

FIA 2018

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

TRANSMISIÓN ACÚSTICA EN REDES DE RESONADORES HELMHOLTZ

PACS: 43.50.Gf

Peiró-Torres, M.P.¹; Redondo, J.²; Castiñeira-Ibáñez, S.^{3,4}; Ferri, M.³; Bravo, J.M.³; Sánchez Pérez, J.V.³

¹BECSA, S.A.U.; Dirección: Ciudad del Transporte II. C/ Grecia, 31, Castellón (Spain)

²Universitat Politècnica de València. Instituto de Investigación para la Gestión Integrada de zonas Costeras, Paraninf 1, Grao de Gandia, Valencia (Spain)

³Universitat Politècnica de València. Centro de Tecnologías Físicas, Acústica, Materiales y Astrofísica, División acústica. Camino de Vera s/n, Valencia (Spain).

⁴Universitat de València. Departamento de Ingeniería Electrónica; Avda. Universidad s/n Bujassot, Valencia (Spain).

E-Mail: fredondo@fis.upv.es

Palabras Clave: Pantallas acústicas, ruido, resonador Helmholtz

ABSTRACT

Helmholtz resonators are acoustic control devices designed in the mid-nineteenth century. In last years their use in the development of new materials has increased significantly, for exemple creating arrays of resonators that work partially as heterogeneous materials formed by arrays of acoustic scatterers, generically called sonic crystals. This paper analyzes the effects on the transmission of acoustic waves of the existing interactions between the two acoustic phenomena that appear in these resonator arrays: the own resonances inherent to the Helmholtz resonators, and the characteristic bandgaps of arrays of isolated scatterers.

RESUMEN

Los resonadores Helmholtz son dispositivos de control acústico diseñados a mediados del siglo XIX. En los últimos años su uso en el desarrollo de nuevos materiales se ha incrementado notablemente, como por ejemplo creando redes de resonadores que trabajan en parte como materiales heterogéneos formados por redes de dispersores acústicos, denominados genéricamente cristales fonónicos. Este trabajo analiza los efectos en la transmisión de las ondas acústicas de las interacciones existentes entre los dos fenómenos acústicos que aparecen en estas redes de resonadores: las propias resonancias inherentes a los resonadores Helmholtz, y los bandgaps característicos de las redes de dispersores aislados.

INTRODUCCION

Una de las soluciones para el control del ruido en su fase de transmisión viene dada por la utilización de pantallas acústicas. Su uso se hace necesario cuando no es posible reducir los niveles de emisión de ruido generado por la fuente o en su caso el conseguirlo implica grandes costes económicos [1].

FIA 2018

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

Una pantalla acústica clásica consiste básicamente en un medio continuo de material rígido que se interpone entre la fuente emisora de sonido y el receptor, Figura 1(a). Este tipo de pantallas presenta atenuación al ruido debido principalmente a la Ley de Masas.

A finales del siglo XX, surge una nueva línea de investigación para conseguir atenuar el ruido mediante los denominados cristales de sonido (CS). Los CS son distribuciones periódicas de dispersores acústicos aislados, inmersos en un fluido que presentan propiedades muy diferentes a las del dispersor. Estos materiales presentan una propiedad denominada dispersión múltiple que permite su uso como pantallas acústicas [2], [3]. Se ha comprobado que existen bandas de frecuencia en las que no se propaga el sonido, siendo la posición de los dispersores en la red cristalina, quien determina la posición de dichas bandas de atenuación acústica en el espectro de frecuencias. Así, varios estudios han realizado el diseño de pantallas acústicas basadas en cristales de sonido con dispersores cilíndricos. Los primeros diseños utilizaban dispersores rígidos [4], donde sólo aparecía el fenómeno de la dispersión múltiple, denominando a este tipo de pantallas de 1ª generación. Pronto se vió la posibilidad de incorporar nuevos mecanismos de control del ruido con la idea, de que estos se superpusieran de forma constructiva a la dispersión múltiple [5], intrínseca a los CS. A este tipo de pantallas, Figura 1(b), se les denominó de 2ª generación [6] e incorporaban el fenómeno de la absorción y el de la resonancia.

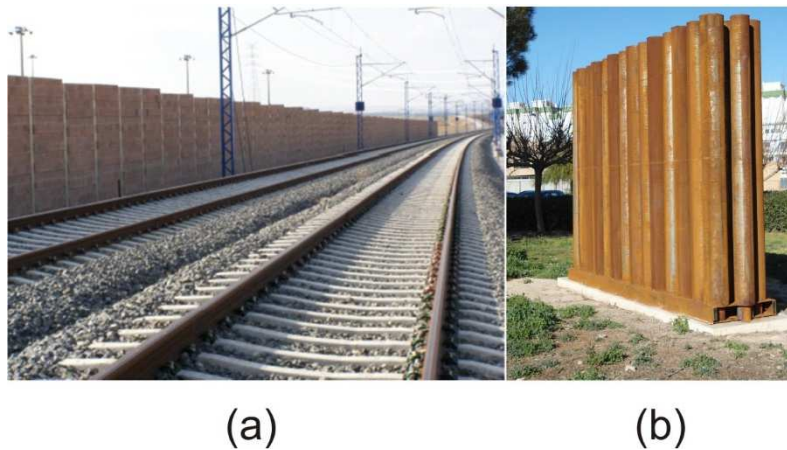


Figura 1: (a) Pantalla acústica clásica; (b) Pantalla acústica basada en cristales de sonido

La posición de la banda de atenuación acústica en el espectro debida a la dispersión múltiple depende de como estén ordenados los dispersores, por ejemplo red cuadrada o triangular, y a qué distancia se sitúan éstos, con el parámetro de red. El tamaño de la banda depende del factor de llenado de la red (ff filling factor, en inglés), que representa el volumen ocupado por el medio dispersor respecto del volumen total del cristal. Por otro lado, los resonadores Helmholtz introducen un pico de resonancia en una frecuencia según sea el diseño de la geometría del resonador:

$$f = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{L_e V}} \quad (1)$$

FIA 2018

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

donde c es la velocidad del sonido en el aire (m/s), S es la sección de la entrada al resonador (m^2), L_e es la longitud efectiva del cuello del resonador (m) y V es el volumen de la cavidad resonante (m^3).

En este caso, como se verá en la sección siguiente, el resonador está formado por una cavidad situada en el interior del cilindro dispersor.

Cuando se utilizan varios mecanismos de control de ruido interesa que éstos se superpongan constructivamente y así conseguir que en el espectro se vea una banda de atenuación acústica lo más amplia posible. Este trabajo analiza el efecto que produce en el espectro, unir el fenómeno de la dispersión múltiple con el de la resonancia. Dependiendo del diseño, se puede conseguir que la banda de atenuación debido a la dispersión múltiple (BG, Band gap) interactúe más o menos con el pico de resonancia que se introduce.

En la siguiente sección se muestra el modelo numérico que se utiliza para analizar el efecto que produce en el espectro de atenuación la interacción BG+resonador. Para ello, se ha utilizado el Método de los Elementos Finitos (FEM), en concreto el programa comercial Comsol Multiphysics. Este método resuelve variedad de geometrías con múltiples fenómenos acústicos, de una manera sencilla.

MODELO NUMERICO

Para resolver el problema numérico es necesario definir la geometría que se está considerando, implementar las condiciones de contorno y discretizar el dominio de resolución. La geometría se muestra en la Figura 2. El dominio donde se obtiene la solución está formado por 3 dispersores cilíndricos, separados entre ellos un parámetro de red a , de radio exterior r_{ext} y radio interior r_{int} , con una boquilla a la entrada de la cavidad, de anchura L_c . Como parte de los dispersores se consideran rígidos, se considera en sus superficies la condición límite de Neumann. Estos dispersores están confinados entre dos paredes, dotadas de condiciones periódicas, también separadas por el parámetro de red a , siendo estas paralelas a la dirección de propagación de la onda plana incidente, que viaja de izquierda a derecha. Con estas condiciones, las ondas dispersas en los cilindros no se reflejan en las paredes y por lo tanto reproducen el efecto de un cristal semiinfinito 2D formado por 3 filas de resonadores dispuestos en una matriz cuadrada. Esta geometría permite el estudio de matrices semiinfinitas utilizando un dominio numérico de volumen reducido y por lo tanto disminuyendo el coste computacional. Para que no exista onda reflejada a la entrada y salida del medio, se han utilizado sendas capas perfectamente adaptadas (PML) [6]. Con ello se simulan las condiciones de radiación de Sommerfeld en el resolución numérica de problemas de dispersión. El punto de medida se sitúa a la distancia b del último elemento resonador.

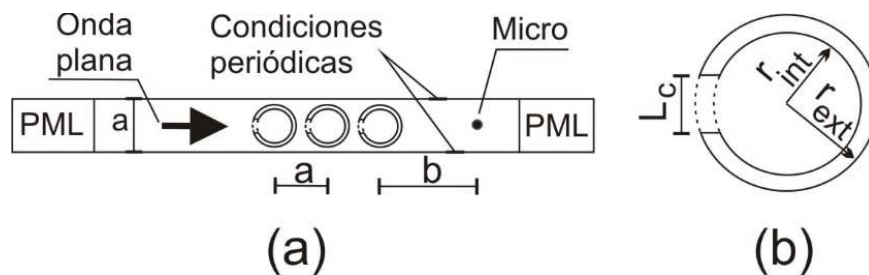


Figura 2: (a) Modelo 2D de la pantalla acústica, (b) Detalle del dispersor: se observa que tiene una cavidad de anchura L_c y radio r_{int}

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

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

ecuación en derivadas parciales, y se estudia la propagación de la onda plana.

Los valores de los parámetros geométricos utilizados en este trabajo han sido: $r_{ext}=0.14m$, $r_{int}=0.1m$ y $L_c=0.02m$. El parámetro de red a , toma diversos valores que se indican en los resultados y la distancia del punto de medida $b=1m$. Para discretizar el dominio, se utiliza una malla triangular simple y el número de grados de libertad es del orden de $4 \cdot 10^4$. El tamaño máximo de la malla es $c / 12f_{max}$.

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

$$\text{Atenuación Acústica} = 20 \log_{10} \left| \frac{P_D}{P_I} \right| \quad (3)$$

RESULTADOS

En un primer análisis, al superponer los espectros de atenuación obtenidos para el caso de una pantalla formada por tres filas de dispersores totalmente rígidos con el espectro obtenido utilizando otra pantalla formada por tres filas de dispersores que incorporan resonadores, se observa en la Figura 3, que el BG se ve afectado por la posición del pico de resonancia situado a 200 Hz.

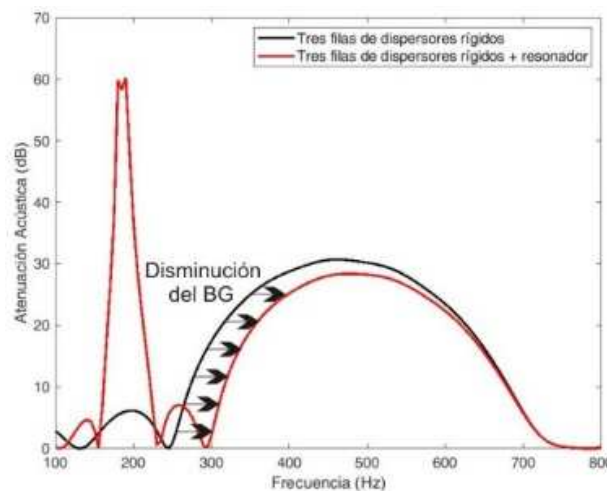


Figura 3: En línea negra espectro de atenuación acústica de 100 a 800 Hz obtenido con una pantalla formada por tres dispersores rígidos, en línea roja espectro de atenuación acústica de 100 a 800 Hz obtenido por una pantalla formada por tres dispersores con resonador ajustado a 200 Hz. El parámetro de red utilizado es 0.33 m ($f_{Bragg}= 519$ Hz)

Según el resultado de la Figura 3, la influencia de la resonancia sobre el BG producido por la dispersión múltiple implica una disminución de este último. El parámetro de red define la

FIA 2018

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

posición del centro del BG según la expresión: $f_{\text{Bragg}}=c/2a$. En el caso mostrado, el centro del BG está en 519 Hz y la frecuencia de resonancia 200 Hz. Por lo tanto dejando fija la frecuencia de resonancia y cambiamos el parámetro de red, se puede desplazar la posición del BG en el espectro. La idea, pues, es ver si al mover el BG sigue estando afectado por la posición del pico de resonancia, que es fija. Para comprobar este supuesto se ha realizado un barrido paramétrico mediante el modelo numérico. En la figura 4 se muestran tres resultados del barrido paramétrico, 0.29, 0.33 y 0.40 m.

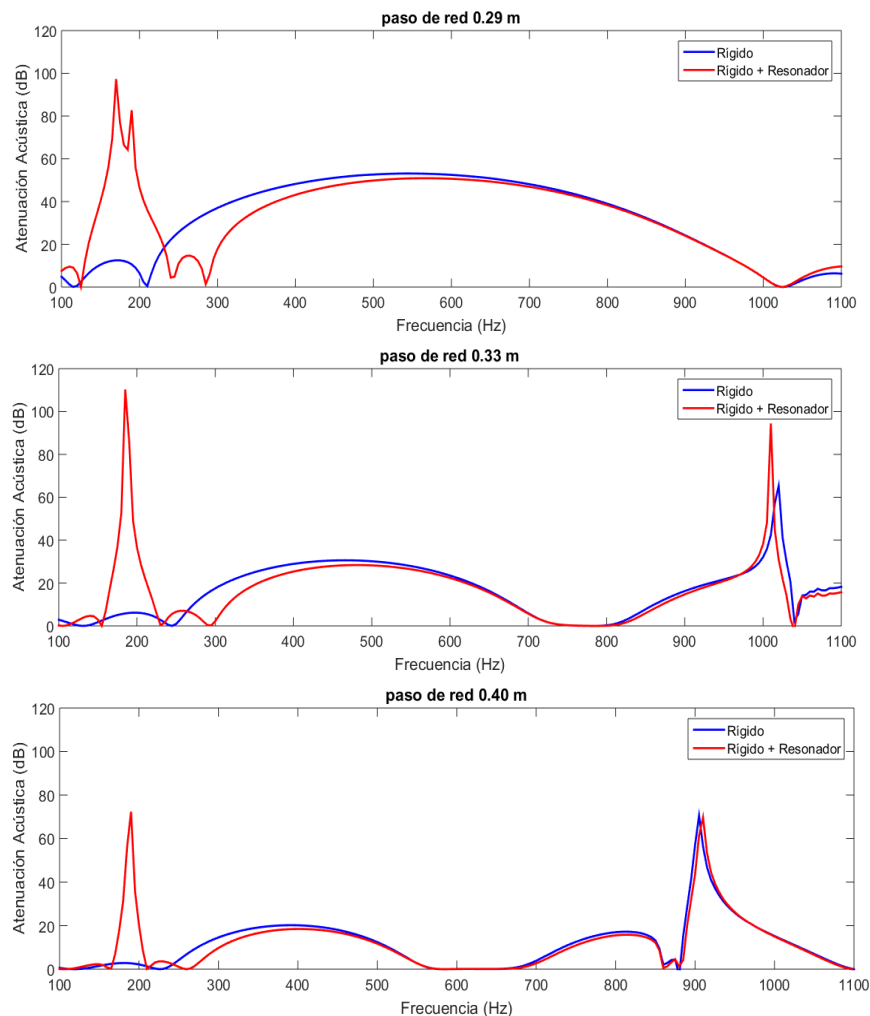


Figura 4: Espectros de atenuación acústica para el caso de tres parámetros de red: 0.29, 0.33 y 0.40 m. En línea azul pantalla formada por dispersores cilíndricos rígidos y en línea roja pantalla formada por dispersores cilíndricos rígidos con resonador ajustado a 200 HZ

Estos resultados muestran que siempre que la frecuencia del BG esté cerca de la frecuencia de resonancia elegida, el BG se ve afectado. Por otro lado, es cierto que cuando se disminuye el parámetro de red tiene un límite impuesto por el tamaño del dispersor y cuando se aumenta el parámetro de red el f_f de la estructura disminuye considerablemente haciendo más transparente la pantalla y reduciéndose la atenuación acústica. Para valorar cuanto afecta la presencia del resonador en el espectro a partir de los resultados obtenidos, se va a utilizar el

FIA 2018

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

parámetro área de atenuación, AA, que valora la capacidad de atenuación de la red dentro de un rango de frecuencias establecido. Este parámetro se define como el área comprendida entre el rango positivo de los espectros de atenuación (dB) y el umbral de la línea 0 dB en el rango de frecuencias seleccionado [8]. En la Figura 5 se muestra el gráfico obtenido de AA (dB.Hz) frente al parámetro de red a , tanto para la pantalla acústica formada por dispersores rígidos como para la formada por resonadores. Los valores de este gráfico se obtienen del modelo numérico parametrizado descrito anteriormente. Se ha calculado el AA para el rango del espectro correspondiente al BG, que para cada parámetro de red está situado en diferente intervalo de frecuencias, según se ha podido ver en la Figura 4.

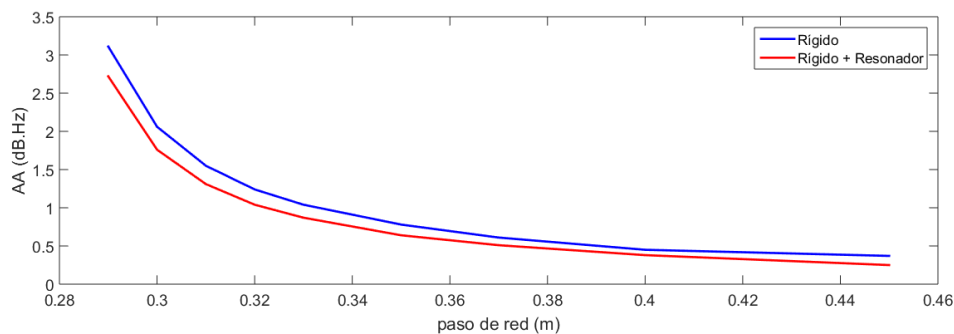


Figura 5: En línea azul: variación del AA frente al parámetro de red a para el caso de la pantalla formada por dispersores cilíndricos rígidos. En línea roja: variación del AA frente al parámetro de red a para el caso de la pantalla formada por dispersores cilíndricos rígidos con resonador ajustado a 200 HZ

Se observa que el AA correspondiente al BG que se obtendrá para el caso de una red de dispersores rígidos será mayor que la que se obtuviera con la misma red pero formada por resonadores. Si se quiere igualar la aportación al espectro del BG para el caso de resonadores, se debería aumentar el factor de llenado de la estructura. Con esto se conseguirían sumar los efectos, dispersión múltiple y frecuencia de resonancia, sin pérdida de efectividad.

CONCLUSIONES

En este trabajo se ha analizado la influencia sobre el BG, obtenido mediante una pantalla acústica basada en cristales de sonido de 2º generación, de la frecuencia de resonancia introducida por la cavidad resonante del dispersor. Se han comparado dos tipos de pantallas y con diversos parámetros de red. Se ha visto en todos los casos que si se calcula el parámetro AA, siempre hay una pérdida de atenuación en la zona del BG cuando existen resonadores. Esta pérdida podría ser recuperada si se aumenta el ff de la pantalla con resonadores. A partir de este estudio se pueden realizar otras pruebas para conseguir que estos efectos sumen en todo el rango de frecuencias y así poder conseguir un espectro con una banda de atenuación lo más ancha posible.



FIA 2018

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

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad, bajo el proyecto TEC2015-68076-R.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Harris CM. Handbook of acoustical measurements and noise control. 3rd ed. McGraw-Hill, Inc. (1991)
- [2] Martínez-Sala R., Sancho J., Sánchez-Pérez J. V., Llinares J., Meseguer F., Nature (London) 387, 241 (1995)
- [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] Romero-García V., Sánchez-Pérez J. V. and Garcia-Raffi L. M., J. Appl. Phys. 110, 014904 (2011)
- [6] Castiñeira-Ibáñez, S., Rubio, C., Romero-García, V., Sánchez-Pérez, J.V., García-Raffi, L.M., Archives of Acoustics, **37**(4), 455–462 (2012)
- [7] Berenguer J., J. Comput. Phys., **114**, 185 (1994)
- [8] Romero-García V., Fuster E., Sánchez-Pérez E. A., García-Raffi L. M., Sopena M., Llinares J. and Sánchez-Pérez J. V., Appl Phys.Lett 88, 174104 (2006)