

EVALUACIÓN NUMÉRICA DE LOS ÍNDICES DE REDUCCIÓN VIBRACIONAL EN UNIONES EN T

E. Segovia¹, Carbajo, J.², Godinho, L.³, Ramis, J.² Alba, J.⁴

¹ DICOPIU, Universidade de Alicante, Ap. de Correos 99, 03080 Alicante, España
{enrique.gonzalo@ua.es}

² Dep. Física, IS y TS, Universidade de Alicante, Ap. de Correos 99, 03080 Alicante, España
{jramis@ua.es, jesus.carbajo@ua.es}

³ CICC, Dep. Eng. Civil da Universidade de Coimbra, Rua Luís Reis Santos, 3030-788 Coimbra
{jgodinho@dec.uc.pt}

⁴ Research Institute for Integrated Coastal Zone Management-IGIC, Polytechnic University of Valencia
Grao de Gandia 46730 (Valencia), Spain
{jesalba@fis.upv.es}

Resumen

La norma UNE-EN 12354, en sus partes 1, 2 and 3, proporciona algunas herramientas para la estimación de los índices de reducción vibracional. Sin embargo, los autores entienden que estas herramientas no son todo lo precisas que sería deseable. Los métodos numéricos, ampliamente aplicados en otros ámbitos de la edificación, pueden facilitar la realización de proyectos y proporcionar mejores resultados. En este trabajo, se presenta un análisis mediante el método de los elementos finitos de algunas soluciones constructivas para la determinación del índice de reducción vibracional con y sin suelos flotante para uniones en T

Palabras-clave: transmisión por flancos, aislamiento acústico, factor de pérdidas por acoplo, elementos finitos, uniones en T.

Abstract

Standard UNE-EN 12354, in his parts 1, 2 and 3, provides some tools for the estimation of the vibration reduction index. However, these tools are not accurate enough. Numerical methods, widely used in the building context, can facilitate the implementation of acoustic projects and provide better results. In this work, a 3D Finite Element Model for the determination of vibration reduction index on joints with and without floating soils for T unions is presented.

Keywords: flanking transmission, acoustic isolation, coupling loss factor, finite elements, T unions.

PACS no. 43.55.

1 Introducción

Este trabajo se inscribe en el contexto de la acústica de la edificación y trata de contribuir a la resolución del problema de predecir la contribución por flancos cuando se calcula el aislamiento acústico entre recintos con uniones en T. En este sentido cabe citar como antecedentes directos los trabajos [1] de los mismos autores, en los que se discuten las uniones en cruz.

El método reconocido más habitual para valorar acústicamente la transmisión por flancos es el de cuantificar el índice de reducción vibracional. Actualmente se puede obtener mediante el uso de fórmulas empíricas reconocidas para ciertas soluciones constructivas para un conjunto limitado de diseños rígidos o con elementos elásticos insertados. Esto se ha recogido en el DB-HR del CTE [2] que referencia las normas UNE-EN 12354 [3-5] donde se pueden encontrar las diferentes formulaciones y sus limitaciones.

Otra técnica que puede ser factible es la obtención de información del flanco en una edificación, mediante procedimientos de medida similares a los detallados en las normas UNE-EN ISO 10848 [6], con el uso de diferente equipamiento y la medición de multitud de datos de diferencias de niveles de velocidad y tiempos de reverberación estructural, para obtener datos sobre transmisión de energía y pérdidas.

En ambos casos citados anteriormente las limitaciones son conocidas, bien por la limitación de soluciones constructivas basadas en elementos de construcción clásicos [3-5], bien por la complejidad de las mediciones in situ [6]. Estas limitaciones junto con las ventajas que conlleva la herramienta de la predicción en el cálculo de particiones para conocer el aislamiento global de una edificación, hacen de los elementos finitos una herramienta cada vez más necesaria.

En este trabajo se realiza un estudio mediante el método de los elementos finitos, de diferentes configuraciones en T, comparando las mismas situaciones con las expresiones empíricas que se señalan en la UNE-EN 12354-1 [3], con el fin de poder comparar los resultados con lo que marcan las fórmulas predictivas, a través de la simulación del proceso de medición, intentando valorar y comprobar diferentes hipótesis que se realizan en la 12354-1 [3]

2 El índice de reducción vibracional y su determinación

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, si fuera relevante, de ambos elementos según la siguiente ecuación:

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

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:

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

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 (1000 Hz) y c_0 es la velocidad del sonido en el aire, en metros por segundo.

Tal y como se especifica en la 10848-1 [6], es posible obtener el valor de K_{ij} utilizando como base las ecuaciones (1) y (2), a partir de la medición de la diferencia de niveles de velocidad a través de la unión en ambas direcciones y la medición del tiempo de reverberación estructural de los dos elementos. Para la obtención de la diferencia de velocidades la norma marca una serie de limitaciones geométricas.

La determinación de la diferencia de velocidades junto con el tiempo de reverberación estructural es el primer paso la obtención de K_{ij} in situ. La normativa correspondiente [6] para la determinación de la diferencia de velocidades exige unas condiciones de acoplamiento entre los elementos que forman la unión, si estas condiciones no se cumplen, los datos obtenidos de las mediciones in situ no son representativas de la distribución de energía entre dichos elementos, no siendo válidas para la obtención del índice de reducción vibracional.

Así, debido a la dependencia de la precisión de los datos de entrada en las ecuaciones empíricas, 12354-1:2004 y debido a lo comentado anteriormente sobre las mediciones in situ, 10848, se debe pensar en la simulación numérica como una herramienta para la caracterización de los elementos de construcción, y poder así estudiar su comportamiento acústico.

El Documento Básico de Protección Frente al Ruido (DB-HR) del Código Técnico de la Edificación (CTE) [2] refieren a las normas UNE-EN 12354 [3-5] para la predicción del comportamiento acústico en diferentes situaciones. El método detallado descrito en el DB-HR utiliza las fórmulas de predicción que contienen dichas normas. En el caso concreto de la 12354-1 [3] se puede encontrar un anexo con fórmulas obtenidas a través de datos empíricos, para tipos habituales de uniones.

3 El modelo numérico

El modelo en elementos finitos [7] implementado en Ansys [8], tiene 5727 elementos (con elementos sólidos 3D de 20 nodos de alto orden que presentan comportamiento de desplazamiento cuadrático y tres grados de libertad por nodo: traslación in las direcciones nodales x , y y z). Los materiales se han modelado con comportamiento lineal y factor de pérdidas constante. El tamaño de los elementos se rellena si es menor que una decimal parte de la longitud de onda. En cuanto a las condiciones de contorno, se ha forzado que todos los nodos localizados en ambos extremos del modelo tengan tres grados de libertad. Para dar cuenta de la complejidad del modelo basta decir que para uniones en cruz se tienen 29,808 nodos y $3 \times 29808 = 89424$ grados de libertad. Los elementos utilizados son del tipo *Brick*, anudados en las esquinas y centros de cada borde.

En la Figura 1 se pueden observar los modelos simulados en T.

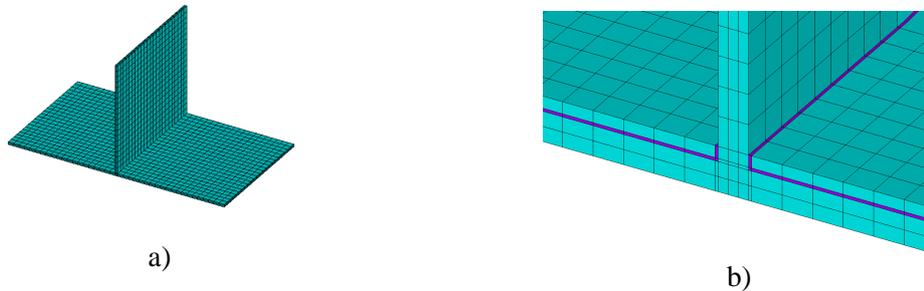


Figura 1- Modelos con lamina flexible. a) Unión en T. b) Detalle de unión en T con lámina flexible.

Además de los modelos anteriores y con el fin de comparar los resultados obtenidos con estos con el caso en el que se interpone una lámina flexible, dos nuevos modelos han sido implementados, uno por cada una de las uniones bajo estudio. Algunos detalles del mallado empleado para esos modelos se muestran en la Figura 2.

Como se muestra en la figura superior, la lámina flexible no está ubicada como se especifica en [2] (Anexo E), dado que no existen ecuaciones estimadas para este tipo de uniones en las que la lámina no cubre la unión entera extendiéndose por toda la superficie del suelo (obviamente, las ecuaciones del índice de reducción de presión sonora del Anexo C [3] no son directamente aplicables cuando se evalúa el K_{ij}).

Para realizar un acercamiento al problema, se propone intentar simular las condiciones de la norma 10848 [4], respecto a la colocación de fuentes de excitación y transductores de medida y respecto al tamaño de las muestras. Se han simulado materiales de 2400 kg/m^3 de densidad, $32 \cdot 10^9 \text{ Pa}$ de módulo de Young y 0,22 de coeficiente de Poisson. Los espesores simulados son de 10 y 20 cm y el factor de pérdidas interno de 0,01.

Se aplica una fuerza constante en el margen de frecuencias considerado de 1 N en distintos puntos y se obtiene, mediante la simulación en elementos finitos, las velocidades en distintos puntos. Las distancias entre los puntos de aplicación de las fuerzas y entre los puntos de registro siguen el espíritu de la normativa.

A partir de las simulaciones, se obtiene el valor de las velocidades en diferentes posiciones i,j . Con estos datos, se obtiene el promedio según la norma y se obtiene el primer término de la expresión (1). Para la obtención del tiempo de reverberación estructural, se sigue la siguiente expresión, dada por la 12354-1 [3]:

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

donde el factor de pérdidas total se puede obtener mediante la relación:

$$\eta_{TOT} = \eta_{int} + \frac{m}{485\sqrt{f}} \quad (4)$$

siendo m la masa por unidad de área. La fórmula es válida, según la UNE-EN 12354-1, para $m < 800 \text{ kg/m}^2$

4 Resultados

En la Figura 2 se presentan los resultados para el caso de unión rígida simple.

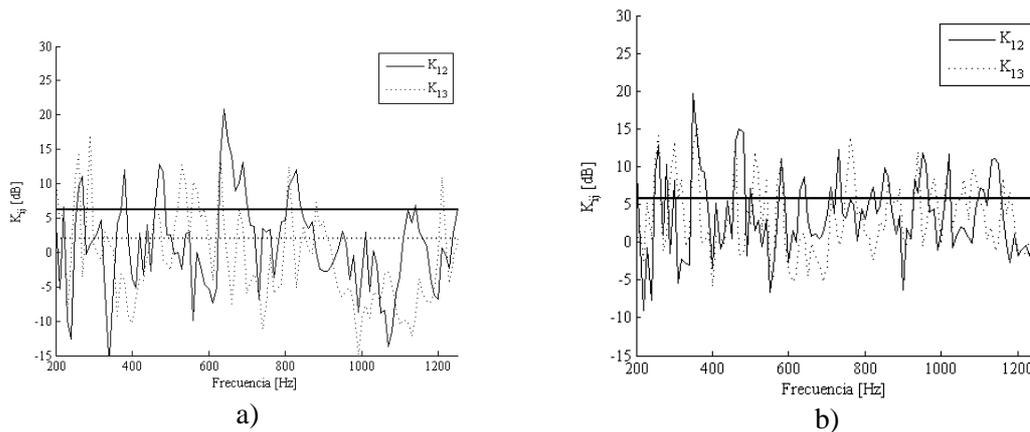


Figura 2 - Índice de reducción vibracional K_{ij} para uniones rígidas en T (trazo fino = numérico, trazo grueso = UNE-EN 12354). a) $M \neq 0$, b). $M = 0$

En las figuras 3 ,4 , 5 y 6 se presentan los resultados para el índice de reducción vibracional (K_{12} y K_{13}) para soluciones constructivas como las mostradas en la figura 1b (con lámina flexible), para $M = 0$ y $M \neq 0$

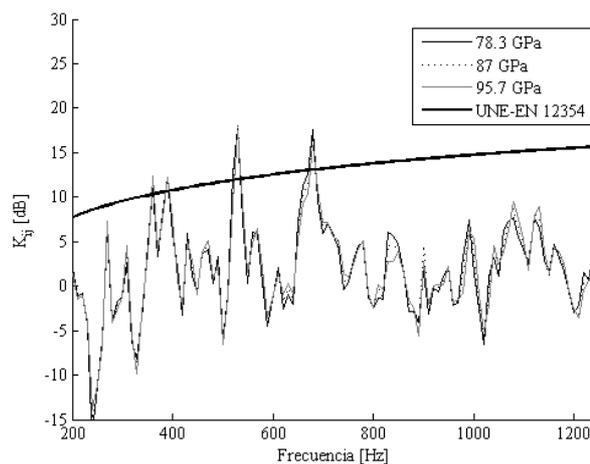


Figura 3 - Índice de reducción vibracional K_{12} para uniones en T con $M = 0$, con lámina flexible para distintos valores del módulo de Young

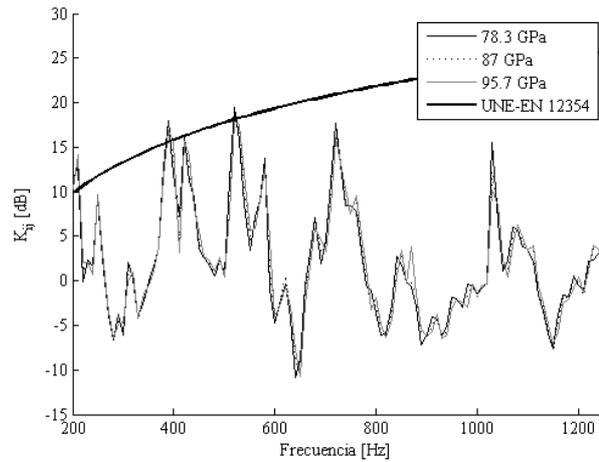


Figura 4 - Índice de reducción vibracional K_{13} para uniones en T con $M=0$, con lámina flexible para distintos valores del módulo de Young

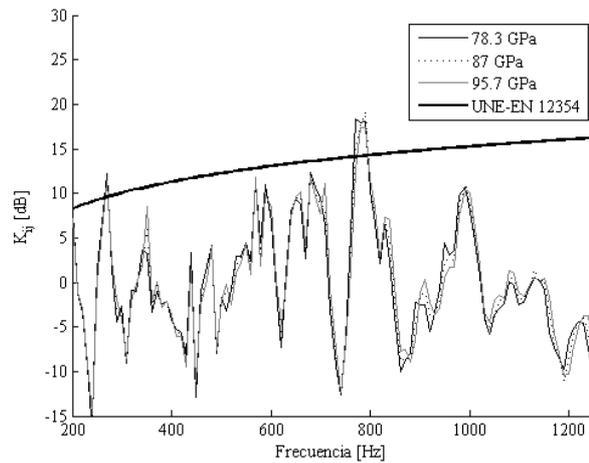


Figura 5 - Índice de reducción vibracional K_{12} para uniones en T con $M \neq 0$, con lámina flexible para distintos valores del módulo de Young

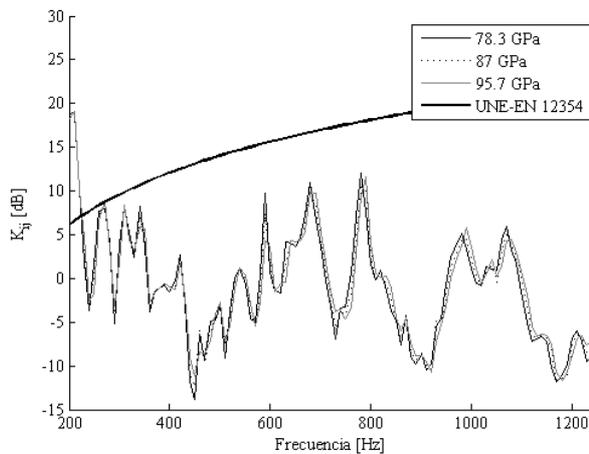


Figura 6 - Índice de reducción vibracional K_{13} para uniones en T con $M \neq 0$, con lámina flexible para distintos valores del módulo de Young

Para conseguir un acercamiento a la norma se puede proceder de la siguiente forma. Una vez incorporados los datos geométricos (en nuestro caso $l_{ij} = 4.5$ m y $S = 16$ m²) y sustituidas las constantes ($c_0 = 340$ m/s, $f_{ref} = 1000$ Hz), si se define un “factor de acoplamiento”, $\tau = \eta_i/\eta_j$, que relaciona los factores de pérdidas totales de los elementos i y j , la expresión resultante, para el K_{ij} , una vez realizadas las oportunas sustituciones podría expresarse en la forma:

$$K_{ij} = Dv_{ij} - A \cdot \log(B \cdot k \cdot \tau \cdot \eta_j \cdot 2f) \quad (5)$$

A y B son constantes que podrían obtenerse del ajuste para uniones rígidas.

Reemplazando los valores de τ y η_j que mejor se ajustan a la norma y dando valores a k para corregir la dependencia con la frecuencia, se consigue la convergencia entre la norma y las simulaciones.

5 Conclusiones

Se han presentado una serie de modelos 3D en elementos finitos para la determinación del índice de reducción vibracional en diferentes soluciones constructivas para uniones en T.

Los resultados nos indican que los métodos numéricos, y más concretamente el método de los elementos finitos, ampliamente utilizados para predicciones en otros ámbitos de la construcción podrían ser utilizados para predicciones de los K_{ij} .

Referencias

- [1] J. Ramis et Al. *Numerical evaluation of the vibration reduction index for structural joints*. Archives of Acoustics, Vol. 37, No. 2, pp. 189–197 (2012)
- [2] 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
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] UNE EN 12354-3: 2001 Acústica de la edificación. Estimación de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos. Parte 3: Aislamiento acústico a ruido aéreo contra el ruido del exterior.
- [6] ISO 10848-parts 1, 2 and 3. Laboratory measurement of the flanking transmission of airborne and impact sound between adjoining rooms.
- [7] C. Zienkiewicz, El método de los elementos finitos, Ed. Reverté, (1982)
- [8] ANSYS theory reference 8.1, ANSYS Inc, (2003).