



FIA 2018

**XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre**

PANTALLA ACÚSTICA ABSORBENTE MEDIANTE INTERFERENCIA DESTRUCTIVA PASIVA

PACS: 43.50.-x

Rubio Constanza, Castiñeira-Ibáñez Sergio, Uris Antonio

Centro de Tecnologías Físicas: Acústica, Materiales y Astrofísica, Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n, 46022 València, Spain EU

E-Mail: crubiom@fis.upv.es, sercasib@upvnet.upv.es, auris@fis.upv.es

Palabras Clave: Pantallas acústicas, ruido, resonancia, absorción, interferencia destructiva pasiva

ABSTRACT

Environmental noise pollution is a problem of great magnitude. For this reason, the study of noise control in its transmission phase is of great interest to the scientific community. One way to fight against noise is by means of acoustic screens. Its implementation with absorbent materials has been extended, playing these materials together with its geometry a very important role in the design of the screens. Based on the principle of passive destructive interference (IDP), in this work an acoustic screen is presented, designed with absorbent elements. This choice is due to the intimate relationship that exists between the geometry and the acoustic performance that these elements present.

RESUMEN

La contaminación acústica ambiental es un problema de gran magnitud. Por esta razón, el estudio del control del ruido en su fase de transmisión es de gran interés para la comunidad científica. Una forma de luchar contra el ruido es a través de pantallas acústicas. Su implementación con materiales absorbentes se ha ampliado, jugando estos materiales junto con su geometría un papel muy importante en el diseño de las pantallas. Basado en el principio de la interferencia destructiva pasiva (IDP), en este trabajo se presenta una pantalla acústica, diseñada con elementos absorbentes. Esta elección se debe a la relación íntima que existe entre la geometría y el rendimiento acústico que presentan estos elementos.

INTRODUCCION

El ruido es una forma más de contaminación ambiental, y como tal debe ser reducida ya que afecta a la calidad de vida de los ciudadanos. El control del ruido permite obtener considerables beneficios económicos, mejoras en la salud pública y sobretodo, en el bienestar de la población.



FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18- 24 al 26 de octubre

En aquellos casos en los que no es posible reducir los niveles de emisión de ruido generado por la fuente o su aplicación resulta excesivamente cara, lo más apropiado es reducir los niveles de ruido ambiental en el medio de transmisión mediante el uso de pantallas acústicas [1].

Una pantalla acústica clásica básicamente es un material continuo rígido que está interpuesto entre la fuente y el receptor de ruido [2]. La reducción del nivel de ruido que se consigue, que habitualmente se denomina atenuación, es debida fundamentalmente a la Ley de Masas. Los mecanismos de control de ruido que incorporan este tipo de pantallas son la reflexión, la absorción y la resonancia.

En los años 90, se inicia una línea de investigación de la atenuación del ruido basada en cristales de sonido. Esta nueva concepción de pantallas acústicas abiertas, utiliza un nuevo mecanismo de control del ruido, denominado dispersión múltiple. En varios estudios, se ha demostrado el efecto sobre la atenuación de ruido de este tipo de estructuras periódicas, con diferentes configuraciones y materiales [3]. El diseño de pantallas acústicas basadas en cristales de sonido con elementos dispersores cilíndricos, ha sido objeto de diferentes estudios y trabajos [4], [5]. Las características de los elementos dispersores utilizados en estas pantallas permiten que presenten el fenómeno de la dispersión múltiple, incorporan otros mecanismos de control del ruido como la absorción y la resonancia. No sólo la características de los dispersores influyen en la capacidad de atenuación de estas pantallas, tan importante como éstas es cómo se distribuyen los dispersores ya que se ha visto que la disposición de los dispersores siguiendo geometrías fractales, ha conseguido mejorar el rendimiento de las mismas [5].

Por otro lado, a principios de este siglo se demuestra tanto teórica como experimentalmente [6] que las placas perforadas sumergidas en agua y con orificios cuyo tamaño es menor que la longitud de onda, (subwavelength) y distribuidos periódicamente, presentan a frecuencias ultrasónicas, una atenuación de sonido superior a la prevista por la Ley de Masas. Esta atenuación se consigue gracias a las denominadas anomalías de Wood [7]. Posteriormente esta idea se traslada a la acústica aérea, desmostrándose [8] que una estructura periódica formada por dispersores rectangulares separados entre sí por una distancia menor que la longitud de onda puede actuar como pantalla acústica abierta. Esta pantalla, además de presentar una gran facilidad en su construcción, es sintonizable con la frecuencia. Así mismo, recientemente, a estas pantallas se les ha incorporado de otros mecanismos de control de ruido como son la resonancia y la absorción [9], [10].

Con todo lo anterior, y siguiendo con esta tipología de pantallas abiertas formadas por dispersores con separación subsónica, en este trabajo se añade un nuevo mecanismo de control de ruido, denominado interferencia destructiva pasiva (IDP). Esta técnica consiste básicamente en hacer que por un camino de aire con una cierta longitud y que tenga dos entradas, las ondas de sonido que provienen de la misma fuente y penetran por ambos lados se encuentren en el interior con una diferencia de fase de 180° cancelándose mutuamente por interferencia destructiva. La técnica es pasiva, en el sentido de que no precisa de componentes activos (altavoces por ejemplo). La frecuencia donde se produce la mayor absorción se relaciona con la diferencia de camino de aire que han seguido las ondas [11], y viene dada por la ecuación:

$$f = \frac{(2n-1)c}{2\Delta L} \quad (1)$$

donde n es un número entero con valor $n = 1,2,3, \dots$ c es la velocidad del sonido en aire (m/s), ΔL la diferencia de camino (m) que han seguido las dos ondas y f la frecuencia (Hz) donde se produce la cancelación.

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

Como se puede observar en la Figura 1, la onda sonora penetra al elemento dispersor por dos caminos. La diferencia de fase que se produce por el hecho de que en el interior no recorren el mismo camino (diferencia de camino ΔL) produce la cancelación del sonido y por lo tanto se tendrá atenuación acústica para esa frecuencia detrás de la pantalla.

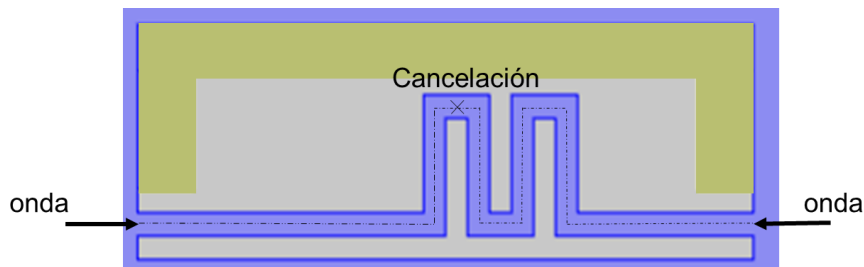


Figura 1: Dispersor rígido donde se muestra el diseño para conseguir la cancelación por interferencia destructiva pasiva.

En la siguiente sección se muestra el modelo numérico utilizado para analizar la pantalla acústica absorbente que incorpora el fenómeno de IDP. Para ello, se ha utilizado el Método de los Elementos Finitos (FEM), en concreto el programa comercial Comsol Multiphysics. Este método resuelve, de manera sencilla, formas geométricas complejas que incorporan múltiples fenómenos acústicos.

MODELO NUMERICO

Una pantalla acústica abierta formada por dispersores con separación subsónica puede definirse como un medio heterogéneo formado por una serie periódica de dispersores acústicos sumergidos en aire, siendo la distancia entre dos dispersores próximos, menor que la longitud de onda. Para que exista contraste entre los dispersores y el medio que los rodea (aire), las características acústicas de los dispersores, densidad y velocidad son muy diferentes.

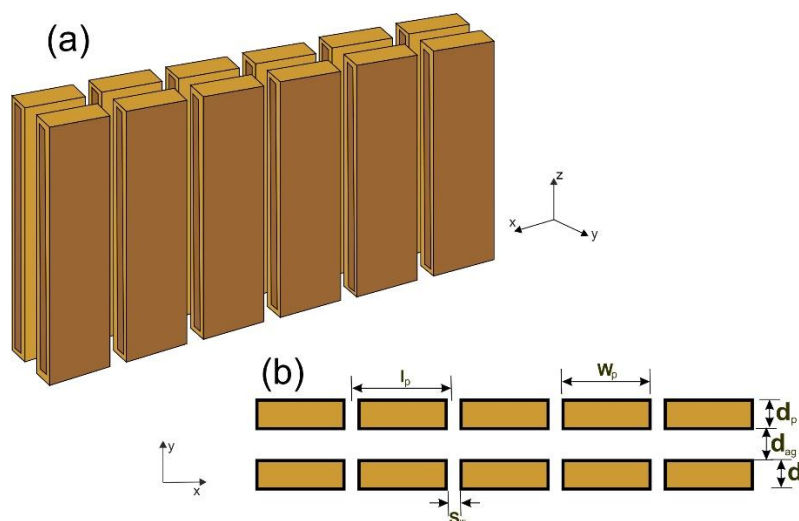


Figura 2: (a) Pantalla acústica abierta formada por dispersores con separación subsónica en 3D. (b) Vista desde arriba de la pantalla (2D). Se muestran los parámetros característicos de la misma.

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

En la Figura 2 se muestran los parámetros característicos de la pantalla. Así W_p representa la anchura de los dispersores rectangulares y d_p su profundidad. El parámetro de red viene representado por l_p , mientras la anchura de las ranuras se representa por S_w . La separación entre las filas de los dispersores d_{ag} se denomina profundidad del hueco de aire entre filas [9], [10].

Como se ha comentado en la sección anterior, en este trabajo se ha utilizado FEM, en concreto el programa comercial Comsol Multiphysics. Para resolver el problema es necesario definir la geometría que se está considerando, implementar las condiciones de contorno y discretizar el dominio de resolución. La geometría mostrada en la Figura 3 ha sido definida para resolver el problema numéricamente. El dominio donde se obtiene la solución está formado por 2 dispersores rectangulares de anchura $W_p = 0.28\text{m}$ y profundidad $d_p = 0.1\text{m}$, separados por una profundidad de hueco de aire entre filas, $d_{ag} = 0.1\text{m}$, y confinado entre dos paredes, dotadas de condiciones periódicas, separadas por el parámetro de red, $l_p = 0.35\text{m}$, siendo esta paralelas a la dirección de propagación de la onda plana incidente (OPI), que viaja de izquierda a derecha. Con estas condiciones, las ondas dispersas en los bloques no se reflejan en las paredes y por lo tanto reproducen el efecto de un semiinfinito 2D formado por 2 filas de dispersores rectangulares dispuestos en una matriz rectangular. Esta geometría permite estudio de matrices semiinfinitas utilizando un volumen reducido de dominio numérico y por lo tanto disminuyendo el costo computacional. Para que no exista onda reflejada a la salida del medio, se ha utilizado una capa perfectamente adaptada (PML) [12], siendo esta una buena alternativa para simular las condiciones de radiación de Sommerfeld en el resolución numérica de problemas de dispersión. Dado que parte de los dispersores se consideran rígidos se considera en sus superficies la condición límite de Neumann y en aquellas partes que se ha utilizado absorbente se simulan mediante el modelo de Delany-Bazley [13], utilizando material absorbente, de resistencia al flujo $R = 23.000\text{ Pa}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-2}$.

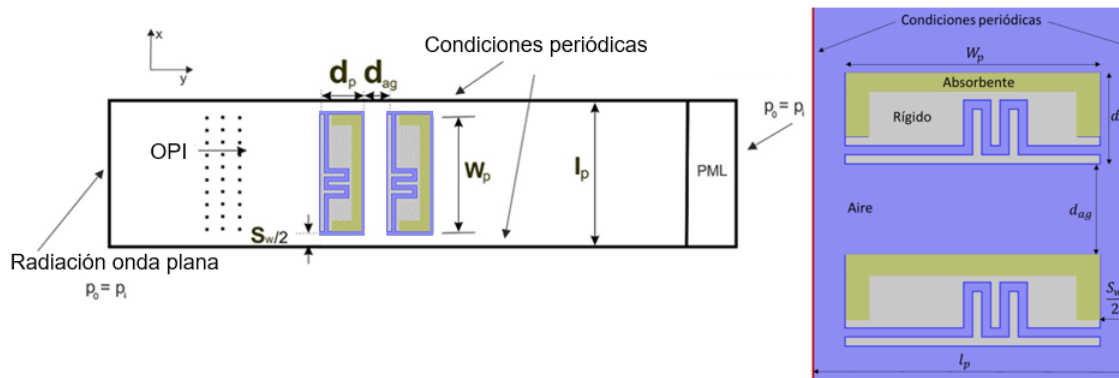


Figura 3: Modelo 2D de la pantalla acústica. A la derecha se muestra en detalle la composición de los dispersores.

El modelo numérico resuelve en el dominio de la frecuencia la ecuación de ondas,

$$\nabla \left(\frac{1}{\rho} \nabla p \right) + \frac{\omega^2}{c^2 \rho} p = 0 \quad (2)$$

ecuación en derivadas parciales, y se estudia la propagación de la onda plana a lo largo de la dirección Y. Para discretizar el dominio, se utiliza una malla triangular, dado que la geometría es relativamente simple y el número de grados de libertad se calcula a partir del número de nudos de la rejilla de malla y las ecuaciones. El tamaño máximo de la malla es $c / 8f_{max}$. Con este

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

tamaño se evitan errores numéricos en los cálculos de tal manera que se cumpla el teorema de Nyquist-Shanon.

Los resultados obtenidos con el modelo numérico se muestran en forma de espectro de atenuación de ruido obtenido en un punto detrás de la pantalla. Para ello, se evalúa la diferencia entre la presión sonora directa (P_d) e interferida (P_i) por medio del parámetro pérdida por inserción (Atenuación Acústica, IL (dB)) en ese punto, mediante la expresión:

$$IL = 20 \log_{10} \left| \frac{P_d}{P_i} \right| \quad (3)$$

RESULTADOS

Como punto de partida, se muestra el espectro de atenuación acústica (dB) obtenido para el caso de la pantalla acústica abierta con dispersores rectangulares rígidos, para el rango de frecuencias de 100 a 2000 Hz, Figura 4. Se puede observar que el espectro de atenuación acústica obtenido a 1 metro de distancia de la pantalla, sigue un patrón de filtro acústico típico relacionado con cambios en la sección. Así mismo entorno a 1000 Hz se observa la anomalía de Wood. Para tener una referencia de la atenuación acústica obtenida con esta pantalla, se muestra en trazo discontinuo rojo, el resultado de la predicción de Maekawa's. En este rango de frecuencias, se observa que la pantalla abierta trabaja bien hasta 800 Hz.

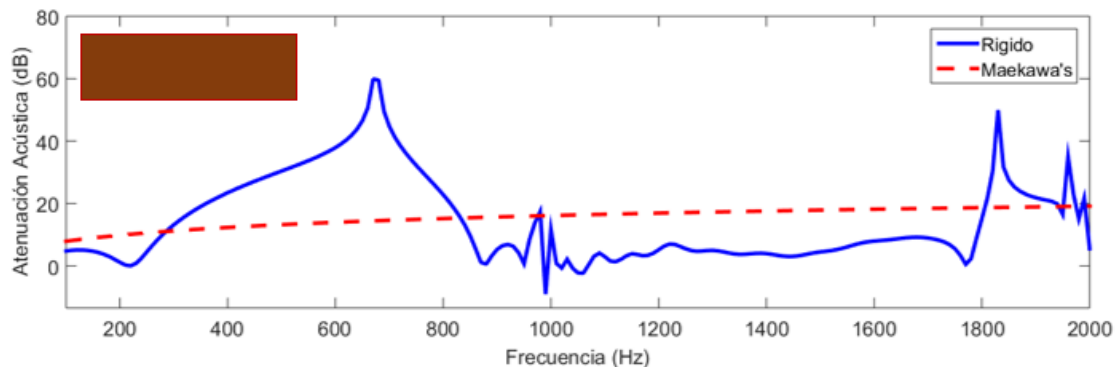


Figura 4: En línea azul: espectro de atenuación acústica para la pantalla abierta formada por dispersores rectangulares calculado a un metro de distancia detrás de la pantalla y en el rango de 100 a 2000 Hz. En línea discontinua roja: espectro de atenuación acústica obtenido mediante la predicción de Maekawa's.

Con la finalidad de mejorar la atenuación acústica en el rango de frecuencias de 800 a 1800 Hz, se ha diseñado el dispersor rectangular utilizando la técnica IDP. Se ha diseñado el conducto para que se produzca el fenómeno alrededor de 1100 Hz. Como se puede observar en la Figura 5, con esta técnica se introduce un pico de atenuación considerable. Lógicamente, y según la expresión (1), aparecen otros picos de atenuación. En este caso 360 Hz, 1100 Hz, etc.

Para que el nivel de atenuación alrededor de esta frecuencia se incremente, se ha introducido una fina capa de material absorbente de espesor 0.025 m alrededor de una parte de los dispersores (ver detalle de la Figura 5, color verdoso). Se puede observar en la Figura 5, como

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

el efecto de filtro acústico y anomalía de Wood no desaparecen, mientras que a partir de 400 Hz el material absorbente hace que en el espectro, mejore la atenuación acústica.

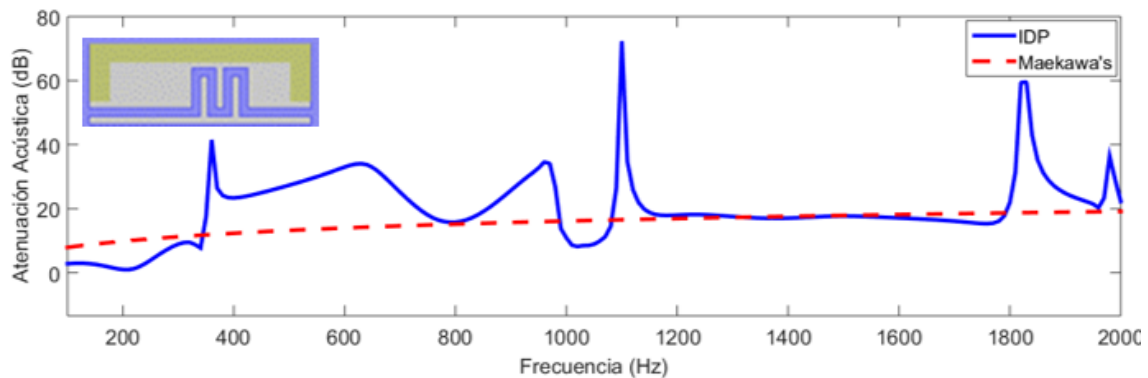


Figura 5: En línea azul: espectro de atenuación acústica para la pantalla abierta formada por dispersores rectangulares diseñados con la técnica IDP y material absorbente, calculado a un metro de distancia detrás de la pantalla y en el rango de 100 a 2000 Hz. En línea discontinua roja: espectro de atenuación acústica obtenido mediante la predicción de Maekawa's.

Con el fin de contrastar las mejoras obtenidas, en la Figura 6 se muestran los resultados de los tres espectros de atenuación acústica. Se observa como se puede llevar mediante técnicas sencillas de diseño, a que una pantalla original formada por dispersores totalmente rígidos produzca valores de atenuación comparables a los que presenta una pantalla tradicional. Esto es tan solo una muestra de como utilizando diferentes técnicas de diseño, se abre la posibilidad de seguir añadiendo mecanismos de atenuación de ruido a este tipo de pantallas abiertas, buscando soluciones alternativas a las pantallas tradicionales. En este caso, se ha utilizado la técnica IDP, que junto a una pequeña cantidad de material absorbente dispuesto estratégicamente, produce resultados prometedores.

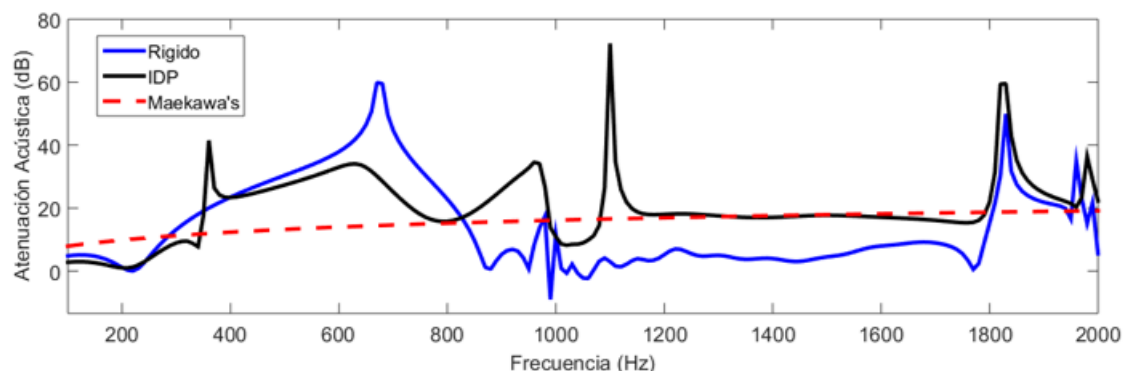


Figura 6: En línea azul: espectro de atenuación acústica para la pantalla abierta formada por dispersores rectangulares, en línea negra: espectro de atenuación acústica para la pantalla abierta formada por dispersores rectangulares diseñados con la técnica IDP y material absorbente. Ambos calculados a un metro de distancia detrás de la pantalla y en el rango de 100 a 2000 Hz. En línea discontinua roja: espectro de atenuación acústica obtenido mediante la predicción de Maekawa's.



FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

CONCLUSIONES

Como ya se comentó en trabajos previos realizados por este grupo de investigación sobre pantalla abiertas, con este tipo de diseños se abre la posibilidad de seguir añadiendo mecanismos de atenuación de ruido buscando soluciones alternativas a las pantallas tradicionales. Las pantallas acústicas abiertas, pues, pueden presentar niveles de atenuación comparables a las tradicionales, presentado ciertas ventajas frente a estas como son: construcción bajo demanda, seleccionando las frecuencias que quieren ser atenuadas. Así, en este trabajo la técnica IDP ha situado la frecuencia en 1100 Hz, pero esta puede ser elegida por el diseñador, e incluso introducir más de una. Estas pantallas pueden ser muy útiles para ser instaladas en plantas técnicas, donde se podría obviar la difracción por sus bordes. Por otro lado, estas pantallas son permeables al agua y al aire, portables y estéticas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Harris CM. Handbook of acoustical measurements and noise control. 3rd ed. McGraw-Hill, Inc. (1991)
- [2] Ktzen B., English C., Environmental noise barriers, E & FN SPON; London (1999)
- [3] Rubio, C., Caballero, D., Sánchez-Pérez, J.V., Martínez-Sala, R., Sánchez-Dehesa, J., Meseguer, F., Cervera, F., Journal of Lightwave Technology, **17** (11), 2202-2207 (1999)
- [4] Sánchez-Pérez, J.V., Rubio, C., Martínez-Sala, R., Sánchez-Grandia, R., Gómez, V., Applied Physics Letters, **81**, 5240-5242 (2002)
- [5] Castiñeira-Ibáñez, S., Rubio, C., Romero-García, V., Sánchez-Pérez, J.V., García-Raffi, L.M., Archives of Acoustics, **37**(4), 455–462 (2012)
- [6] Estrada, H., Candelas, P., Uris, A., Belmar, F., García de Abajo, F.J., Meseguer, F. Physical Review Letters, **101**, 084302 (2008)
- [7] Wood, RW. Physical Review, **48**(12), 928–936 (1935)
- [8] Rubio C., Candelas P., Belmar F., Gomez-Lozano V., Uris A. Journal of Physics D: Applied Physics, **48**, 395501 (2015)
- [9] Castiñeira-Ibáñez S., Uris A., Candelas P., Rubio C., Diseño de pantallas acústicas abiertas formadas por dispersores rectangulares aislados con separación subsónica, 48º Congreso Español de Acústica, Encuentro Ibérico de Acústica, A Coruña (2017)
- [10] Rubio C., Castiñeira-Ibáñez S., Uris A., Belmar F., Candelas P., Applied Acoustics **141**, 144-150 (2018)
- [11] Foteini Setaki, Martin Tenpierik, Michela Turrin, Arjan van Timmeren, Building and Environment **72**,188-200 (2014)
- [12] Berenguer J., J. Comput. Phys., **114**, 185 (1994)
- [13] Delany ME, Bazley EN. Appl. Acoust **3**, 105–16 (1970)