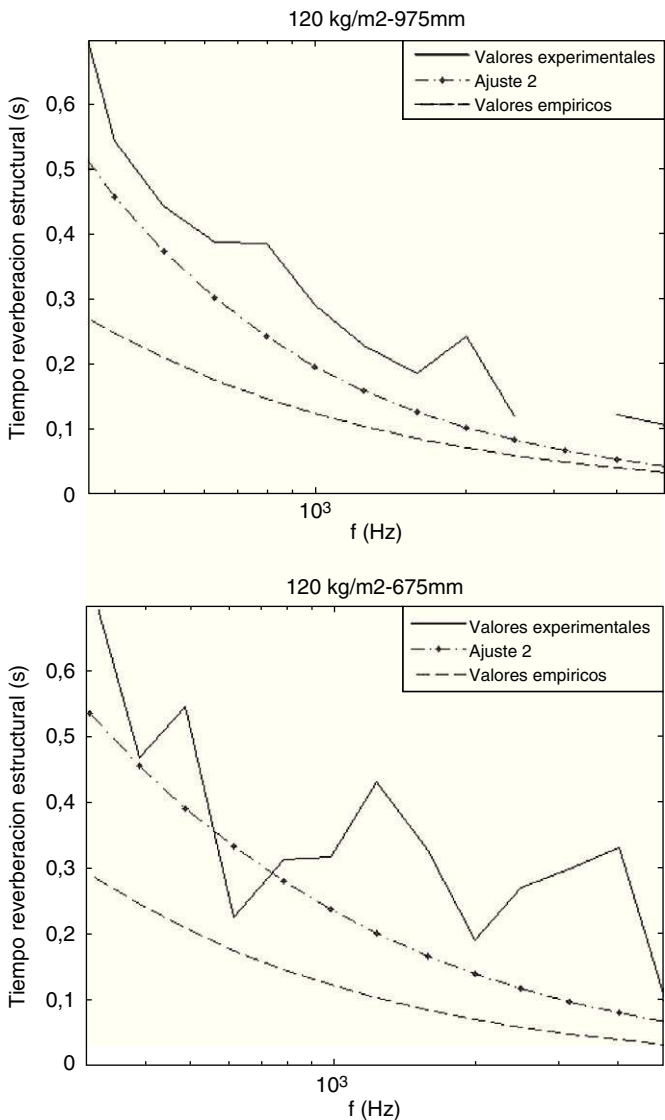


Figura 4. Ajuste 2 para las medianeras estudiadas.

4. Conclusiones

Los valores del tiempo de reverberación estructural experimentales realizados sobre una maqueta a escala de hormigón presentan una tendencia con la frecuencia típica de una excitación estructural. El máximo de la vibración coincide aproximadamente con la frecuencia crítica del material, y la cadencia frecuencial hacia la vibración estacionaria de fondo es prácticamente lineal. Además, analizando distintos puntos de excitación-registro, todos en base a [12] se han obtenido muestras estadísticamente aceptables como para poder dar un valor promedio. Este hecho pone de manifiesto que en condiciones de ensayo controladas, como en el caso que nos

Tabla 4
Resultados de los diferentes ajustes para un forjado de 240 kg/m² y 600 mm de longitud

Forjado 2	A	B	Desviación media (dB)
Ajuste 0	0,0100	0,4948	0,0681
Ajuste 1	0,0030	0,4948	0,0599
Ajuste 2	0,0003	0,2177	0,0231

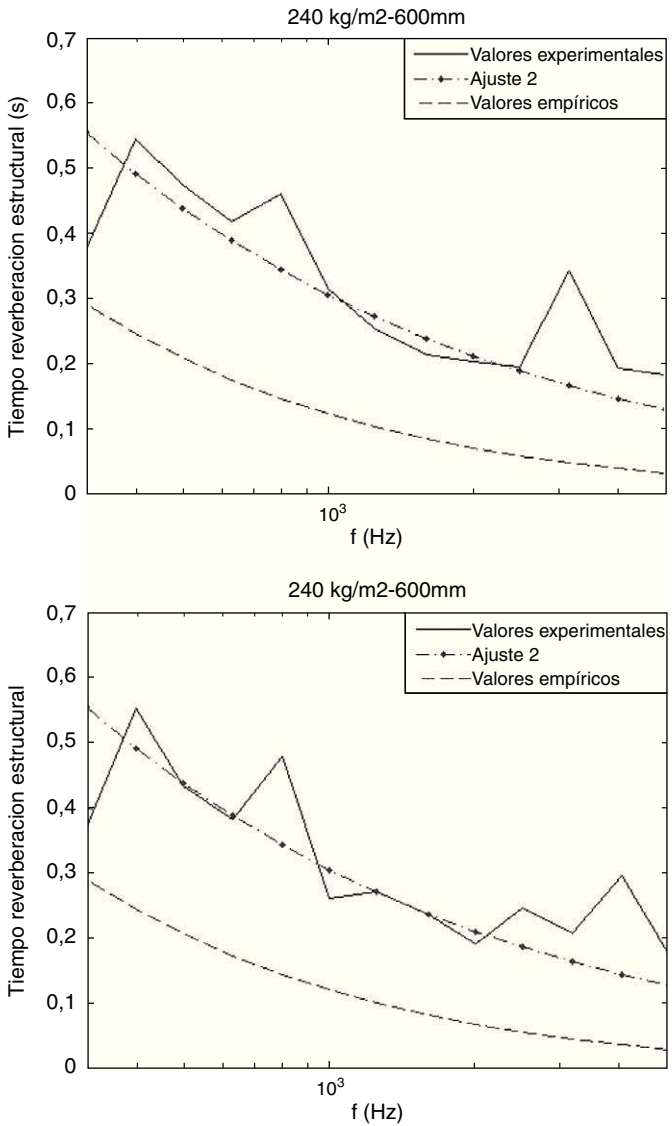


Figura 5. Ajuste 2 para los forjados estudiados.

ocupa, el procedimiento de medida expuesto en [12] nos permite obtener valores del tiempo de reverberación estructural que representan la caída vibracional de excitación del elemento constructivo. Existe en la comunidad científica una aproximación extendida y normalizada por [13], esto es, considerar el factor de pérdidas interno de materiales comúnmente utilizados en construcción como constante e iguales a 0,01 [11]. Las desviaciones encontradas por distintos estudios, ya referenciados en este trabajo, nos lleva al planteamiento de estudiar esta aproximación. En este trabajo se ha llevado a cabo mediante el ajuste 1. Los valores de los nuevos factores internos que se obtienen a partir del ajuste planteado para los forjados 1 y 2 son idénticos y menores a 0,01. Los valores del factor de pérdidas interno para las dos medianeras

también son menores a 0,01 y distintos para la medianera A y la medianera B. El hecho de que los valores que se obtienen de los ajustes de este parámetro coincidan en el caso de los forjados y no coincidan en el caso de las medianeras nos indica que estos modelos matemáticos pueden ser representativos de un problema físico real, reduciendo en gran medida el tiempo invertido en solucionar el problema. Además, justifica el planteamiento del ajuste 1 realizado en este trabajo, ya que cada material, junto con las condiciones de unión concretas debería estar representado por un factor de pérdidas interno particular y no asumir el valor de 0,01 para cualquier situación.

Con el planteamiento del ajuste 2 se sigue manteniendo la dependencia con la frecuencia ya obtenida por otros autores [11] y se elimina la dependencia con la masa por unidad de superficie como en [12]. De esta forma también se obtienen los mismos resultados para los casos idénticos (forjados) y distintos valores para distintas situaciones (medianeras).

Además, en todos los casos estudiados (forjados y medianeras) con los dos ajustes propuestos se disminuye de forma considerable las desviaciones respecto los valores experimentales. Con el ajuste 1 la reducción de las desviaciones medias es mayor en forjados que en medianeras. Con el ajuste 2 ocurre justo lo contrario. Esto puede ser debido a que las pérdidas por transmisión dependen tanto del factor de pérdidas interno así como de la relación entre masas de los distintos paramentos entre los que se transfiere la energía y las condiciones de contorno. La dependencia con la relación de masas se estudia con el ajuste 2, y puede ser más significativa en el caso de medianeras (120 kg/m^2) que en el caso de forjados (240 kg/m^2).

Como conclusión global, los métodos numéricos aplicados a la acústica de la edificación, o más concretamente, al comportamiento vibracional de los elementos constructivos, evidencian de forma relativamente sencilla y rápida la necesidad de continuar estudiando con detalle tanto el valor del factor de pérdidas interno como la dependencia del factor de pérdidas total con la frecuencia, ya que se observa una clara disminución de las desviaciones entre valores empíricos y valores experimentales al suponer distintos ajustes.

Como futura línea de trabajo se plantea ampliar el estudio cambiando las condiciones de contorno (condiciones de fijación de las medianeras y forjados) para ver la influencia en el factor de pérdidas final.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia (BIA2007-68098-C02-01 y BIA2007-68098-C02-02) y por el Ministerio de Ciencia e Innovación (BIA2010-17723).

Bibliografía

- [1] Boletín Oficial del Estado (BOE) n.º 254 de 23 de octubre de 2007. Real Decreto 1371/2007 de 19 de octubre, por el que se aprueba el documento básico de Protección frente al ruido del Código Técnico de la Edificación.
- [2] D.B. Pedersen, Estimation of vibration attenuation through junctions of building structures, *Applied Acoustics* 46 (3) (1995) 285–305.
- [3] C. Hopkins, Measurement of the vibration reduction index. Kij on free-standing masonry wall constructions, *Building Acoustics* 6 (3-4) (1999) 235–257.
- [4] J. Mahn, J. Pearse, On the Uncertainty of the 12354-1. Estimate of the Flanking Sound Reduction Index Due to the Uncertainty of the Input Data, *Building Acoustics* 16 (3) (2009) 199–231.
- [5] J. Alba, J. Ramis, T. Lorenzana, R. Del Rey, Propuesta de Modelo Empírico para Materiales Absorbentes Acústicos, *Rev. int. métodos. numér. calc. dis. en ing.* 24 (2008), 2 pag. 147, 162.
- [6] A. Schiavi, A. Astolfi, The prediction of the vibration reduction index Kij for brick and concrete rigid junction, *Applied Acoustics* 71 (2010) 523–530.
- [7] C. Crispin, et al., The vibration reduction index Kij: Laboratory measurements for rigid junctions and for junctions with flexible interlayers, *Building Acoustics* 13 (2) (2006) 99–111.
- [8] J.P. Mahn, Prediction of Flanking Noise Transmission in Lightweight Building Constructions. A Theoretical and Experimental Evaluation of the Application EN12354-1. Tesis Doctoral, University of Canterbury, 2009.
- [9] T. Kihlman, A.C. Nilsson, The effects of some laboratory designs and mounting conditions on reduction index measurements, *Journal of Sound and Vibration* 24 (3) (1972) 349–364.
- [10] International Organization for Standardization (ISO). ISO 140, (1991-1998). Acoustics, Measurements of sound insulation in buildings and of building elements.
- [11] E. Gerretsen, Using the structural reverberation time in standardizing laboratory measurements of the sound reduction index. Fórum Acusticum 2002, en: 3rd European Congress on Acoustics, Sevilla, España, 2002.
- [12] International Organization for Standardization (ISO), 10848-1:2006 Acoustics – Laboratory Measurement of the Flanking Transmission of Airborne and Impact Sound Between Adjoining Rooms – Part 1: Frame Document.
- [13] Spanish Standard, UNE-EN 12354-1, 2000, “Building Acoustics -Estimation of Acoustic Performance of Buildings From the Performance Elements. Part 1: Airborne Sound Insulation Between Rooms”.
- [14] J. Mahn, P. Bayly, Impact Testing of Stereolithographic Models to Predict Natural Frequencies, *Journal Sound and Vibration* 224 (1999) 411–430.
- [15] Christoph Kling, Investigations Into Damping in Building Acoustics by Use of Downscaled Models, Ph.D Dissertation, RWTH Aachen, Logos Verlag, Berlín (2008).
- [16] J. Alba, J. Ramis, Modeling of impervious layers from measurements of the sound reduction index, *Applied Acoustics* 64 (4) (2003) 385–400.
- [17] L. Cremer, M. Heckl, B.A.T. Petersson, Structure-borne sound, 3.ª edición, Springer-Verlag, Berlín, Nueva York, 2005.