

ESTUDIO DE TRANSMISIONES INDIRECTAS EN MODELOS A ESCALA MEDIANTE NEARFIELD ACOUSTICAL HOLOGRAPHY

Escuder Silla, Eva; Alba Fernández, Jesús; Del Rey Tormos, Romina; Hervas González, Carlos

Instituto para la Gestión Integrada de las Zonas Costeras
Escuela 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: jesalba@fis.upv.es, roderey@doctor.upv.es, evescude@fis.upv.es

Resumen

Los valores de aislamiento acústico obtenidos en condiciones de laboratorio son diferentes de las medidas obtenidas en las edificaciones debido a las transmisiones por flancos a través de las soluciones constructivas. El índice de reducción vibracional es uno de los parámetros que se utilizan para evaluar estas transmisiones indirectas. Este índice se puede obtener teóricamente según la norma UNE-EN 12354 a partir de fórmulas predictivas para un conjunto limitado de condiciones de unión, o a través de medidas de la diferencia de velocidades entre los elementos de una unión y su tiempo de reverberación estructural. En este trabajo, se muestra un procedimiento para estudiar las transmisiones indirectas presentes en la edificación utilizando modelos a escala y mediante la técnica de medida sin contacto Nearfield Acoustical Holography (NAH). A partir de los datos experimentales de presión y velocidad obtenidos con la técnica NAH se evalúa el índice de reducción vibracional.

Palabras-clave: índice de reducción vibracional, NAH, transmisiones indirectas

Abstract

Obtained values of sound insulation in conditions of laboratory are different of the obtained measurements in building due to the flanking transmission through the constructive solutions. The vibration reduction index is one of the parameters that are used to evaluate these indirect transmissions. This index can be obtained theoretically according to european standard UNE-EN 12354 from predictive equations for a limited set of conditions of union, or through measures of the velocity difference between the elements of a union and the structural reverberation time. In this work, it is developed a procedure to study the flanking transmissions in building using scale models and by means of the technique of measurement without contact Nearfield Acoustical Holography (NAH). From the experimental data of acoustic pressure and velocity obtained with the technique NAH, the vibration reduction index is evaluated.

Keywords: vibration reduction index, NAH, flanking transmission

1 Introducción

El problema del ruido es actualmente uno de los retos medioambientales, tal y como se manifiesta en las diferentes normativas y ordenanzas, internacionales, nacionales o autonómicas, sobre el ruido, como la Ley del Ruido del 2003 estatal u otros autonómicos. En octubre de 2007 se publicó en España el Documento Básico de Protección Contra el Ruido (DB-HR) del Código Técnico de la Edificación (CTE) [1]. El objetivo de el CTE es limitar dentro de los edificios, y en condiciones normales de utilización, el riesgo de molestias o enfermedades que el ruido puede producir a los usuarios. Para satisfacer este objetivo, los edificios deben proyectarse, construirse y mantenerse de tal forma que sus elementos constructivos tengan unas características acústicas adecuadas para reducir la transmisión del ruido aéreo, del ruido de impactos y del ruido y vibraciones de las instalaciones y para limitar el ruido reverberante. Para su cumplimiento, los procedimientos definidos se pueden realizar mediante una solución simplificada, con tipologías tipo tanto para elementos separadores de diferentes unidades de uso, tabiquerías, forjados, etc. La segunda opción se basa en realizar un estudio detallado a partir de los métodos de predicción que actualmente se reconocen en las normas UNE EN 12354 [2].

Aunque las soluciones constructivas están definidas en el DB-HR, las condiciones específicas de, por ejemplo, elementos flexibles insertados en uniones para posibles reducciones de la transmisión del ruido por flancos, pueden mejorarse todavía. Este tipo de elementos, llevados al conjunto del edificio, pueden producir un aumento de la desviación de los cálculos previstos para el aislamiento de las particiones. Esta desviación, producida en muchos casos por la intrusión del ruido vía estructural, donde todavía las técnicas de medida y su análisis es muy lento, puede producir que un diseño desde el punto de vista de alguna de las predicciones asociadas a las UNE EN 12354 en sus partes 1 a 4 pueda estar en el límite de la tolerancia pedida en el DB-HR. Los valores de aislamiento acústico obtenidos en condiciones de laboratorio son diferentes de las medidas obtenidas en las edificaciones debido a las transmisiones por flancos, véase figura 1, a través de las soluciones constructivas.

El índice de reducción vibracional (K_{ij}) es uno de los parámetros que se utilizan para evaluar estas transmisiones indirectas. Este índice se puede obtener teóricamente según la norma UNE-EN 12354 a partir de fórmulas predictivas para un conjunto limitado de condiciones de unión, o a través de medidas de la diferencia de velocidades entre los elementos de una unión y su tiempo de reverberación estructural.

En este trabajo, se muestra un procedimiento para evaluar las transmisiones indirectas presentes en la edificación utilizando modelos a escala y mediante la técnica de medida sin contacto Nearfield Acoustical Holography (NAH) [3-7].

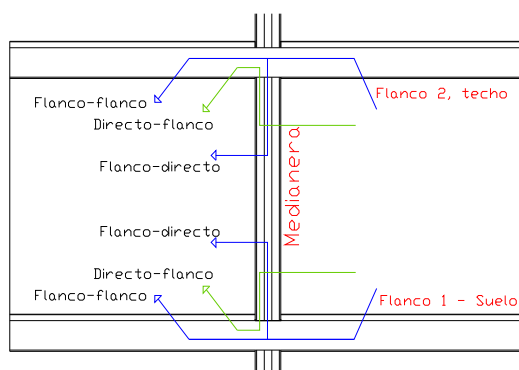


Figura 1: Transmisiones laterales por cada uno de los elementos constructivos que flanquean a la Medianera

La técnica NAH, Holografía Acústica de Campo Cercano, es un procedimiento para 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. 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. La holografía es única en técnicas de medidas acústicas precisamente porque extrae la máxima ventaja de esta simple ecuación. Las medidas en campo cercano permiten abarcar un ancho rango de frecuencias (resolución ilimitada) 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. En NAH, la grabación del campo de presión del sonido en una superficie 2-D no sólo se usa para determinar el campo de presiones en 3-D, sino también para calcular el campo del vector intensidad del sonido, la velocidad de la superficie y otros parámetros de una fuente vibrando. Con NAH también se puede observar su evolución en el tiempo, a partir de la reconstrucción del campo en tres dimensiones. Esta técnica interesa porque puede producir alta resolución en las imágenes de fuentes de sonido independientemente del tamaño de la longitud de onda.

En este trabajo se utiliza la técnica NAH para estudiar la influencia de las transmisiones laterales de una unión en T sometida a vibración, véase figura 2. A partir de los datos experimentales de presión y velocidad obtenidos con la técnica NAH se evalúa el índice de reducción vibracional. El interés de utilizar esta técnica reside en que es no intrusiva, y que además de obtener valores de K_{ij} , puede obtener imágenes en dos dimensiones del comportamiento acústico de la estructura y de su diferencia de velocidades en función de la frecuencia.

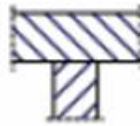


Figura 2: Unión en T

2 Introducción teórica

2.1 Índice de reducción vibracional

El índice de reducción vibracional 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 [8-11] :

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

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.

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

Para obtener los índices de reducción vibracional in situ hay que realizar medidas de diferencia de velocidad y tiempo de reverberación estructural in situ en función de la frecuencia. Estas magnitudes se obtienen a partir de medidas de aceleración realizadas con acelerómetro. 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.

c_0 es la velocidad del sonido en el aire, en metros por segundo.

Se puede determinar un índice de reducción vibracional global \bar{k}_{ij} como la media aritmética de los índices de reducción vibracional en el rango de frecuencias de 200 Hz a 1250 Hz (en bandas de tercio de octava) según la norma ISO 10848 [12]. Para obtener los índices de reducción vibracional in situ hay que realizar medidas de diferencia de velocidad y tiempo de reverberación estructural in situ en función de la frecuencia. Estas magnitudes se obtienen a partir de medidas de aceleración realizadas con acelerómetro.

2.2 Nearfield Acoustical Holography

A partir del teorema de Green, se puede derivar una integral que describe la presión acústica en cualquier lugar del espacio medio entre la fuente y un plano de medida. La presión compleja en cualquier punto en el espacio libre puede expresarse como una función de la presión compleja (\bar{p}) en el plano de la fuente z_s , donde $\bar{p}_s(x', y', z_s)$ es la distribución de presión compleja en z_s , y $\bar{G}'(x-x', y-y', z-z_s)$ es la derivada normal de la función de Green que satisface la condición límite Dirichlet homogénea en z_s .

$$\bar{p}(x, y, z) = - \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \bar{p}_s(x', y', z_s) \times \bar{G}'(x-x', y-y', z-z_s) dx' dy' \quad (3)$$

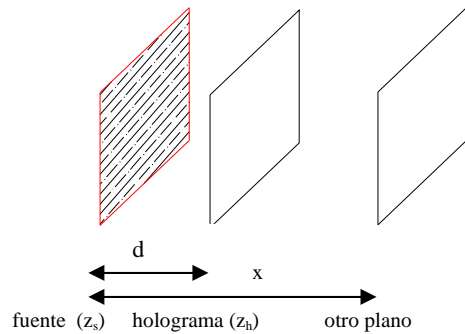


Figura 3- Tres planos de medida, plano fuente, holograma y plano lejano paralelo a la fuente

Si se considera que todos los puntos están localizados en el plano de medida, denominado holograma, z_h y como $z_h - z_s$ es una constante, la ecuación a describe una convolución 2D, entre la presión compleja en el plano z_s y la función de Green modificada, que se convierte en un producto simple en el espacio del número de onda:

$$\bar{p}_h(k_x, k_y, z_h) = \bar{p}_s(k_x, k_y, z_s) \cdot \bar{G}'(k_x, k_y, z_h - z_s) \quad (4)$$

donde $z_h - z_s$ se define como la distancia entre el plano de la fuente y el plano del holograma. Una vez conocida la presión en el espacio k , $\bar{p}(k_x, k_y, z_h)$, se puede determinar el vector velocidad de partícula aplicando la ecuación de Euler considerando campos acústicos armónicos en el tiempo y tomando la transformada inversa de Fourier:

3 Desarrollo

Se ha estudiado una unión en T como la de la figura 4 en un modelo a escala considerando madera en el suelo y doble madera en la medianera y posteriormente doble madera más lana, véase figuras 5 y 6. El estudio se ha centrado en evaluar, en primer lugar, si la técnica NAH ofrece buenos resultados para medir el índice de reducción vibracional. Para ello se han realizado las medidas también con acelerómetro y así se han podido comparar los resultados de ambas técnicas. En segundo lugar se ha estudiado el índice de reducción vibracional del flanco-directo $k_{\text{suelo-medianera}}$ de la unión en T con la técnica NAH en el caso de doble madera y en el caso de doble madera más una lana absorbente en medio. Se excitan los diferentes elementos con un shaker y se mide la presión acústica en un plano muy cercano a la superficie. El procedimiento de medida es similar al utilizado con acelerómetros exceptuando que en la técnica NAH no se miden aceleraciones sino presiones. El equipo a utilizar es un shaker, dos micrófonos y un analizador de frecuencias de dos canales. Si se dispone de un número mayor número de micrófonos el tiempo de medida se reduce. También se midió el tiempo de reverberación estructural mediante un martillo, un acelerómetro y un analizador de frecuencias con respuesta temporal. La superficie de medida ha sido de $0,41 \times 0,66 \text{ m}^2$, se mide la presión acústica en una rejilla de $6 \times 4 : 24$ puntos diferentes en ambas caras (Suelo y Medianera). Con estas condiciones

de medida la frecuencia máxima de estudio es de 4287 Hz. Se midió a una distancia de 6 cm de las superficies.

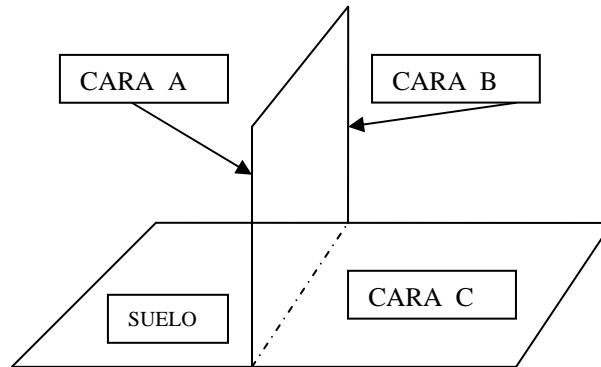


Fig 4. Esquema del montaje

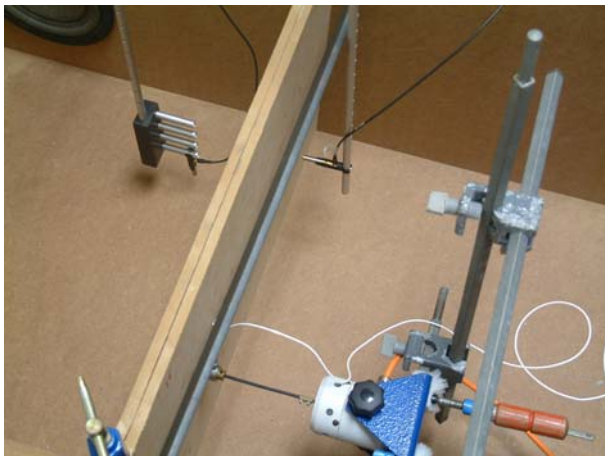


Figura 5. Configuración de medida en el modelo a escala con doble madera

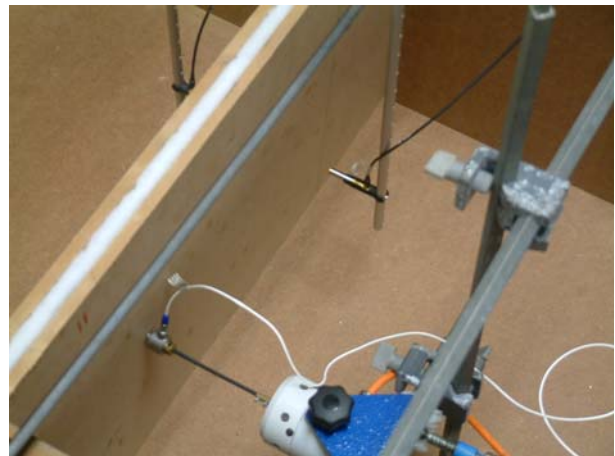


Figura 6. Configuración de medida en el modelo a escala con doble madera más lana absorbente

4 Resultados

En la figura 7 se presenta el índice de reducción vibracional en función de la frecuencia obtenido con la técnica NAH y con la técnica convencional con acelerómetro para la unión con doble madera. Se observa que la tendencia de 100 a 4000 Hz es similar aunque desplazada por lo que la técnica se puede utilizar para realizar comparaciones. En la figura 8 puede verse el índice de reducción vibracional en función de la frecuencia obtenido con la técnica NAH para la unión con doble madera y para la unión con doble madera+lana. Se observa que el caso de doble madera más lana presenta valores del índice de reducción vibracional mayores respecto al caso de la doble madera únicamente. En la figura 9 se ha ampliado la zona de 125 a 1250 Hz, el efecto de la lana absorbente es notable. El $k_{\text{suelo-medianera}}$ global de la unión con doble madera es de 22,6 y el de la unión con doble madera más lana es de 24,9, por lo

que la unión de doble madera más lana presenta un mayor aislamiento acústico por ese flanco frente a la unión con doble madera sólo.

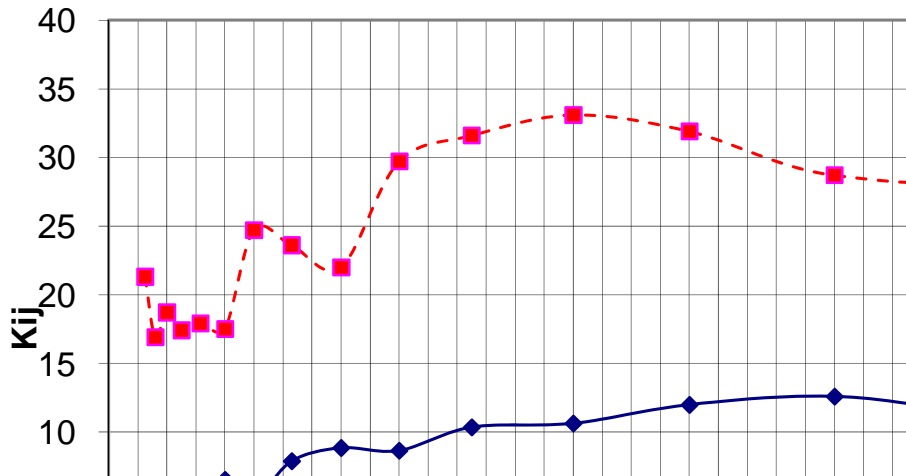


Figura 7. Índice de reducción vibracional en función de la frecuencia obtenido con NAH y con acelerómetro para la unión con doble madera.

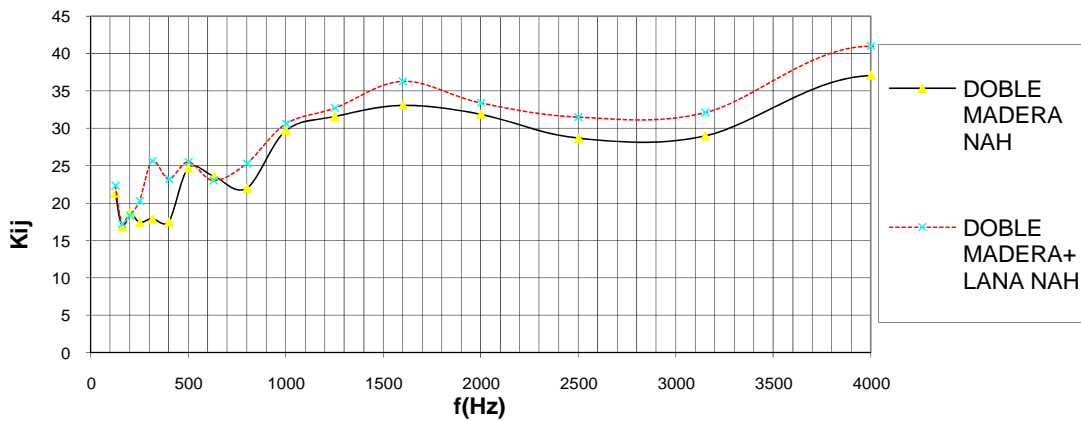


Figura 8. Índice de reducción vibracional en función de la frecuencia obtenido con NAH para la unión con doble madera y para la unión con doble madera+lana

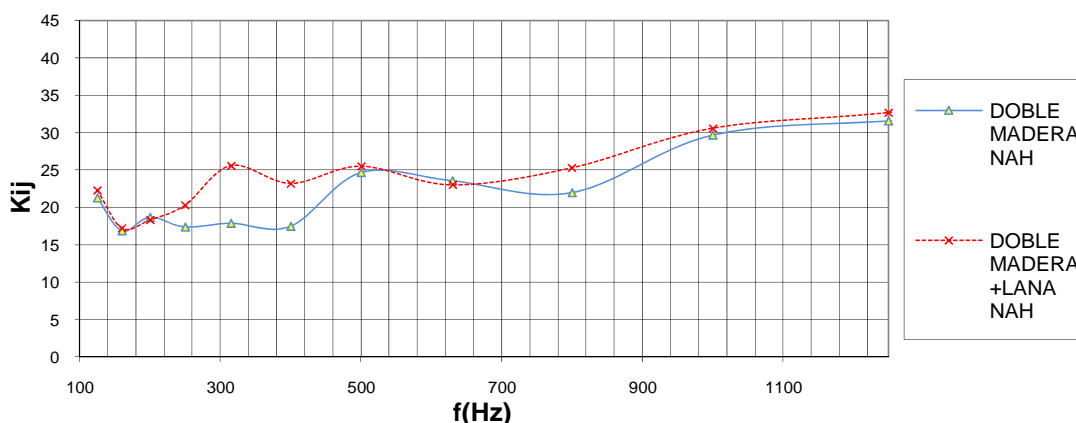


Figura 9. Índice de reducción vibracional en función de la frecuencia obtenido con NAH para la unión con doble madera y para la unión con doble madera+lana ampliado el rango de frecuencias de 100 a 1250 Hz

En las figuras 10 y 11 se puede ver el índice de reducción vibracional $K_{\text{suelo-medianera}}$ de la unión con doble madera en función del punto de medida para 500 Hz y 1 kHz, se observa que los valores oscilan en torno a un valor presentando algunos puntos con máximos. En las figuras 12 a 15 se presenta el índice de reducción vibracional $K_{\text{suelo-medianera}}$ de la unión con doble madera y de la unión con doble madera más lana a 800 Hz y 1250 Hz, se observa que en la unión de doble madera más lana el índice de reducción vibracional presenta valores mayores.

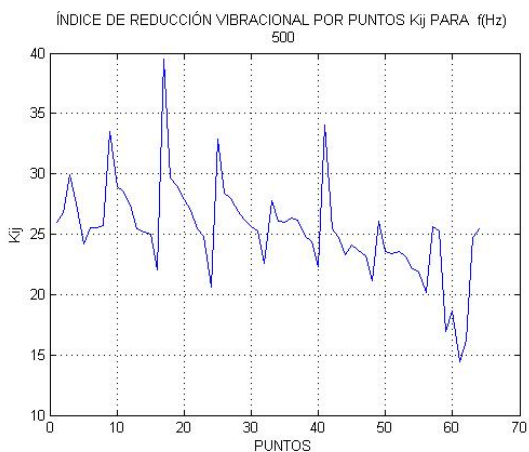


Figura 10. $K_{\text{suelo-medianera}}$ de la unión con doble madera a 500 Hz por puntos

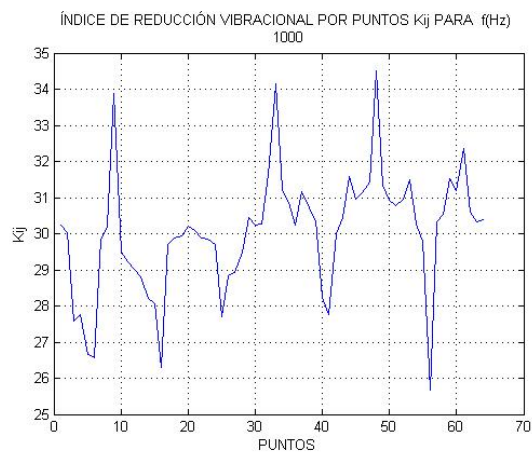


Figura 11. $K_{\text{suelo-medianera}}$ de la unión con doble madera a 1 kHz por puntos

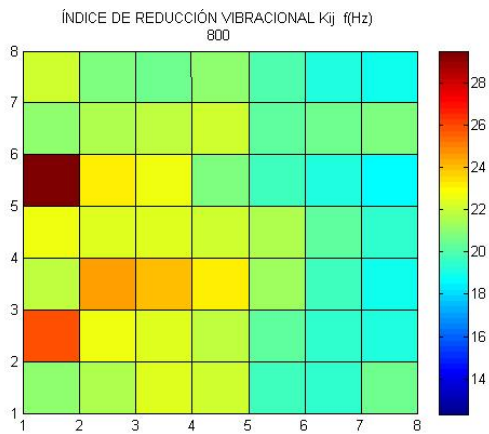


Figura 12. $K_{\text{suelo-medianera}}$ de la unión con doble madera a 800 Hz por puntos

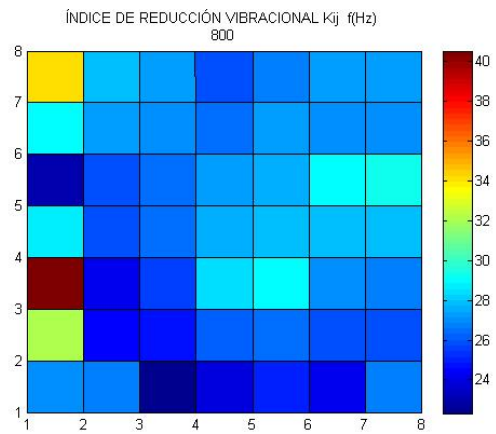


Figura 13. $K_{\text{suelo-medianera}}$ de la unión con doble madera más lana a 800 Hz por puntos

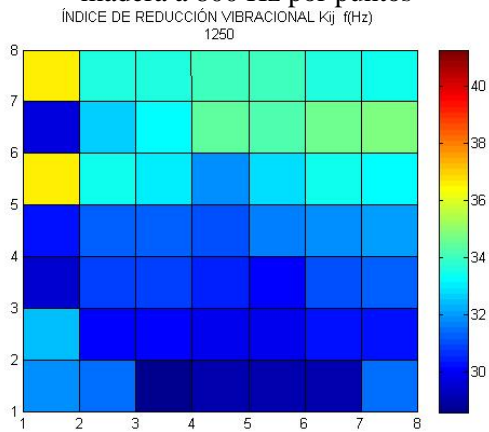


Figura 14. $K_{\text{suelo-medianera}}$ de la unión con doble madera a 1250 Hz por puntos

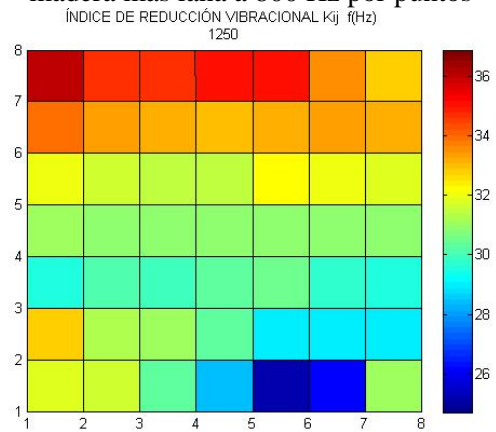


Figura 15. $K_{\text{suelo-medianera}}$ de la unión con doble madera más lana a 1250 Hz por puntos

5 Conclusiones

Se ha desarrollado un procedimiento de obtención del índice de reducción vibracional en una unión en T en un modelo a escala mediante la técnica de medida sin contacto NAH. Esta técnica es no intrusiva, y además se pueden obtener imágenes en dos dimensiones del comportamiento acústico de la estructura y de su diferencia de velocidades en función de la frecuencia.

La técnica NAH en el modelo a escala ofrece buenos resultados para medir el índice de reducción vibracional y realizar comparativas entre soluciones constructivas, ya que presentan una tendencia similar a los obtenidos con acelerómetro pero desplazados.

Se ha evaluado el índice de reducción vibracional del flanco-directo $k_{\text{suelo-medianera}}$ de la unión en T con la técnica NAH en el caso de doble madera y en el caso de doble madera más una lana absorbente en medio, se observa que en la unión de doble madera más lana el índice de reducción vibracional presenta valores mayores.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el ministerio de educación y Ciencia. DG RESEARCH (BIA2007-68098-CO2-01 y BIA2007-68098-CO2-02) y por la Conselleria de Empresa Universidad y Ciencia (APOSTD/2007/112)

Referencias

- [1] Documento Básico HR, de protección frente al ruido, del Código Técnico de la Edificación, Ministerio de Vivienda, Dirección General de arquitectura y Política de Vivienda
- [2] UNE-EN 12354-1 Acústica de la edificación. Estimación de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos.
- [3] Maynard, J. D.; Williams, E. G., and Y. Lee, Nearfield acoustic holography: I. Theory of generalized holography and the development of NAH, *Journal of the Acoustical Society of America*, 78 (4), Octubre 1985, 1395-1413.
- [4] Williams, E. G.; Dardy, H. D., Nearfield acoustical holography using an underwater, automated scanner, *Journal of the Acoustical Society of America*, 78(2), 1985, 789-798.
- [5] Williams, Earl G., *Fourier Acoustics Sound Radiation and Nearfield Acoustical Holography*, Ed. Academic Press, 1999
- [6] Burns, T. H. M., *Measurements and Visualization of Instantaneous Power Flow in Steady-state Acoustic Field*, UMI Dissertation Service, 1995.
- [7] Escuder, E.; Hernández, F.; Ardid, M.; Martínez, J. M.; Picó, R. y Redondo, J., Análisis de la influencia de las condiciones de sujeción en la radiación de una superficie de policarbonato, *Revista Acústica* Vol. 35, Nº 1 y 2, Trimestre 2004
- [8] ISO 10848-partes 1, 2 y 3. Laboratory measurement of the flanking transmission of airborne and impact sound between adjoining
- [9] Esteban, A.; Cortés, A.; Villot, M.; Martín, C. Vibration reduction index Kij in hollow constructions: application of the european standard EN12354 to the spanish constructions, *TecniAcústica 2003*, Bilbao
- [10] Alba, J.; Venero, J.; del Rey, R.; Ramis, J.; Escuder, E., Vibration reduction index of different junctions measured in situ, *ICA 19 th Internacional Congress on Acoustics*, Madrid, 2007
- [11] Martín, M. A; Tarrero, A.; Aparicio, A., González, J, Machimbarrena, M. Análisis de la transmisión sonora a través de una unión en cruz mediante el estudio de la amplitud de la aceleración. *TecniAcústica 2005*.
- [12] Schneider, M. Fischer, H-M. Flanking transmission of masonry building elements with flexible interlayer, *ForumAcusticum 2005*, Budapest.