

## DISTRIBUCIÓN DEL CAMPO ACÚSTICO EN UN RECINTO A BAJAS FRECUENCIAS

PACS: 43.20.Tb; 43.40.+s; 43.55.+p

Anthony, D. K.<sup>1</sup>; Fernández de las Heras, M. J.<sup>2</sup>; Simón Hidalgo, F.<sup>3</sup>

Instituto de Tecnologías Físicas y de la Información, CSIC

C. Serrano 144,

28006 Madrid.

Telf.: +34 915.618.806

email: <sup>1</sup>dkanthony@caend.upm-csic.es; <sup>2</sup>mjose@ia.cetef.csic.es; <sup>3</sup>f.simon@csic.es

### RESUMEN

La tendencia actual en la caracterización de las prestaciones acústicas de edificios es ampliar el rango espectral de análisis hacia las bajas frecuencias. La razón evidente de esta tendencia reside en la existencia de un número cada vez mayor de fuentes en ese rango espectral. Esta necesidad ha hecho que se tenga que plantear de manera formal la adecuación de los procedimientos de ensayo normalizados existentes a los métodos en los que se basan. A este respecto una limitación importante es el incumplimiento de la hipótesis de alta frecuencia y todas sus condiciones derivadas, como la difusión del campo en los recintos.

En este trabajo se realiza un estudio de la distribución del campo de presiones acústicas en un recinto, se valoran las dispersiones de valores y la repetibilidad esperable si se realizara una serie de ensayos. Por último también se valora las desviaciones en la estimación de la potencia incidente y transmitida que se producen.

### INTRODUCCIÓN

En la acústica de la edificación el estudio de las prestaciones de los edificios –tanto de su acústica interior como de la transmisión entre recintos– muestra cada vez más interés por su comportamiento en las bandas de baja frecuencia. La razón es el aumento de la cantidad y potencia de las fuentes capaces de emitir en ese rango espectral, aunque también la evolución de las características de los materiales utilizados en construcción que hace que los elementos constructivos actuales interactúen de una forma más fuerte con los campos vibroacústicos existentes en la edificación.

Estas circunstancias hacen que el impacto del ruido en la población haya aumentado en entornos que antes se consideraban tranquilos, como la propia vivienda o los centros de oficinas. En consecuencia el diseño acústico de este tipo de edificación empieza a tener en cuenta todos estos factores. También la elaboración de normas de medida evoluciona para tener en cuenta estas consideraciones. Por ello, las nuevas versiones de las normas para la evaluación del aislamiento acústico amplían el intervalo espectral considerado e incluyen las

bajas frecuencias por defecto, de forma que sean siempre consideradas, [1,2,3,4], así como las normas de medida correspondiente [5,6,7].

Si nos centramos en los procedimientos de medida [5,6,7] –mediante las que se obtienen los valores que luego se utilizan para determinar los valores globales correspondientes–, el aislamiento acústico se determina mediante el índice de reducción sonora,  $R$ , cuya expresión:

$$R = L1 - L2 + 10 \lg \frac{S}{A}$$

se obtiene de calcular el coeficiente de transmisión acústica a través de una placa que separa dos entornos acústicos difusos. Para que el campo acústico de un recinto sea difuso es necesario que (a) la longitud de onda,  $\lambda$ , de la señal sea mucho más pequeña de los tamaños característicos del recinto,  $L$ , y que (b) la distribución del campo en él sea homogéneo con una intensidad media nula en cada punto. El asegurar estas condiciones exige recintos con una distribución homogénea de la absorción, y cuyo volumen sea suficientemente alto comparado con las frecuencias inferiores de interés.

Cuando estas condiciones no se cumplen, esta metodología debería ser sustituida por otra. Para las condiciones que el problema impone las metodologías posibles están basadas en el análisis modal o en la teoría de campos. Ambos modelos formales permiten determinar con detalle los parámetros acústicos de interés, sin embargo dada la naturaleza del problema los procedimientos que emanan de ellos no son fácilmente generalizables lo que entra en conflicto con la forma de trabajar y las necesidades que tiene sobre todo la administración, pero también los gabinetes de consultores acústicos. El utilizar de estos métodos obligaría a estudiar cada caso de forma individual, lo que impediría dictar exigencias generales y a estudiar también de forma individual cada reforma que se hiciera en cualquier recinto. Por ello se intenta mantener la metodología individual modificando sólo aquellos elementos que más distorsionan los resultados, normalmente produciendo grandes distorsiones.

Dado que la segunda condición (b) es relativa e involucra a  $\lambda$  y  $L$  existen dos formas de garantizar su cumplimiento, a pesar de ello cuando el volumen –determinado por las necesidades contractivas– es obligatoriamente pequeño –inferior a  $50 \text{ m}^3$ – y se necesita trabajar en baja frecuencia, este tipo de método no es el más adecuado ya que el incumplimiento de sus requisitos de funcionamiento hace que la incertidumbre de los resultados aumente mucho. Este problema ya ha sido ampliamente estudiado (véanse por ejemplo ref. [8, 9, 10]). En general, el objetivo es realizar el mínimo número posible de correcciones en el procedimiento para que la metodología siga siendo útil.

De esta forma, la corriente actual en la mejora de procedimientos busca la modificación de los procedimientos para que los valores obtenidos a través de los puntos de medida sean lo más cercanos posible al nivel de presión media en el recinto, sabiendo que su distribución no es homogénea.

En este trabajo, se investiga las repercusiones de la extensión de los procedimientos de medida del aislamiento acústico hacia la baja frecuencia en los resultados, así como las alternativas propuestas en los documentos normativos en desarrollo actualmente. Para ello se ha implementado un modelo de elementos finitos que se utiliza como base para la caracterización precisa del caso y para la simulación de series de ensayos de aislamientos que permitan valorar la repetibilidad de los procedimientos y las tendencias de los resultados.

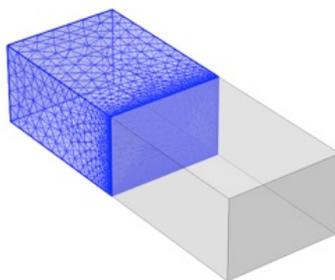
## DESCRIPCIÓN DEL MODELO NUMÉRICO

Para la simulación de los ensayos se creó un modelo FEM (COMSOL Multiphysics®) de las cámaras de transmisión que posee el ITEFI-CSIC, éstas constan de dos recintos de

dimensiones  $4.6 \times 6.4 \times 3.16 \text{ m}^3$  y  $4.6 \times 6.31 \times 3.16 \text{ m}^3$  separados por una medianera, que en la simulación será de ladrillo hueco doble.

La pared medianera fue simulada como un plano delgado de 90 mm de espesor, un módulo elástico de 17 GPa, densidad de  $2 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$ , coeficiente de Poisson de 0.3 y un factor de pérdidas isotrópico de 0.02. El aire del recinto se supuso que proveía de una atenuación de  $4 \times 10^{-4} \text{ dB m}^{-1}$ . Se utilizaron también dos posiciones de fuente, una situada en las proximidades de una esquina y la otra en una posición más centrada.

En cada recinto se generó también una malla de 64 puntos de medida distribuidos de forma uniforme por todo el recinto y de forma que cumplieran con las condiciones impuestas en los procedimientos de medida [5], además de otros 8 puntos de medida situados en los rincones de cada recinto de acuerdo a lo indicado en [7]. El modelo fue resuelto en el intervalo de frecuencias (17.8, 552.9) Hz. La pared se malló con al menos 12 elementos por longitud de onda y el recinto con al menos 10. (véase la figura 1)



**Figura1.** Esquema los recintos simulados y el mallado realizado en uno de ellos

## RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

### Descripción del Campo Acústico

Con los recintos modelados se simula el campo en ellos para las dos posiciones de fuente –el emisor o recinto 1– el otro recinto será considerado como el receptor.

En los recintos se obtiene dos tipos de resultados, los valores medios del nivel en todo el recinto mediante la malla utilizada para el cálculo FEM y los valores de presión acústica en 64 puntos de cada recinto distribuidos uniformemente. Con los primeros resultados se estiman los valores de referencia del campo en cada sala, mientras que los segundos son utilizados para la simulación de series de ensayos con lo que obtener estimación de los valores de repetibilidad de los métodos de medida.

También se obtienen los valores de vibración en la pared medianera y los niveles de presión en puntos próximos a los rincones para poder valorar el procedimiento citado en [7].

Dado que los recintos poseen baja densidad modal en el intervalo espectral de interés su respuesta presenta picos aislados de alta presión unidos por zonas de baja presión acústica y de evolución suave. La figura 2 muestra los niveles medios del recinto emisor en una de las posiciones de emisión en la que se puede apreciar lo aquí descrito.

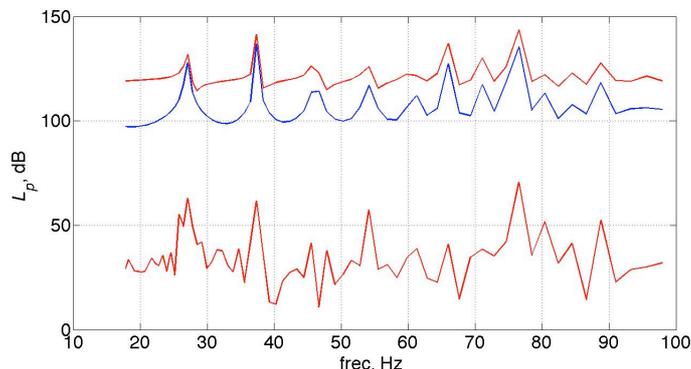


Figura 2. Presión media del recinto 1 y su rango de variación.

Los picos de presión presentes en la figura 2 se corresponden con frecuencias de resonancia del recinto y por tanto están ancladas espacialmente. En la figura 3 se muestra la distribución espacial de presión a 74.7 Hz en la que se aprecia la presencia de un modo tangencial. La presencia de estas resonancias y que la presión acústica se acumule alrededor de donde están localizados, explica el rango tan grande de presiones que existen en la sala. La consecuencia es que la distribución espacial de presiones no es homogénea y por tanto –si se insiste en ello– la determinación del valor medio de presiones en este tipo de recintos depende mucho de la posición de los puntos de medida.

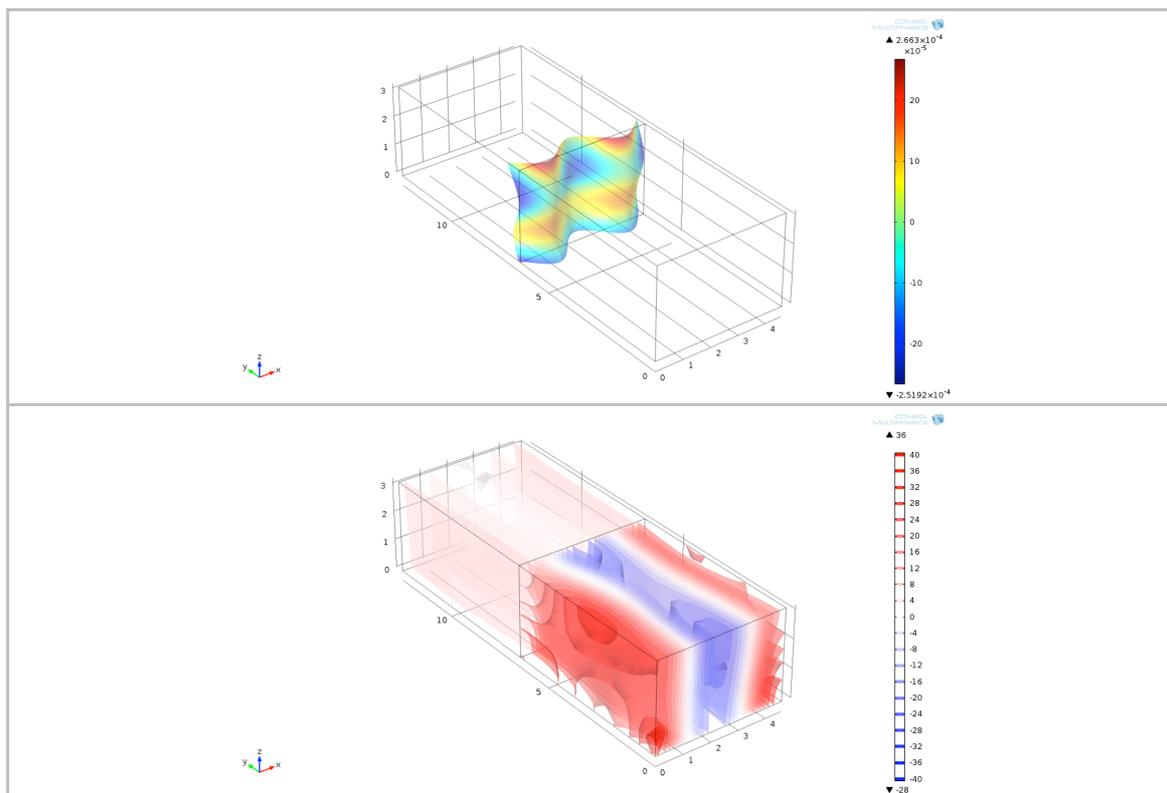
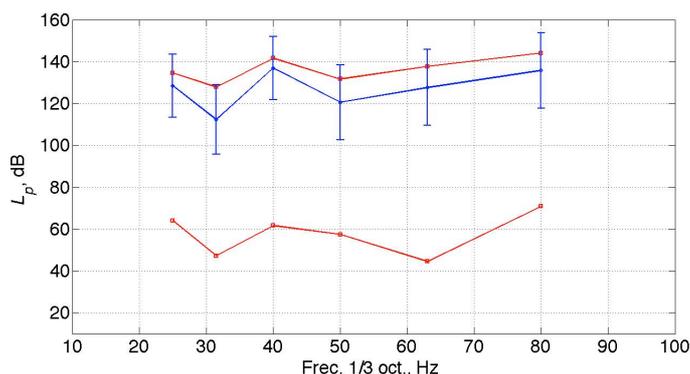


Figura 3. Distribución de presiones en los recintos y velocidad de vibración en la pared medianera a la frecuencia de 74.7 Hz, donde aparece un modo tangencial del recinto.

Naturalmente, si la respuesta de la sala se expresa en banda ancha estas oscilaciones de nivel y los picos disminuyen (figura 4). Aún así el rango de posibles valores de presión sigue siendo muy grande, incluso el intervalo definido por  $1 \sigma$  alrededor de los valores medios tiene una amplitud de unos 20 dB.

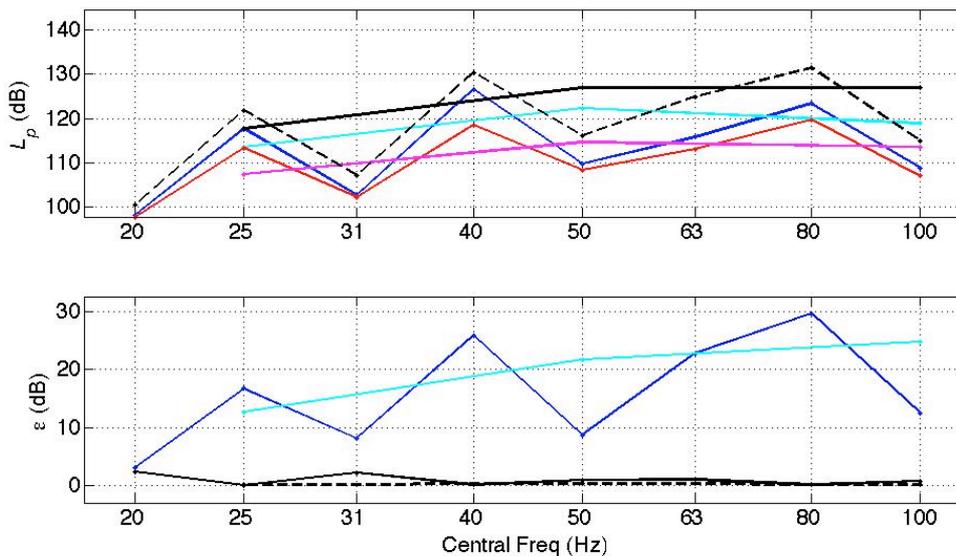
### Variabilidad de los Resultados de Ensayo

Se simularon 100 ensayos de medida de nivel de presión sonora en cada recinto de acuerdo a las exigencias de [5]. Además, para cada ensayos simulado se determinó también el nivel medio en los rincones de cada recinto que cumplían con las condiciones de [7]. En el recinto 1 se situaron las fuentes acústicas y el recinto 2 actuó como receptor. Las figuras 5 y 6 muestran la media de los niveles acústicos obtenidos en los 100 ensayos y la dispersión del conjunto, expresada en dB con un factor de cobertura de  $k = 1$ . Se observa como los valores de nivel de presión son mayores en las bandas en las que existen modos fuertes (25 Hz, 40 Hz y 80 Hz).



**Figura 4.** Presión cuadrática media del recinto 1 y su rango de variación, por bandas de tercio de octava.

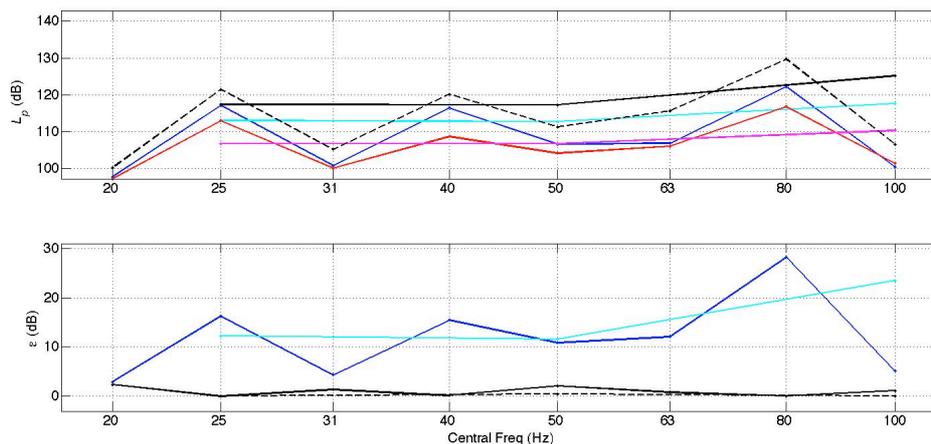
También la dispersión es mayor en las bandas en las que exista algún modo fuerte, como son las anteriores. Sin embargo en las bandas en que no existen modos fuertes o su densidad es grande la dispersión de los resultados se reduce. Los valores de dispersión son distintos en ambos recintos, en el recinto emisor las variaciones de nivel se mueven en torno a los 15 dB, pudiendo alcanzar valores de 25 dB independientemente de la fuente (figuras 5 y 6), mientras que en el recinto receptor la dispersión no toma valores superiores a 12 dB.



**Figura 5.** Promedio de los niveles de presión de 100 ensayos para la posición de fuente 1. Clave de colores: rojo, nivel medio en todo el recinto; azul, promedio de los niveles de los 100 ensayos; negro, nivel medio en los rincones. Los tonos claros se corresponden con los valores por octavas.

Con respecto a los valores de nivel medios en los rincones, éstos son claramente superiores al resto de valores medios obtenidos y su variabilidad muy pequeña, dado que el volumen en el que se pueden instalar los puntos de medida son pocos y muy cercanos.

Por último se observa que el valor de la media de los ensayos simulados es, en ambas salas, superior al valor medio del campo en la totalidad del recinto.



**Figura 6.** Promedio de los niveles de presión de 100 ensayos para la posición de fuente 2. Clave de colores: azul, promedio de los niveles de los 100 ensayos; negro, nivel medio en los rincones. Los tonos claros se corresponden con los valores por octavas.

## CONCLUSIONES

En este trabajo se ha estudiado la variabilidad del campo de presiones en baja frecuencia en dos recintos conectados mediante una pared medianera. Se observa que su comportamiento es altamente modal, como era de esperar. Como consecuencia existen grandes variaciones de presión dentro de él y la respuesta en cada banda de frecuencia está dominada por los modos que están incluidos en ella. Las presiones y sus dispersiones dependen fuertemente de la posición de estos modos, siendo ambas mayores en su presencia.

Por otro lado los niveles de presión en los rincones de los recintos toman valores próximos –si no iguales– a los máximos al recinto, por lo que, además presentan una baja dispersión entre ellos.

Existen una gran diferencia entre la dispersión de ambos recintos. El recinto receptor presenta la misma dependencia de la posición modal pero la dispersión de niveles es claramente menor. La causa que puede explicar este hecho es la diferente clase de excitación. En el recinto emisor la fuente es puntual y de banda ancha, por lo que la respuesta de la sala puede ser filtrada espacialmente debido a la posición de la fuente. En el recinto receptor la excitación penetra a través de la pared medianera. La respuesta de la pared filtra la señal dando prioridad a las frecuencias que coinciden con sus modos, por otro lado la inyección de potencia es extensa por lo que el reparto de energía acústica en el recinto no es tan crítica respecto de la posición de la fuente.

## REFERENCIAS

1. ISO 717-1:2013. "Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Airborne sound insulation". 2013
2. ISO/NP 16717-1. Acoustics – Evaluation of sound insulation spectra by single-numbers – Part 1: Airborne sound insulation. 2012.
3. ISO/WD 16717-2. Acoustics – Evaluation of sound insulation spectra by single-numbers – Part 2: Impact sound insulation. 2012.
4. ISO 717-2:2013. Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 2: Impact sound insulation. 2013
5. ISO 140-4:1998. Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 4: Field measurements of airborne sound insulation between rooms. 1998.
6. ISO 10140:2010. "Acoustics – Laboratory measurement of sound insulation of building elements – Parts 1 to 5". 2010.
7. ISO/DIS 16283-1. "Acoustics – Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Airborne sound insulation". 2012
8. C. Hopkins and P. Turner. "Field measurement of airborne sound insulation between rooms with non-diffuse sound fields at low frequencies". *Applied Acoustics* 66. Pág. 1339 – 1382. 2005..
9. C. Simmons. "Measurement of sound pressure levels at low frequencies in rooms. Comparison of available methods and standards with respect to microphone positions". *Acta Acustica united with Acustica* 85. Pág. 88–100. 1999.
10. W. Kropp, A. Pietrzyk, and T. Kihlman. "On the meaning of the sound reduction index at low frequencies". *Acta Acustica* 2. Pág. 379–392. 1994.