

EFECTO DE LA RIGIDEZ DINÁMICA DE BANDAS ELÁSTICAS EN EL ÍNDICE DE REDUCCIÓN VIBRACIONAL EN UN MODELO A ESCALA MEDIANTE HOLOGRAFÍA ACÚSTICA DE CAMPO CERCANO

PACS: 43.40.-X

Escuder Silla, Eva¹ ; Alba Fernández, Jesús¹; del Rey Tormos, Romina¹; Ramis Soriano, Jaime²

¹Escuela Politécnica Superior de Gandía.

Universidad Politécnica de Valencia

Carretera Nazaret-Oliva S/N

Grao de Gandia 46730 (Valencia)

Teléfono (96) 284.93.14 - (96) 284.93.00

E-mail: roderey@doctor.upv.es, jesalba@fis.upv.es, evescude@fis.upv.es

²Dpto. Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal

Universidad de Alicante

Apdo. Correos, 99; 03080 Alicante

e-mail: jramis@ua.es

ABSTRACT

The Basic Document of protection against noise has introduced one changes very important in the need to install strips of elastic material in the junctions to interrupt the transmission of vibrations at the junctions of a partition with floor, ceiling and partitions . The main acoustic feature of these layers is the dynamic stiffness. At the DB-HR suitable materials for the bands who have a dynamic stiffness, less than 100 MN/m³ are considered, and for floating floors less than 30 MN/m³. To evaluate the flanking transmission, it is determined the the theoretical vibrational reduction index based on UNE-EN 12354. The improving of the interlayer on the rigid junction, is characterized by a frequency dependent elastic modulus, which indicates the rigidity of the material, and of the thickness of the flexible element interposed. In this case, the theoretical expressions are valid for a certain relation between the Young's modulus and thickness of the layer. This paper evaluates the dynamic stiffness of elastic layers in junctions by an inverse method. Vibration reduction index is obtained by Nearfield Acoustic Holography in a scale model. Linear adjustments are obtained that describe the behavior and allow to obtain a range of dynamic stiffness of the elastic layers.

Keywords: dynamic stiffness, elastic layers, vibration reduction index

RESUMEN

Uno de los cambios más importantes que ha introducido el Documento Básico de Protección frente al Ruido se produce en la necesidad de instalar bandas de material elástico en las uniones para interrumpir la transmisión de vibraciones en los encuentros de una partición con suelos, techos y otras particiones. La característica acústica principal de estas láminas es la rigidez dinámica, en el DB-HR se consideran materiales adecuados para las bandas aquellos que tienen una rigidez dinámica, menor que 100 MN/m³ y para suelos flotantes menor que 30 MN/m³. Para evaluar las transmisiones por flancos se determina el índice de reducción

vibracional teórico según la UNE-EN 12354. Para capas intermedias flexibles la mejora de la intercapa sobre la unión rígida, se caracteriza por una frecuencia que depende del módulo de elasticidad, que indica la rigidez de un material, y del espesor del elemento flexible interpuesto. En este caso, las expresiones teóricas son válidas para una relación determinada entre el Módulo de Young y el espesor de la lámina interpuesta. En este trabajo se evalúa la rigidez dinámica de bandas elásticas mediante un método inverso. Se obtiene el índice de reducción vibracional mediante Holografía Acústica de Campo Cercano en un modelo a escala y se obtienen ajustes lineales que describen dicho comportamiento y permiten obtener un rango de valores de la rigidez dinámica de las bandas elásticas.

Palabras-clave: rigidez dinámica, bandas elásticas, índice de reducción vibracional

1 INTRODUCCIÓN

El Documento Básico de Protección frente al Ruido del Código Técnico de la edificación ha creado la necesidad de instalar bandas de material elástico para interrumpir la transmisión de vibraciones en los encuentros de una partición con suelos, techos y otras particiones [1]. En su solución simplificada propone tres tipos de elementos de separación verticales:

a) tipo 1: Elementos compuestos por un elemento base de una o dos hojas de fábrica, hormigón o paneles prefabricados pesados (Eb), sin trasdosado o con un trasdosado por ambos lados (Tr). Comenta que son soluciones poco eficaces desde el punto de vista del aislamiento acústico y además es necesario un gran espesor en la solución para cumplir el requisito de aislamiento acústico. Propone tres tipos de trasdosados con lana mineral y placas de yeso laminado con o sin cámara y lana mineral más ladrillo pero en este caso es necesario colocar bandas elásticas en todo el perímetro del ladrillo, es decir, en los encuentros con forjados y fachadas, véase figura 2.

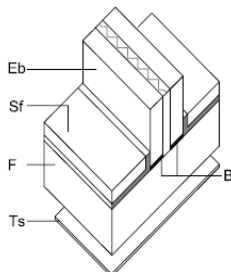


Figura 1. Composición de elementos de separación tipo 2

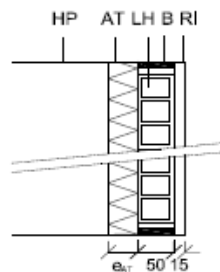


Figura 2. Trasdoso de lana mineral con ladrillo y bandas elásticas

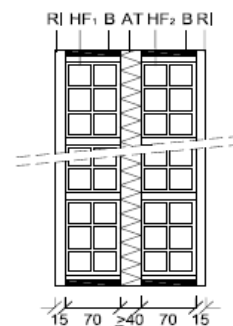


Figura 3. Elemento de separación vertical de dos hojas de fábrica con bandas elásticas

b) tipo 2: Elementos de dos hojas de fábrica o paneles prefabricado pesados (Eb), con bandas elásticas en su perímetro dispuestas en los encuentros de, al menos, una de las hojas con forjados, suelos, techos, pilares y fachadas, véase figuras 1 y 3.

c) tipo 3: Elementos de dos hojas de entramado autoportante (Ee). Los elementos de separación horizontales están formados por el forjado (F), el *suelo flotante* (Sf) y, en algunos casos, el techo suspendido (Ts).

Las bandas elásticas interpuestas reducen la transmisión de ruido aéreo y de impactos entre recintos colindantes. La rigidez dinámica es la magnitud que caracteriza la acústica de las bandas elásticas. El catálogo de elementos constructivos exige que esta banda sea de al menos 10 mm de espesor y que se consideren materiales adecuados para las bandas aquellos que tengan una rigidez dinámica, s' , menor que 100 MN/m³, por ejemplo bandas de Poliéstireno expandido elasticado (EEPS) de 1 cm de espesor. La rigidez dinámica se mide según la norma UNE-EN 29052-1:1994, pero en función de la composición del material a estudio a veces resulta complicado obtener un valor claro de esta magnitud.

En este trabajo se evalúa la rigidez dinámica de bandas elásticas mediante un método inverso. Se obtiene el índice de reducción vibracional mediante Holografía Acústica de Campo Cercano en un modelo a escala y se obtienen ajustes lineales que describen dicho comportamiento y permiten obtener un rango de valores de la rigidez dinámica de las bandas elásticas.

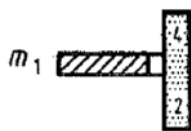
2 RIGIDEZ DINÁMICA E ÍNDICE DE REDUCCIÓN VIBRACIONAL

La rigidez dinámica de un material indica la capacidad del mismo en actuar como un muelle y por tanto como amortiguador acústico. La rigidez dinámica se puede medir según la norma UNE EN ISO 29052-1:1994 y se expresa en MN/m³ [2]. El método utilizado obtiene la rigidez dinámica aparente por unidad de superficie de la muestra de ensayo a partir de la frecuencia de resonancia del sistema masa-muelle, f_R , formado por la muestra de material elástico objeto de ensayo y una placa de carga de acero de dimensiones 200 x 200 mm y 8 kg de masa determinados por la norma. En las condiciones del ensayo, la frecuencia de resonancia del sistema vendrá dada por la expresión:

$$f_R = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{s'_t}{m'_t}}; \quad y \quad s'_t = 4 \pi^2 m'_t f_R^2 \quad (1)$$

Donde: s'_t es la rigidez dinámica aparente por unidad de superficie de la muestra objeto de ensayo, y m'_t es la masa total por unidad de superficie empleada en el ensayo.

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 mediante mediciones, 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 equivalentes, según la norma UNE-EN ISO 10848, o mediante fórmulas empíricas según las normas UNE-EN 12354 para ciertas soluciones constructivas y en un conjunto limitado de diseños rígidos o con elementos elásticos insertados [3,4]. Aparecen soluciones clásicas con elementos "pesados" a los que se les ha colocado una banda elástica de una relación entre el Módulo de Young del material y su espesor, y no deja margen para muchas configuraciones con elementos elásticos, véase figura 4. En las formulas de la norma 12354, en las uniones con elementos flexibles insertados, véase figura 1, aparece un factor corrector Δ_1 que representa la evolución en función de la frecuencia de los K_{ij} y que es válido para una relación determinada entre el Módulo de Young y el espesor de la lámina interpuesta. Las fórmulas reconocidas son las siguientes:



$$m_2 = m_4$$

$$K_{24} = 3,7 + 14,1M + 5,7 \cdot M^2 \quad \text{dB}; \quad -4 \text{ dB} \leq K_{24} \leq 0 \text{ dB}; \quad (2)$$

$$K_{12} = 5,7 + 5,7 \cdot M^2 + \Delta_1 (= K_{23}) \quad \text{dB}; \quad (3)$$

Figura 4. Uniones con elementos flexibles insertados

$$\Delta_1 = 10 \cdot \lg(f / f_1) \quad \text{dB} \quad \text{para } f > f_1, \quad (4)$$

$$f_1 = 125 \text{ Hz si } (E_1 / e_1) \approx 100 \text{ MN/m}^3$$

Para capas intermedias flexibles la mejora de la intercapa sobre la unión rígida, Δ_1 , se caracteriza por una frecuencia f_1 que depende del módulo de cizalla G , del espesor t_1 del

elemento flexible interpuesto, y de la densidad ρ_1 y ρ_2 de los elementos conectados. Esta frecuencia varía según la expresión siguiente:

$$f_1 = \left(\frac{G}{t_1 \sqrt{\rho_1 \rho_2}} \right)^{1.5} \quad (5)$$

La estimación dada en (3) es un valor global para algunas uniones típicas, caracterizadas por un $E_1/t_1 \approx 100 \text{ MN/m}^3$, donde E_1 es el módulo de elasticidad ($G_1 \approx 0.3E_1$) y t_1 es el espesor de la capa. Los parámetros que determinan la rigidez dinámica de una banda elástica son su naturaleza y su espesor según la siguiente relación: $s' = E_1/t_1$. Para un mismo material el módulo de elasticidad se mantienen constante por tanto cuando aumenta el espesor la rigidez dinámica disminuye y el efecto amortiguador aumenta.

3 HOLOGRAFÍA ACÚSTICA DE CAMPO CERCANO

La técnica Holografía Acústica de Campo Cercano (NAH), permite reconstruir el campo sonoro y la velocidad de vibración de un objeto o fuente sonora a partir de medidas con micrófonos, en un plano paralelo y cercano a la fuente (plano del holograma). Esta técnica surgió en 1980 de manos de Williams y Maynard mejorando la holografía convencional gracias a las medidas en campo cercano, que permiten abarcar un ancho rango de frecuencias y además capturan las ondas evanescentes (ondas subsónicas que decaen exponencialmente con la distancia a la fuente) creadas por la fuente sonora, y que contienen detalles de alta resolución acerca de dicha fuente. Las medidas se hacen normalmente en una superficie plana (plano del holograma), y estos datos se utilizan para reconstruir el campo tridimensional. Lo que hace que se pueda obtener toda esta información es el hecho de que puede utilizarse una función de Green conocida, y el hecho de que el campo medido obedece a la ecuación de onda. Esta técnica envuelve la grabación de la amplitud de presión sonora y la fase con un array plano de micrófonos, para calcular mediante técnicas de reconstrucción digital la estructura de la fuente de sonido objeto. En el espacio del número de onda, la presión acústica en el plano de la superficie de la fuente sonora se puede obtener mediante la expresión siguiente conocida la presión en el plano de medida u holograma y el propagador que depende de la distancia entre ambos planos y de kz [5].

$$\bar{p}_s(k_x, k_y, z_s) = \bar{p}_h(k_x, k_y, z_h) \cdot \bar{G}^{-1}(k_x, k_y, d) \quad (6)$$

donde $d = z_h - z_s$ se define como la distancia entre el plano reconstruido y el plano del holograma. A partir de la presión en el espacio k , $\bar{p}(k_x, k_y, z)$, se puede determinar el vector velocidad de partícula aplicando la ecuación de Euler y aplicando la transformada de Fourier.

4 DESARROLLO

El diseño del modelo a escala utilizado reúne las características de una unión en T tal y como se presenta en las figuras 5 y 6, el suelo es continuo y la medianera, se apoya sobre una banda elástica A y posteriormente sobre una banda elástica B, véase fig. 7, el material del suelo y medianera es fibra de madera DM. En nuestro modelo a escala se ha tenido en cuenta una proporcionalidad según las dimensiones acotadas (Figura 5), además de evitar simetría en la unión en T [6]. Se registra simultáneamente durante 10 s el nivel de presión a una distancia de 18 cm de las superficies a estudio. Se mide en una rejilla paralela a la superficie de 36 puntos con una distancia de 13 cm entre 2 puntos.

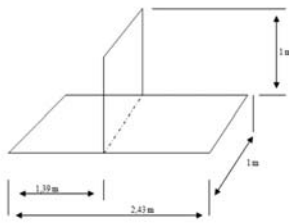


Figura 5. Modelo a escala



Figura 6. Modelo a escala

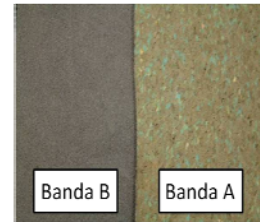


Figura 7. Bandas estudiadas

Partiendo de la expresión (4), como las masas son iguales $M^2 = 0$, resulta:

$$K_{12} = 5,7 + 10 \cdot \log(f) - 10 \cdot \log(f_1) \text{ dB} \quad (7)$$

Con las medidas de la diferencia de velocidad en cada camino de transmisión obtenidas mediante NAH, se obtiene el índice de reducción vibracional en el camino directo-flanco (k_{df}) y en el flanco-directo (k_{fd}). Se realiza un ajuste lineal: $y = mx + n$, donde $x = \log(f)$ e $y = K_{12}$. Los ajustes lineales obtenidos son:

$$\begin{aligned} \text{banda A } k_{df}: y &= 8,9x - 5,2 & ; & \quad k_{fd}: y = 7,8x - 1,7 & ; \\ \text{banda B } k_{df}: y &= 8,5x - 3,5 & ; & \quad k_{fd}: y = 6,9x + 0,9 \end{aligned} \quad (8)$$

En las figuras 8 y 9 se presentan el índice de reducción vibracional obtenido en función de la frecuencia y los ajustes lineales realizados entre el índice y el logaritmo de la frecuencia, obteniendo un coeficiente de correlación de 0.94. Se aprecia un aumento del índice de reducción vibracional con el logaritmo de la frecuencia, y una diferencia del experimental al teórico.

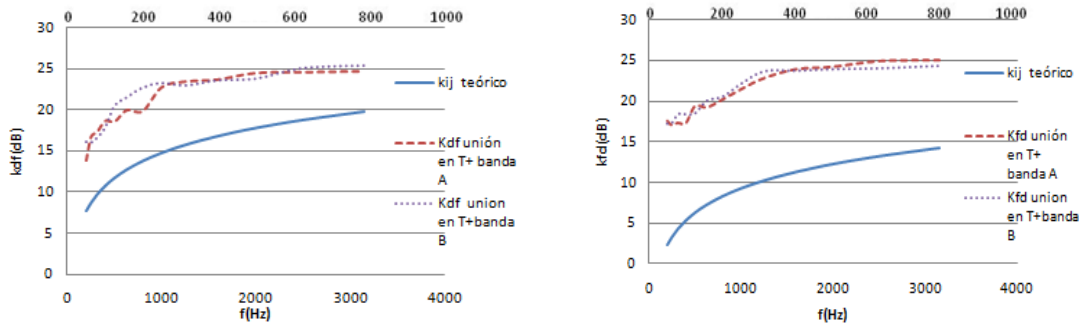


Figura 8 . k flanco-directo (fig. izquierda) y k directo-flanco (fig. derecha), experimentales y teóricos en función de la frecuencia, eje x inferior frecuencia del modelo, eje x superior frecuencia del original

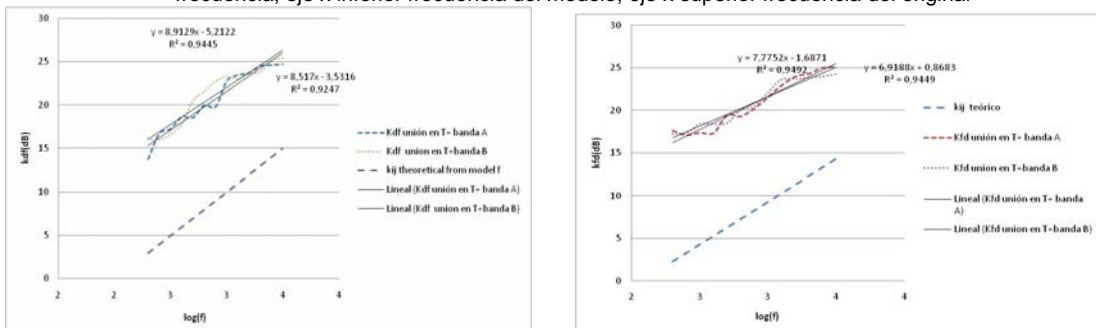


Figura 9 . k flanco-directo (fig. izquierda) y k directo-flanco (fig. derecha), experimentales, ajustes y teóricos en función del logaritmo de la frecuencia

Se considera que el término independiente, n , de los ajustes realizados es el que depende de la frecuencia. De la expresión (10), el término independiente resulta en una constante C más la parte dependiente de f_1 . Se sustituye f_1 por (5). Teniendo en cuenta $s' = E_1/t_1$ y la relación $G_1 \approx 0.3E_1$, la expresión anterior se simplifica a

$$n = C + 52.1 - 15\log(s') \quad (9)$$

Con los datos obtenidos en nuestros ajustes de n y evaluando para un margen de la constante C , se obtienen los resultados de la tabla 1. Según las mediciones realizadas con la norma UNE EN ISO 29052-1:1994 la banda A tiene una frecuencia de resonancia de 125 Hz y la banda B de 105 Hz, esto indica una rigidez dinámica de 116 y 82 MN/m³ respectivamente. Según la tabla 1, el valor de la constante C que más se aproxima a estos valores es 65.

banda A				banda B			
		s' (MN/m ³)				s' (MN/m ³)	
C	log s'	n=-0,38 de k_{df}	n=2,53 de k_{fd}	C	log s'	n=1,09 de k_{df}	n=4,6 de k_{fd}
60	7,5	66	38	60	7,4	51	26
65	7,8	143	83	65	7,7	110	56
70	8,2	307	179	70	8,1	237	121

Tabla 1. Rigidez dinámica obtenida a partir del ajuste lineal para k_{df} y k_{fd} y cada banda.

5 CONCLUSIONES

En este trabajo se ha determinado un rango de valores de la rigidez dinámica de bandas elásticas insertadas en una unión en T mediante un método inverso. Con la técnica Holografía Acústica de Campo Cercano se ha medido la diferencia de niveles de velocidad en un modelo a escala de una unión en T con bandas elásticas y se ha determinado el índice de reducción vibracional en los caminos flanco-directo y directo-flanco. Se han obtenido ajustes lineales que describen dicho comportamiento y permiten obtener un rango de valores de la rigidez dinámica de las bandas elásticas.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el ministerio de Educación y Ciencia. DG RESEARCH (BIA2007-68098-C02-01 y BIA2007-68098-CO2-02) y por la Conselleria de Educación (APOSTD/2007/112 y GVPRE/2008/115)

REFERENCIAS

- [1] 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
 - [2] UNE EN 29052-1:1992. Acústica: Determinación de la Rigidez Dinámica Parte 1: Materiales utilizados bajo suelos flotantes en viviendas.
 - [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] ISO 10848-parts 1, 2 and 3. Laboratory measurement of the flanking transmission of airborne and impact sound between adjoining rooms.
 - [5] Williams, Earl G., Fourier Acoustics Sound Radiation and Nearfield Acoustical Holography, Ed. Academic Press, 1999
- E. Escuder et al. *Estudio de transmisiones indirectas en modelos a escala mediante NAH*, Acústica 2008, Coimbra, Portugal