

RESULTADOS PREVIOS EN LA SIMULACIÓN NUMÉRICA DE ELEMENTOS DE LA CONSTRUCCIÓN

Alfonso Rodríguez Molares y Manuel A. Sobreira Seoane

Sonitum, Grupo de Acústica Aplicada, Universidad de Vigo {amolares@gts.tsc.uvigo.es}

Resumen

La fiabilidad del método de cálculo de la Norma UNE 12354-1:2000 es muy dependiente de la precisión de los datos de entrada y de la caracterización de los tipos de encuentro entre elementos. Pese a que se han realizado enormes esfuerzos para caracterizar todo tipo de encuentros, la gran variedad de soluciones constructivas existentes hacen difícil llegar a una completa caracterización de todas ellas únicamente mediante los procedimientos experimentales descritos en la UNE EN ISO 10848-1:2007.

A lo largo de la pasada década se realizaron varios intentos en la caracterización de soluciones constructivas mediante el método de los elementos finitos, pero, debido a su alto coste computacional, sus resultados sirvieron únicamente como base para otros métodos menos costosos, especialmente para el Análisis Estadístico de la Energía.

No obstante, gracias al incremento en la capacidad de los ordenadores, es viable volver a pensar en utilizar la simulación numérica como herramienta para la caracterización de los elementos de la construcción, no sólo en términos generales, sino también caso a caso. Este texto mostrará algunos resultados previos, que aún se encuentran en proceso de validación, en los que se ha caracterizado el índice de reducción vibracional Kij de un tipo de encuentro mediante el método de elementos finitos.

Palabras-clave: UNE 12354, UNE 10848, FEM.

Abstract

The reliability of the calculation method in the EN 12354-1:2000 norm is highly dependent of both the accuracy of input data and the characterisation of the junctions between elements. Great effort has been made to characterise such junctions; however, it is difficult to achieve a complete characterisation of them just by means of the experimental procedures described in EN ISO 10848-1:2007, due to the large variety of building elements.

For the last decade, several attempts were made at characterising building elements by means of finite element method, but, due to the high computational cost, they mainly served as the basis for other less consuming methods, especially for the Statistical Energy Analysis (SEA).

However, the current increase of computer capacity may reopen the path for using numerical simulation as a tool for characterising the building element behaviour, not only in general terms, but also on a case basis. This text shows some previous results, still under validation, in which the vibration reduction index Kij of some junctions has been achieved by the Finite Element Method.

Keywords: UNE 12354, UNE 10848, FEM.

1 Introducción

La Norma UNE 10848-1:2007 [1] especifica los métodos experimentales que han de emplearse para caracterizar los índices de reducción vibracional K_{ij} en laboratorio de ensayo. Para ello debe disponerse de unas instalaciones específicas (véase la figura 1), con elevados requisitos técnicos, que aseguren que sólo existe propagación vibracional a través de la arista bajo estudio. Debe disponerse además de un conjunto suficiente de acelerómetros para realizar la medición en dos elementos simultáneamente, así como de los excitadores apropiados. Solamente por los requisitos hasta ahora expuestos, el ensayo descrito en la UNE 10848-1:2007 representa un coste algo superior a los de la familia de la UNE 140.

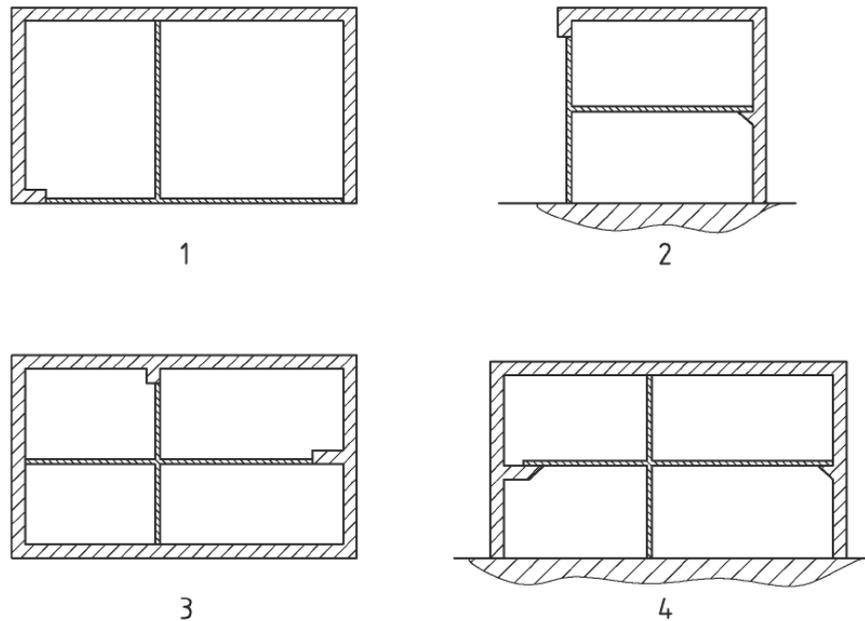


Figura 1 Ejemplos de instalaciones de ensayo incluidos en la UNE 10848-1:2007

Debe tenerse en cuenta, además, que la medición expuesta en la UNE 10848-1:2007 da lugar a un único valor de la K_{ij} sobre el eje de relación de masas, y por ello, con una sola medición se obtiene un único punto de las curvas expuestas en el apéndice E de la UNE 12354-1:2000 [2]. Por tanto, tal y como hizo Gerretsen [3,4], para llegar a estimar la curva del índice de reducción vibracional de una determinada combinación de soluciones constructivas será necesario realizar un número suficiente de mediciones, construyendo, para cada ensayo, las probetas con los grosores necesarios. Es este coste, el de montaje y desmontaje de las probetas, el que ha frenado una rápida implantación del ensayo de la UNE 10848 en los laboratorios en España.

Una alternativa a la medición, que requiere de todos modos de una validación previa, estaría representada por los métodos de la Acústica Numérica. Si las propiedades elementales de los materiales que constituyen la solución constructiva son conocidas (densidad ρ , módulo de elasticidad E , coeficiente de Poisson ν y coeficiente de pérdidas internas η) es posible simular el proceso expuesto en la UNE 10848-1:2007 mediante, por ejemplo, el método de los elementos finitos y así llegar al valor de índice de reducción vibracional de la unión estudiada. De este modo el largo y costoso proceso de obtención de la curva completa puede ser reducido a un cálculo por ordenador que, en el peor de los casos, no debería exceder de unas cuantas horas.

Este artículo presentará el proceso mediante el cual ha sido posible obtener la curva del índice de reducción vibracional K_{ij} de una unión en T rígida entre elementos homogéneos, mediante el método de elementos finitos. Los resultados numéricos presentados, que se encuentran aún en proceso de validación contra resultados experimentales, serán comparados con las expresiones existentes en el anexo E de la Norma UNE 12354-1:2000 [2].

2 La simulación numérica del ensayo UNE EN ISO 10848-1:2000

En los próximos apartados se presentará, paso por paso, el procedimiento de simulación empleado, haciendo especial hincapié en las consideraciones aceptadas y en su consecuencia en las expresiones de la Norma.

2.1 Dominio de cálculo

En el apartado 6 de la Norma UNE 10848-1:2007 aparecen los requisitos para las muestras y recintos de ensayo. Se especifica que todas las muestras han de tener una longitud de entre 3,5m y 6m y la arista ha de presentar una longitud mínima de 2,3m como mínimo. Para evitar un acoplamiento modal perfecto entre los diferentes elementos, la longitud de cada uno de ellos ha de diferenciarse en, como mínimo, un 10%.

Las condiciones de contorno que se deben aplicar pueden derivarse de lo expuesto en el apartado 8 de la Norma, en el que se especifican las características que deben verificar las instalaciones de ensayo para que tengan una mínima influencia en la medición de los K_{ij} . Según dice la Norma “la diferencia de nivel de velocidad” (que será definida más adelante) “debería ser lo más grande posible”. También añade que esto puede conseguirse “utilizando construcciones en la instalación de ensayo que sean mucho más pesadas que las construcciones sometidas a ensayo”. La traducción de esta condición al ámbito de la simulación numérica es la de una condición Dirichlet homogénea sobre la velocidad en aquellos contornos de la muestra en contacto con la instalación, es decir:

$$\mathbf{v}_{\Gamma_D} = \mathbf{0}, \quad (1)$$

donde \mathbf{v} representa el vector velocidad en cualquier punto del dominio y Γ_D la superficie del dominio en contacto con las instalaciones. Aún queda otra condición de contorno por aplicar, asociada con la superficie en contacto con el aire. Esa condición se aproxima en ocasiones por una condición Neumann homogénea sobre la velocidad, es decir,

$$\left. \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial \mathbf{n}} \right|_{\Gamma_N} = \mathbf{0}, \quad (2)$$

donde \mathbf{n} representa el vector normal a la frontera del dominio y Γ_N la superficie de la muestra que está en contacto con el aire. Debe notarse que asumir la condición (2) conlleva desprestigiar la transmisión de energía que ocurre a través de aire. Podría argumentarse que dicha transmisión es pequeña en comparación con la que transcurre por vía estructural, ya la primera involucra la transformación de la energía del elemento sólido i al aire y después del aire al elemento sólido j . No obstante, es posible que su influencia sea mucho mayor que la aparente, sobretudo en sistemas ligeros con baja amortiguación.

Para la consecución de los resultados que aquí se presentan se ha asumido la condición (2) aunque, como se acaba de exponer, está no es la consideración más exacta. Esto se ha hecho para simplificar al máximo el cálculo reduciéndolo a un mero análisis estructural. Por ello, un cálculo acoplado fluido-estructura podría revelar resultados más restrictivos y, quizá, más ajustados a las medidas experimentales. Ello justifica el título del presente artículo, ya que, en el momento de su redacción, no se dispone aún de medidas experimentales que permitan su validación ni de los resultados del cálculo acoplado que puedan confirmar la baja transmisión a través del aire.

En consecuencia con la aceptación de la condición (2), los requisitos expuestos en el apartado 6 de la norma UNE 10848-1:2007 acerca de los volúmenes y los tiempos de reverberación de los recintos dejan de ser aplicables, dado que en el dominio simulado no existe medio fluido y su influencia es por tanto nula. Análogamente las restricciones sobre el nivel de ruido de fondo carecen de significado en una simulación numérica.

El dominio de cálculo escogido presenta la configuración que puede verse en la figura 2 para el caso de una unión tipo T de dos elementos de 20 y 60 cm de grosor. Los tres elementos, tienen longitudes de 3,51m, 4,09m y 4,67m respectivamente y la longitud de la arista es de 3,77m.

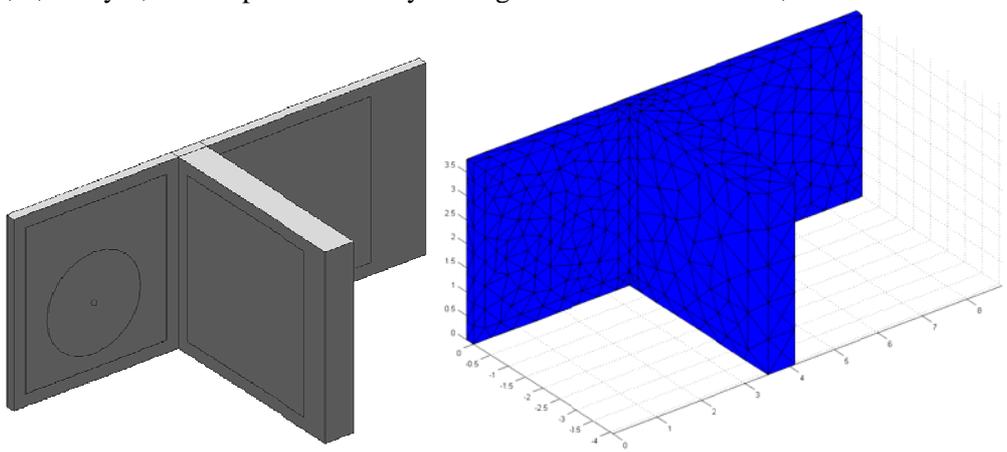


Figura 2 Izquierda: configuración del dominio de cálculo para una unión tipo T de elementos de 200mm y 600mm, cumpliendo los requisitos expuestos en la norma UNE 10848-1:2007; derecha: malla empleada para la resolución del problema.

En el interior de cada elemento existe un rectángulo inscrito que se corresponde con la zona de evaluación de la velocidad. Según las especificaciones del apartado 7.2.4 de la norma, los transductores de velocidad deben colocarse a 25 cm de los límites de muestra y a 3,5 m de la unión sometida a ensayo. Puede verse también en la figura el punto de excitación (representado por un pequeño círculo) para una medición particular sobre el elemento 1, punto que es además centro de una circunferencia de radio 1m. Esta circunferencia limita la zona en donde no se realiza medición de velocidad ya que, según especificaciones del apartado 7.2.4, entre el punto de excitación y cualquier punto de colocación de los transductores debe haber, como mínimo 1m.

Existe una especificación que no ha sido respetada, concretamente la referida a la separación entre la posición de cada transductor. El objetivo de esta especificación es no sesgar la ponderación espacial de la medida de la velocidad concentrando los transductores en una región determinada de los elementos. En este caso esta precaución es innecesaria dado que el cálculo numérico nos permite realizar la ponderación espacial mediante una integral bilineal cuyas soluciones se toman, para las resoluciones de malla que se están manejando en este estudio (véase la figura 2), en varias decenas de puntos.

2.2 Obtención de la diferencia de velocidades

La norma UNE 10848-1:2007 define el nivel de velocidad promedio L_v como,

$$L_v = 10 \log_{10} \frac{\frac{1}{T_m} \int_0^{T_m} v^2(t) dt}{v_0^2}, \quad (3)$$

donde v se corresponde con la velocidad normal a la muestra, T_m es el período de promediado temporal y v_0 es la velocidad de referencia ($1 \cdot 10^{-9}$ m/s). En la norma no aparece una expresión general para el promediado espacial de la velocidad sobre la superficie del elemento, aunque sí aparece una versión discreta de dicho promediado dado por la media aritmética de las velocidades promediadas temporalmente al cuadrado medidas en diferentes puntos de la superficie. Consecuentemente, como ya se ha comentado en el apartado anterior, la norma se ve obligada a especificar una serie de requisitos para las posiciones relativas de cada transductor. En la simulación numérica es posible llegar a una expresión más exacta del promediado espacial de la velocidad,

$$L_v = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{v_0^2} \frac{1}{S_i} \frac{1}{T_m} \int_0^{T_m} \int_{\Gamma} v^2(t) dt d\Gamma \right), \quad (4)$$

donde S_i es la superficie del elemento y Γ la frontera sobre la cual se promedia la velocidad. Debe notarse además que, en el caso de utilizar análisis armónico, el promediado temporal se reduce a utilizar la conocida expresión del módulo del fasor entre raíz de dos, es decir,

$$L_v = 20 \log_{10} \left(\frac{1}{v_0} \frac{1}{S_i} \int_{\Gamma} \frac{\|v\|}{\sqrt{2}} d\Gamma \right), \quad (5)$$

Aplicando las condiciones de contorno (1-2) y sometiendo al punto de excitación a una fuerza armónica constante de amplitud arbitraria es posible obtener el campo de velocidades en todo punto del dominio. En la figura 3 se muestra una de las soluciones empleadas en este estudio de la velocidad en el contorno del dominio.

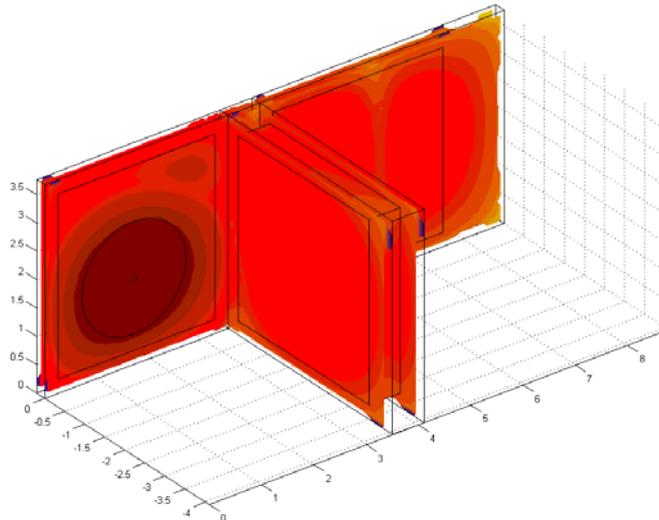


Figura 3 Muestra de una solución del problema a la frecuencia $f=50\text{Hz}$.

Aplicando la expresión (4) a las superficies evaluables es posible llegar a un valor del nivel de velocidad promediado L_v en cada cara de los elementos. En la figura 4 se muestra este resultado para el caso planteado.

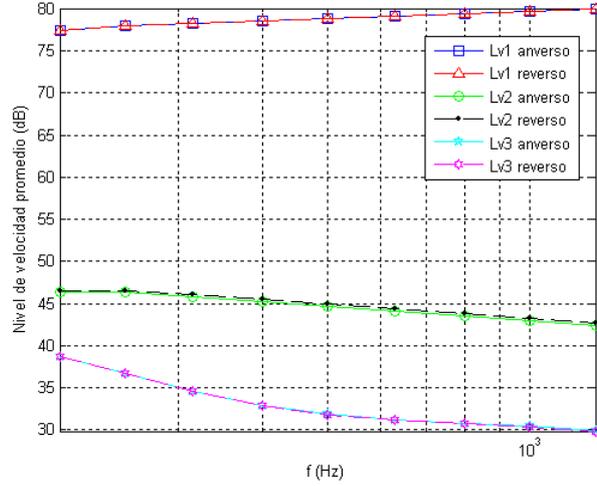


Figura 4 Niveles de velocidad en cada cara para el campo de velocidades mostrado en la figura 3. Las líneas 1 y 2 se corresponden al nivel en ambas caras del elemento 1 (elemento excitado), las líneas 3 y 4 al nivel de velocidad en el elemento 2 (elemento transversal), la líneas 4 y 5 al nivel en las caras del elemento 3.

Como se puede observar en la figura 4 los niveles de velocidad son coherentes, el nivel de velocidad es mayor en el elemento excitado. Demuestra además que la especificación de medir en los reversos de los elementos carece de importancia, al menos en lo que respecta a la excitación estructural.

La diferencia de nivel de velocidad entre los elementos i y j se obtiene directamente a partir de,

$$D_{v,ij} = L_{v,i} - L_{v,j}. \quad (6)$$

La norma especifica en el apartado 7.2.4 que deben realizarse un mínimo de 3 mediciones con posiciones aleatorias de la fuente. Si se utiliza una excitación estructural puntual, es evidente que cuando el punto de excitación se toma cerca de la unión la transmisión es mucho mayor que cuando el excitador se encuentra a la distancia máxima prevista por la norma de 3m.

En la realización de este estudio se ha encontrado que la varianza de los resultados era bastante grande, con diferencias de hasta 5dB en función del punto de excitación seleccionado y siempre dentro de los márgenes previstos en la norma. Por ello quizá 3 puntos no sean suficientes para caracterizar el índice de reducción vibracional con suficiente precisión. Afortunadamente, en el ámbito de la simulación numérica, el número de posiciones del excitador puede incrementarse con la única contrapartida del incremento del tiempo de cálculo. De este modo el promedio de los resultados para cada posición de fuente se obtiene mediante la media aritmética de las diferencias de nivel de velocidad, es decir,

$$D_{v,ij} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N D_{v,ij,k}, \quad (7)$$

siendo N el numero de posiciones de fuente.

Aún es preciso promediar dicha diferencia en ambas direcciones, por lo que es necesario disponer el punto de excitación en los otros dos elementos y obtener nuevamente el nivel de velocidad. Finalmente el nivel promediado se obtiene mediante la expresión,

$$\overline{D_{v,ij}} = \frac{1}{2}(D_{v,ij} + D_{v,ji}). \quad (8)$$

En la figura 5 observamos el resultado de evaluar la expresión (8) y anteriores para el caso de estudio mostrado en la figura 2. Para la obtención de dicha gráfica se ha promediado el resultado obtenido, para 5 puntos de excitación diferentes en cada elemento.

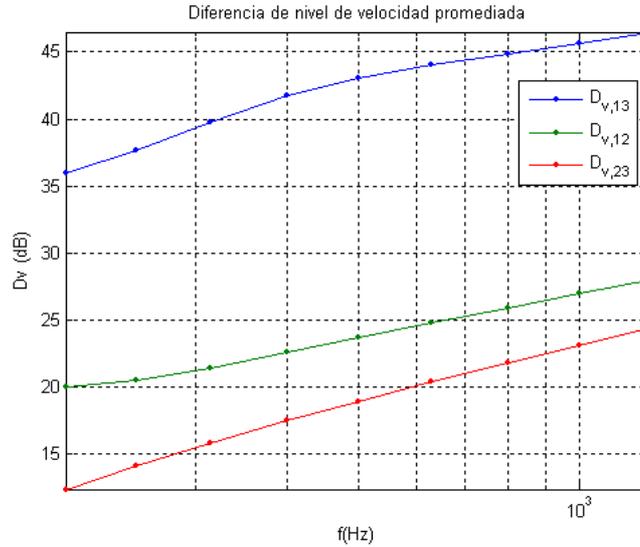


Figura 5 Diferencia de nivel de velocidad promediada para el caso de estudio presentado.

2.3 Obtención del tiempo de reverberación estructural

A partir de la diferencia de nivel de velocidad es posible obtener el índice de reducción vibracional K_{ij} mediante la expresión,

$$K_{ij} = \overline{D_{v,ij}} + 10 \log \frac{l_{ij}}{\sqrt{a_i a_j}} \quad (9)$$

donde l_{ij} es la longitud común de la arista y a_i y a_j son las longitudes de absorción equivalente de los elemento i y j , que pueden expresarse en función del tiempo de reverberación estructural mediante la expresión,

$$a_j = \frac{2,2\pi^2 S_j}{T_{S,j} c_0 \sqrt{\frac{f}{f_{ref}}}} \quad (10)$$

donde S_j es la superficie del elemento, c_0 la velocidad del sonido en el aire, f_{ref} la frecuencia de referencia, fijada en la norma en 1000 Hz, y $T_{S,j}$ el tiempo de reverberación estructural del elemento.

La medición del tiempo de reverberación estructural puede realizarse mediante el método de respuesta por impulsos integrado según se define en la Norma UNE 3382 [5] aunque ésta se refiera específicamente a la medición del tiempo de reverberación en salas. Los aspectos prácticos de la medición, tales como la colocación de los transductores y los requisitos que permiten considerar válido el resultado, se encuentran, sin embargo, recogidos en la propia UNE 10848-1:2007.

La Norma 3382 recoge un método de integración regresiva de la respuesta por impulsos al cuadrado que puede ser aplicado al análisis estructural para determinar el tiempo de reverberación de los elementos que componen una unión. Disponiendo una serie de transductores sobre la superficie del elemento bajo análisis y sometiendo a éste a una excitación impulsiva, es posible registrar la variación con el tiempo de la velocidad al cuadrado. La respuesta impulsiva registrada por los acelerómetros es promediada espacialmente y es posteriormente sometida a una integración regresiva dada por la expresión,

$$E(t) = \int_{\tau=0}^{\infty} v^2(\tau) d\tau - \int_{\tau=0}^t v^2(\tau) d\tau. \quad (11)$$

Sobre la curva $E(t)$, convenientemente normalizada y expresada en escala logarítmica, es posible obtener mediante regresión lineal la pendiente de caída de la energía entre los puntos $E(t) = -5dB$ y $E(t) = -35dB$. De este modo el tiempo de reverberación estructural T_{60} se obtiene, por definición, como el tiempo que ha de transcurrir para que la energía decrezca 60dB. Este análisis es preciso realizarlo en cada tercio de octava, según lo dispuesto en la norma 3382.

En el ámbito de la simulación numérica esta evaluación ha de realizarse mediante un análisis transitorio. En particular se ha tomado el dominio definido anteriormente y se ha aplicado una respuesta impulsiva en el punto de excitación. La ponderación espacial de la velocidad al cuadrado se ha realizado de un modo análogo al presentado en el inicio del apartado 2.2, mediante la resolución de la integral bilineal, y se ha promediado el resultado en tres puntos de excitación distintos.

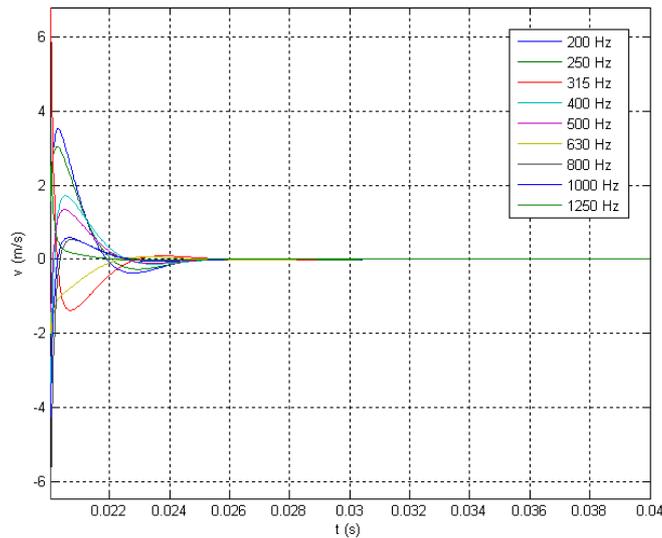


Figura 6 Respuesta al impulso en diferentes bandas de frecuencia para el elemento 1.

En la figura 6 puede verse el resultado de dicha evaluación en cada banda de tercio de octava. Para su obtención se ha empleado un banco de filtros con una latencia inferior al tiempo de reverberación de los elementos. De lo contrario el resultado estaría falseado por la propia reverberación de los filtros. Realizando la integración regresiva de la expresión (11) se obtiene la curva de la evolución de la energía frente al tiempo y, mediante regresión lineal, la pendiente de caída. En la figura 7 se muestra la obtención de dicha pendiente para la banda de 250Hz.

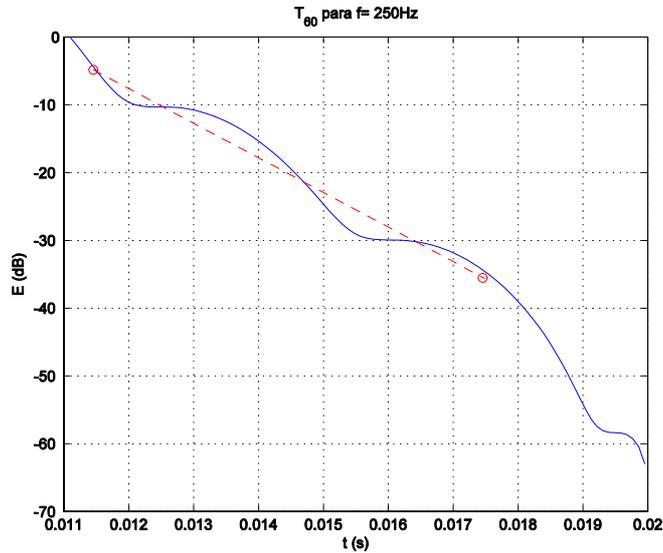


Figura 7 Obtención de la pendiente de caída de la energía a partir de los datos del análisis transitorio.

En la figura 8 se muestra el resultado de evaluar el tiempo de reverberación estructural, para cada banda de tercio de octava, en los tres elementos del caso planteado en la figura 2.

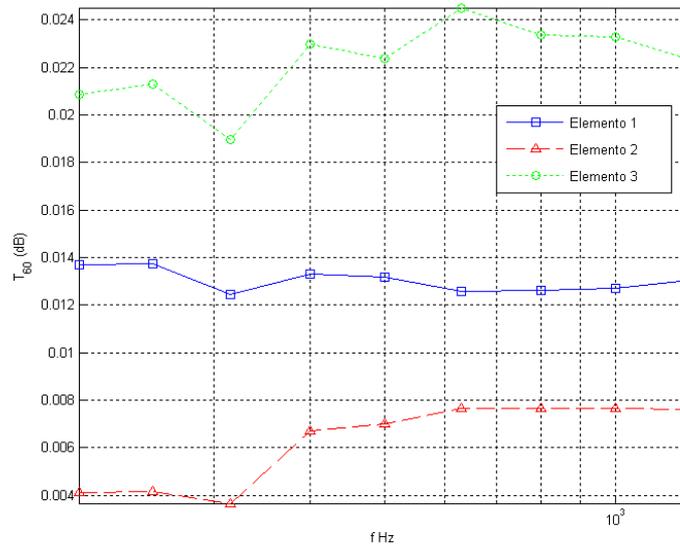


Figura 8 Tiempo de reverberación estructural de los tres elementos de una unión respecto a la frecuencia.

Como se puede observar no existe una gran variación del tiempo de reverberación estructural con la frecuencia, al menos en el rango frecuencial empleado. Sí existe una notable diferencia entre los tiempos de los diferentes elementos, lo cual era esperable, dado que tienen dimensiones diferentes. Congruentemente el tiempo de reverberación del elemento 2 (de 60cm de grosor) es menor que el de los otros dos elementos (ambos de 20 cm), siendo el mayor el del elemento 3, que es el que presenta la mayor superficie.

Una vez se han obtenido los tiempos de reverberación estructural es posible calcular las longitudes de absorción equivalente mediante la expresión (10) y posteriormente el índice de reducción vibracional a través de la fórmula (9).

3 Resultados

Para poder obtener una curva que refleje el valor del índice K_{ij} para diferentes relaciones de masa es preciso realizar una campaña de mediciones que contenga un número suficiente de muestras de la misma solución constructiva pero con relaciones de masa por unidad de superficie distintas. A partir de los valores puntuales obtenidos en cada ensayo, es posible obtener una curva por el método de mínimos cuadrados. La obtención de dichas muestras no está exenta de dificultad ya que será preciso, o construir la misma solución de diferentes grosores, o modificar la densidad de los materiales que constituyen la solución. Es de suponer que esto no podrá hacerse siempre, debiendo aceptar como válidos los valores discretos siempre que éstos se utilicen, únicamente, con la relación de masas con la que fueron obtenidos.

Se presenta en las figuras 9 y 10 las muestras obtenidas del cálculo de los índices K_{ij} de una unión rígida de elementos homogéneos en T tomando como material constitutivo hormigón de densidad 2400 kg/m^3 y módulo de elasticidad 40 N/m^2 .

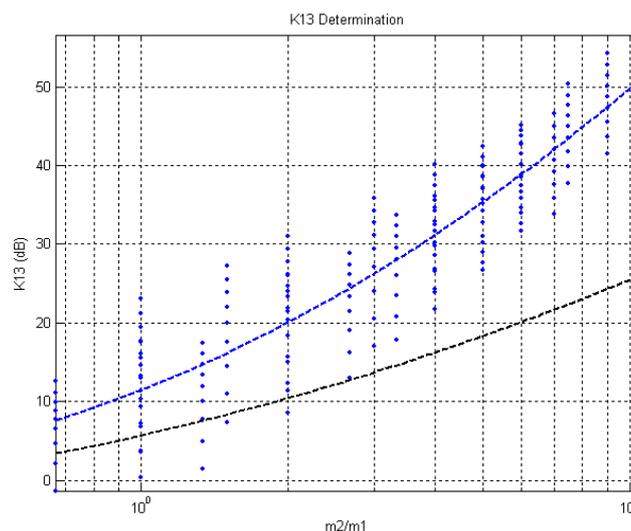


Figura 9 Estimación del índice de reducción vibracional K_{13} para una unión T rígida (puntos azules), curva obtenida por mínimos cuadrados (línea azul discontinua) y evaluación de la expresión que aparece en la UNE 12354-1:2000 (línea negra continua).

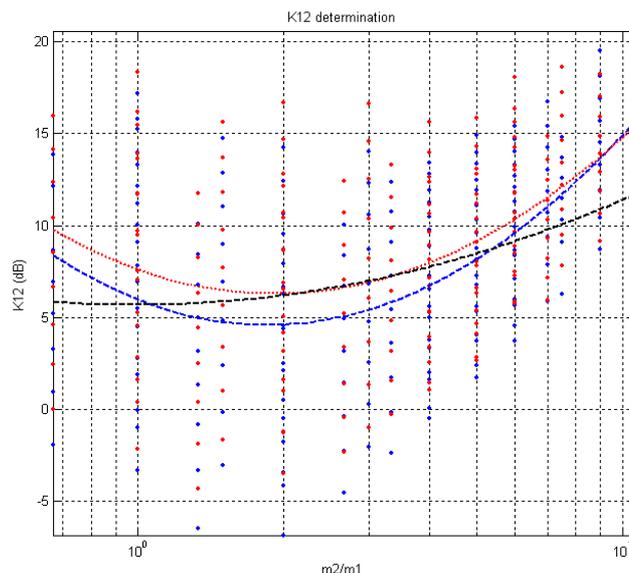


Figura 10 Estimación del índice de reducción vibracional K_{12} para una unión T rígida (puntos azules), índice de reducción vibracional K_{23} (puntos rojos), curva K_{12} obtenida por mínimos cuadrados (línea azul discontinua), curva K_{23} obtenida por mínimos cuadrados (línea roja discontinua) y evaluación de la expresión que aparece en la UNE 12354-1:2000 (línea negra continua).

Los resultados, aún presentando una semejanza razonable con las expresiones publicadas en la UNE 12354-1:2000, no concuerdan exactamente con las predicciones. En el caso de los índices K_{12} y K_{23} el resultado es ciertamente ajustado con una desviación máxima en los extremos de la curva de unos 5dB. Sin embargo, el índice K_{13} calculado es muy superior a la predicción de la norma con una diferencia mínima de 5dB y máxima de 25dB.

Estas diferencias pueden deberse al material utilizado. Nótese que la expresión de la UNE no se refiere a ningún material en concreto, pudiendo ser hormigón de cualquier clase o aún elementos de ladrillo macizo. Los resultados aquí presentados se refieren únicamente al hormigón de densidad 2400 kg/m^3 y módulo de elasticidad 40 N/m^2 que se ha empleado para realizar el cálculo. Por otro lado el hecho de no haber considerado la transmisión a través del medio fluido pudiera ser una razón para la obtención de índices K_{ij} mayores que los reales. Pero, si así fuera, el incremento de los índices K_{ij} debería involucrar fundamentalmente al K_{12} o al K_{23} y no al K_{13} , menos sensible a los efectos de la transmisión por vía aérea.

En cualquier caso, es preciso validar estos resultados contra mediciones según la UNE 10848-1:2007. De este modo podremos determinar si el cálculo constituye un método fiable de predicción de la transmisión vibratoria entre elementos de la construcción. Bastará para ello demostrar que el análisis numérico es capaz de predecir el valor de los índices K_{ij} para un número limitado de los puntos mostrados en las figuras 9 y 10. Si los resultados son correctos para un conjunto reducido de casos, nada nos hace sospechar que la fiabilidad del método dependa de las masas o espesores de los elementos simulados, siempre que la resolución de la malla sea suficiente para asegurar una baja polución numérica.

4 Conclusiones

Con la llegada del método predictivo de la UNE 12354-1:2000 se ha cubierto la apremiante necesidad de predecir la transmisión acústica en la edificación actual. Pero su llegada ha abierto también numerosas incógnitas, dejando grandes lagunas por llenar, como, por ejemplo, la caracterización de las numerosas soluciones constructivas en base a los parámetros en ella definidos.

Se carece aún de datos fiables sobre los índices de reducción vibracional con soluciones realizadas en ladrillo hueco, soluciones pesadas de doble hoja o soluciones asimétricas. No existe un modelo que incorpore la influencia del módulo de rigidez dinámica de las juntas elásticas y se desconocen los índices K_{ij} para muchas configuraciones de dichas juntas. Tampoco se tiene noticia, aún, de la existencia de un modelo que incorpore ángulos de encuentro diferentes a la perpendicular o de uniones en las que existan más de dos masas involucradas.

Una vez se haya demostrado la fiabilidad de las herramientas de simulación numérica en la predicción de los índices de reducción vibracional se habrá abierto un prometedor camino hacia una mejor caracterización de los elementos de la construcción. Empezando por una predicción correcta y específica de los índices K_{ij} , sería posible zanjar muchas de las lagunas existentes y mejorar la predicción de los métodos actuales. No sería un logro académico desconectado de las necesidades tecnológicas, ya que la UNE 12354-1:2000 es ya utilizada, y de forma obligatoria, por los proyectistas españoles a fin de justificar la calidad acústica de los edificios según el nuevo CTE. Resolver esas lagunas responde, pues, a una necesidad de la industria que, en la mayoría de los casos, desconoce el alto grado de incertidumbre existente en la norma a la que debe ajustarse.

- [1] 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*. Enero 2007.
- [2] 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*. Diciembre de 2000.
- [3] Gerretsen E. Calculation of the sound transmission between dwellings by partitions and flanking structures. *Applied Acoustics* 12 (1979) 413-433.
- [4] Gerretsen E. Calculation of airborne and impact sound insulation between dwellings. *Applied Acoustics*. 19 (1986) 245-264.
- [5] UNE EN ISO 3382:2001 *Acústica. Medición del tiempo de reverberación de recintos con referencia a otros parámetros acústicos*. Abril 2001.
- [6] Pedersen D.B. Estimation of vibration attenuation through junctions of building structures. *Applied Acoustics* 46 (1995) 285-305
- [7] Craik R.J.M. Sound transmission through buildings using statistical energy analysis. Edition Ashgate (1996).