

## DISEÑO DE PANTALLAS ACÚSTICAS ACTIVAS MEDIANTE CAVIDADES REALIZADAS EN MADERA DE PINO DE CUENCA

**PACS:** 43.55 Ev; 43.50 Lj

Huertas Gallardo, Pedro(\*\*); Fernández Vázquez, Victoriano(\*); Terán Sierra, Fernando J(\*); Expósito Paje, Santiago(\*).

Laboratorio de Acústica aplicada a la Ingeniería Civil (LA<sup>2</sup>IC). Universidad Castilla la Mancha (\*\*). Instituto de Investigación en Edificación. Campus Universitario. 16071 Cuenca. España  
Cuenca

(\*). Instituto Enrique Castillo. Campus Universitario. Ciudad Real. España:

Tel: (+34) 969 179 100 (ext 4844)

E-Mail: pedro.huertas@uclm.es

**Palabras Clave:** Absorción acústica, pantallas acústicas, ruido de rodadura

### ABSTRACT

Rolling noise is one of the main annoying agents in today's society. In this work we propose to combat it through active acoustic screens, capable of absorbing the sound in the frequency range of interest. The absorber is designed by means of geometric cavities made in pine wood from Cuenca, varying the dimensions of the cavities. To do this, we will help you from the database that we have obtained by varying the depth and width of the cylindrical cavities. Finally we will present an absorber with cavities of a high degree of anisotropy.

### RESUMEN

El ruido de rodadura es uno de los principales agentes molestos en la sociedad actual. En este trabajo proponemos combatirlo mediante pantallas acústicas activas, capaces de absorber el sonido en el rango de frecuencias de interés. El absorbedor se diseña mediante cavidades geométricas realizadas en madera de pino de Cuenca, variando las dimensiones de las cavidades. Para ello, nos ayudaremos de la base de datos que hemos obtenido variando la profundidad y anchura de las cavidades cilíndricas. Para finalizar presentaremos un absorbedor con cavidades de un alto grado de anisotropía.

### INTRODUCCION

El Laboratorio de Acústica Aplicada a la Ingeniería Civil (LA<sup>2</sup>IC) de la Universidad de Castilla-la Mancha (UCLM), viene realizando el estudio de la evaluación del firme y el diagnóstico de su estado para un posterior análisis de las distintas opciones de rehabilitación. En este proceso se cuantifica el ruido producido en la interacción neumático/pavimento, mediante el método CPX [1,2]. Esta auscultación se realiza de forma geo-referenciada para posteriormente,

mediante un adecuado tratamiento de datos, extraer conclusiones, realizándose con una mínima repercusión sobre el tráfico y la seguridad de la circulación vial.

Un ejemplo de la evolución del ruido de rodadura sufrido a lo largo de los años se puede apreciar en la Ronda de Toledo de Ciudad Real [3]. En los espectros mostrados en la figura 1, se puede observar que el ruido de rodadura afecta a un rango de frecuencias muy amplio, pero podemos ver una influencia mayor concentrada en el intervalo comprendido entre los 1000 y 2000 Hz,

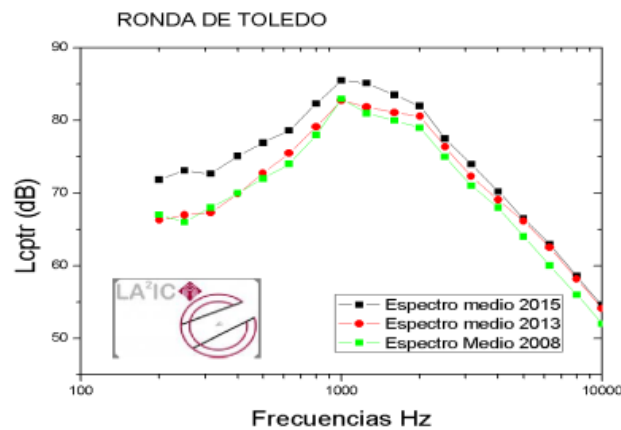


Fig.1. Evolución temporal de espectros en la Ronda de Toledo.

En este trabajo, utilizaremos este espectro como referencia para diseñar un absorbedor acústico, intentando optimizar la máxima eficiencia en este intervalo de frecuencias. Elegiremos seis tipos diferentes de cavidades cilíndricas previamente estudiadas [4] y mecanizadas en madera de pino. En la figura 2 se muestra una serie de cavidades cilíndricas realizadas en cilindros de madera de pino de Cuenca de 100 mm de diámetro, para medida en el tubo grande, de 70 mm de profundidad y diámetros variables, junto al espectro de absorción obtenido para las mismas.

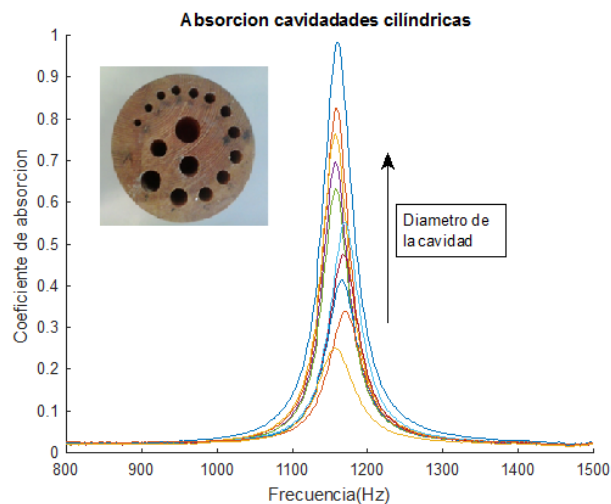


Fig. 2. Espectros de absorción hasta la saturación en cavidades de 70 mm de profundidad y diámetro variable de 5 a 18 mm.

La medición del coeficiente de absorción se ha realizado con un tubo de impedancias tipo 4206 de Brüel & Kjaer utilizando los tubos de medida de diámetro 100, 64 y 29 mm respectivamente en las condiciones que especifica la norma UNE-EN ISO 10534-2.

También hemos realizado un absorbedor alternativo mecanizando cavidades con un alto grado de anisotropía.

## SIMULACIÓN Y MODELO TEÓRICO

La figura 3 representa un esquema de la propagación de la onda en el tubo de impedancias, medio 1, antes de llegar a la cavidad, medio 2. La absorción en una cavidad simple se obtiene a partir del coeficiente de reflexión,  $\mathfrak{R}$ , usando las impedancias acústicas,  $Z_i$ , de cada segmento.

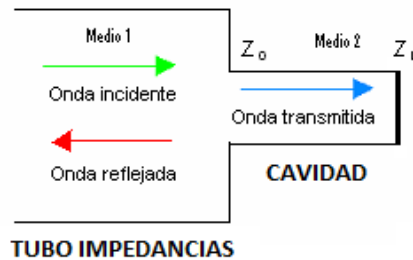


Fig. 3. Esquema de la propagación acústica en el interior del tubo.

El coeficiente de reflexión está relacionado con las impedancias acústicas de ambas regiones mediante la expresión:

$$\mathfrak{R} = \frac{Z_0 - Z_i}{Z_0 + Z_i}$$

Donde  $Z_i$  es la impedancia acústica en el interior del tubo y  $Z_0$  es la impedancia acústica de la cavidad en el punto  $x=0$ . Si suponemos que la pared es rígida en  $x=L$ , entonces  $Z_L$  tiende a infinito y la impedancia acústica en la entrada de la cavidad puede sustituirse por la expresión

$$Z_0 = -i \frac{\rho_0 c}{S} \frac{1}{\tan(kL)}$$

Y el coeficiente de absorción será:

$$\alpha = 1 - |\mathfrak{R}|^2$$

Los resultados obtenidos son similares a los calculados utilizando el modelo matricial [5] para este tipo de cavidades simples. En la figura 4, presentamos la simulación de dos cavidades similares de 70 mm de longitud y 8 mm de diámetro medidas con el tubo grande, 100 mm, y el mediano, 64 mm, y comparamos con los resultados experimentales

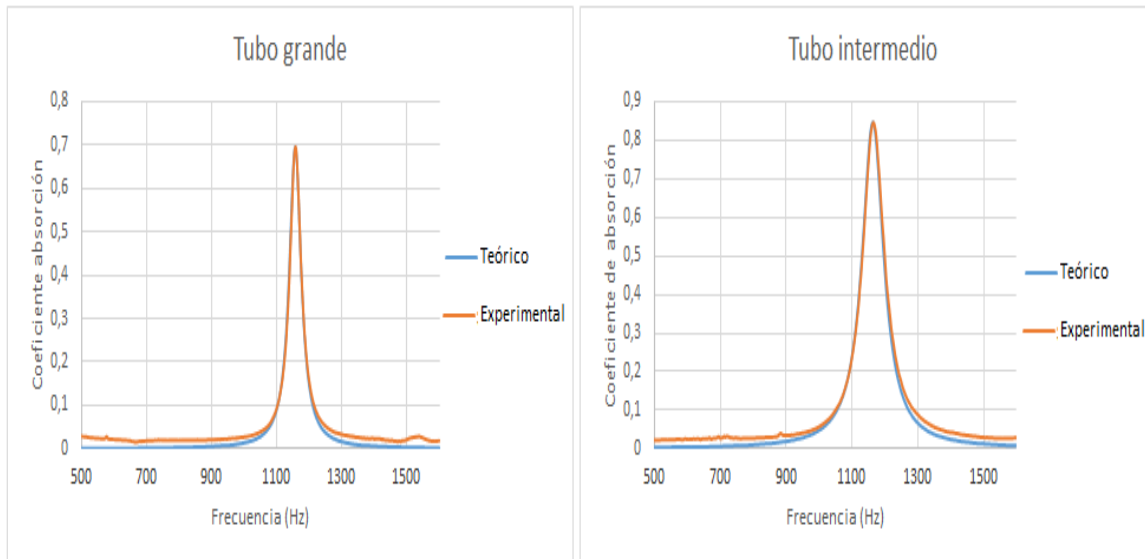


Figura 4. Espectros de absorción teóricos y simulados para la cavidad de 8 mm de diámetro.

En el ajuste de los picos no utilizamos la corrección de longitud efectiva, sino el ajuste por velocidad del sonido efectiva (tanto parte real,  $C_r$ , como imaginaria,  $C_i$ ), tomando como referencia la velocidad del sonido  $C_0 = 340$  m/s. Los valores se muestran en la tabla 1.

	Diámetro (mm)	Coeficiente absorción ( $\alpha_{max}$ )	Frecuencia central (Hz)	Ancho banda (Hz)	$C_r/C_0$	$C_i/C_0$
Tubo grande	8	0,696	1158	44	0,953	0,014
Tubo mediano	8	0,846	1164	81	0,958	0,023

Tabla 1. Valores experimentales y de ajuste para la cavidad de 8 mm de diámetro

## RESULTADOS EXPERIMENTALES

En primer lugar hemos realizado un muestreo de espectros de absorción de cavidades cilíndricas de 70 mm de profundidad nominal y diámetros variables medidas con el tubo grande y el mediano. Utilizando los datos de la base de datos [4], que se muestran en la gráfica 5, en donde se pueden consultar los valores máximos de absorción acústica frente al diámetro de la cavidad en dos tubos de ensayo diferentes. Se puede apreciar que la saturación depende del tubo con el que se realice la medida. La saturación en el coeficiente de absorción se consigue para valores inferiores del diámetro de la cavidad en el tubo mediano, que en el tubo grande, como es de esperar. A partir de estos resultados, hemos fijado el tamaño de las cavidades en 9 mm de diámetro, previos a la saturación, que producen picos de absorción más estrechos.

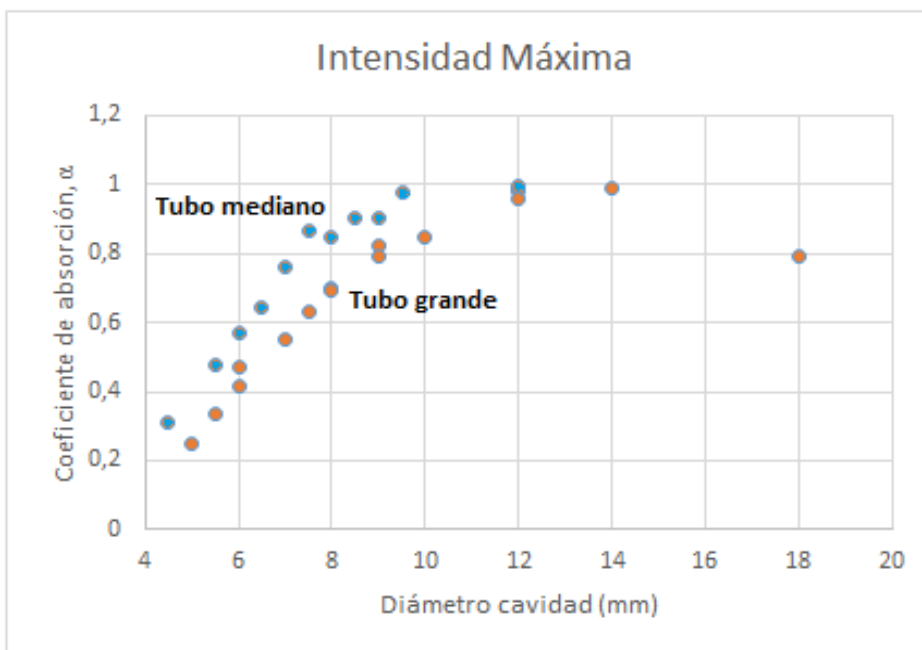


Fig. 5. Coeficiente de absorción máximo del espectro de absorción para cavidades de 70 mm de profundidad medidas en los tubos de 100 y 64 mm de diámetro.

En la figura 6 se muestra la anchura de banda de absorción frente al diámetro de la cavidad medidas con diferentes tubos. En este caso, también se aprecian importantes diferencias. En el tubo mediano presentan una anchura de banda casi el doble que en tubo grande para cavidades semejantes.

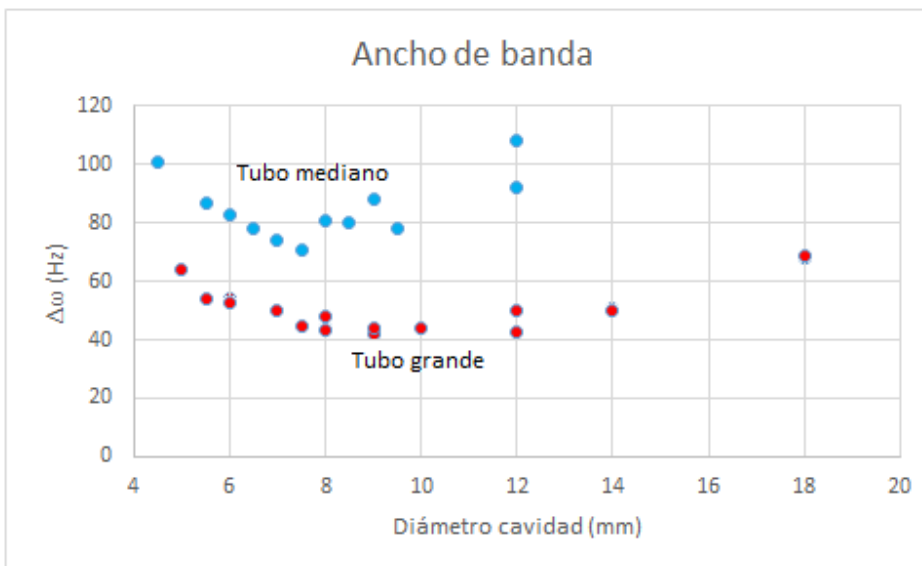


Fig. 6. Anchura de la banda de absorción para cavidades de 70 mm de profundidad.

En segundo lugar seleccionamos las profundidades de las cavidades con las que realizaremos el absorbente. En la figura 7 mostramos los valores de la posición de la frecuencia del máximo del pico de absorción en función de la longitud y el diámetro de la cavidad para siete series de muestras medidas con el tubo grande y pequeño.

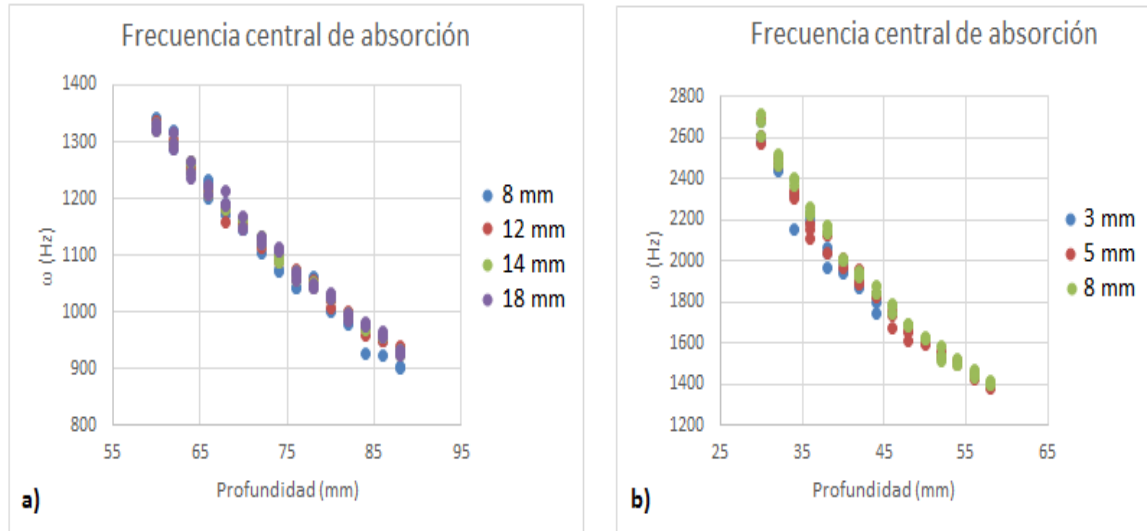


Figura 7. Frecuencia del máximo de absorción de la cavidad medida con el tubo: a) 100 mm y b) 29 mm, para cavidades con diferentes diámetros de cavidad.

Con los datos anteriores hemos realizado seis cavidades cilíndricas de 9 mm de diámetro y profundidad variable, la menor de 4,3 cm y la mayor de 7,3 mm a intervalos de 5 mm, que hemos medido en el tubo mediano. Los resultados experimentales de la frecuencia máxima de absorción y del valor del coeficiente de absorción para esta frecuencia se muestra en la tabla 2.

Longitud cavidad (cm)	Absorción máxima	f central (Hz)	Ajuste Cr/C0	Ajuste Ci/C0
4.3	0,997	1804	0,914	0,012
4.8	0,983	1604	0,906	0,015
5.3	0,971	1478	0,922	0,017
5.8	0,991	1384	0,945	0,015
6.3	0,989	1292	0,959	0,015
6.8	0,97	1164	0,931	0,017

Tabla 2. Valores experimentales y de ajuste para las cavidades elegidas medidas el tubo de 64 mm de diámetro

Hemos procedido al ajuste de los espectros de absorción, se muestra en la figura 8, obteniendo los valores de la velocidad del sonido compleja indicados en la tabla 2.

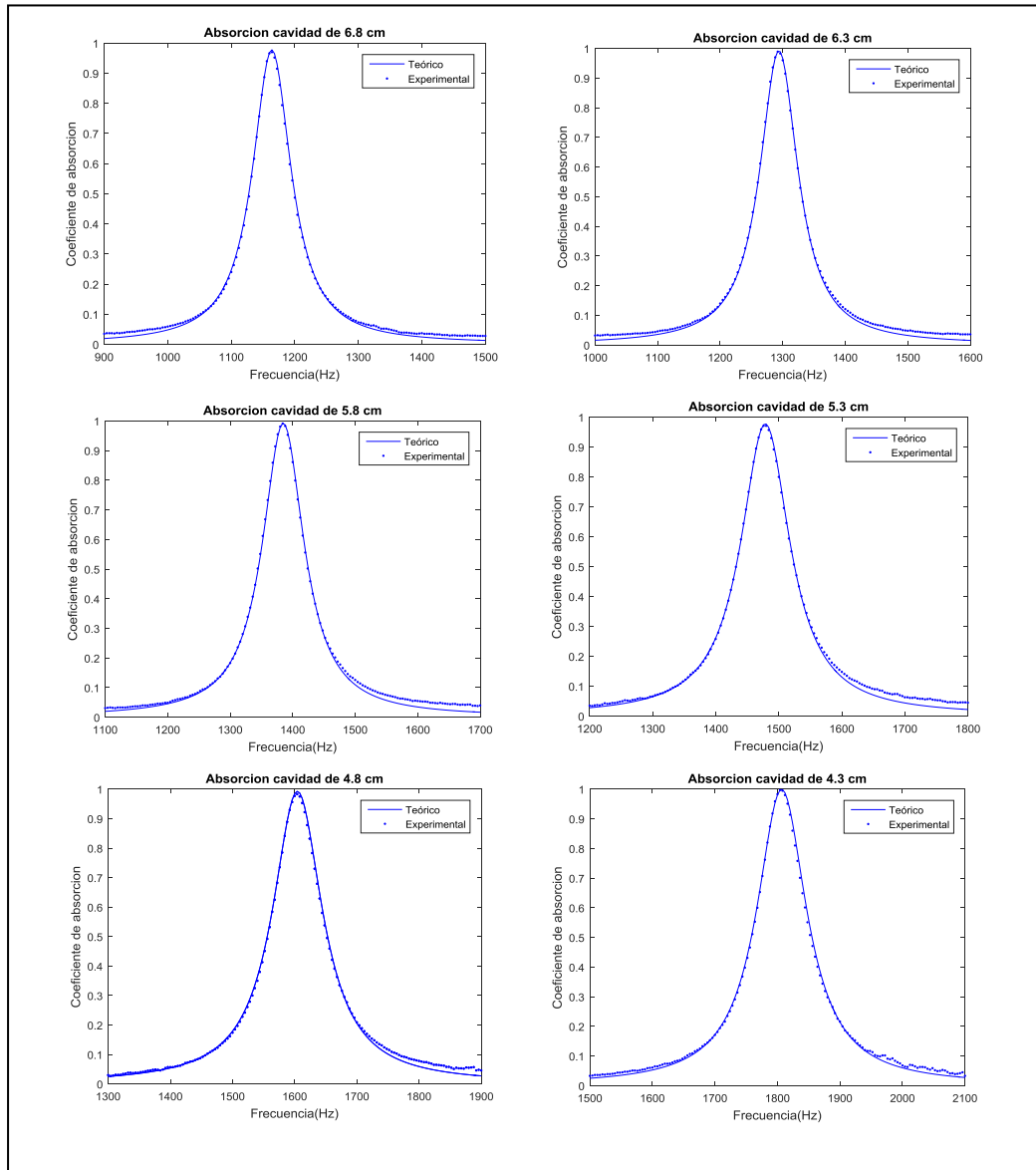


Figura 8. Espectros medidos y simulados de las cavidades mostradas en la tabla 2.

Las cavidades elegidas nos permiten una absorción acústica centrada en 1500 Hz, que era el objetivo propuesto. Para finalizar, en la figura 9a se muestra el espectro de absorción obtenido para cavidades cilíndricas, mientras que en la figura 9b se muestra el espectro de absorción para tres cavidades paralelepípedicas de profundidad 4.1, 5.3 y 6.9 cm respectivamente en condiciones de sobresaturación, por lo que presentan espectros más anchos pero menos intensos.

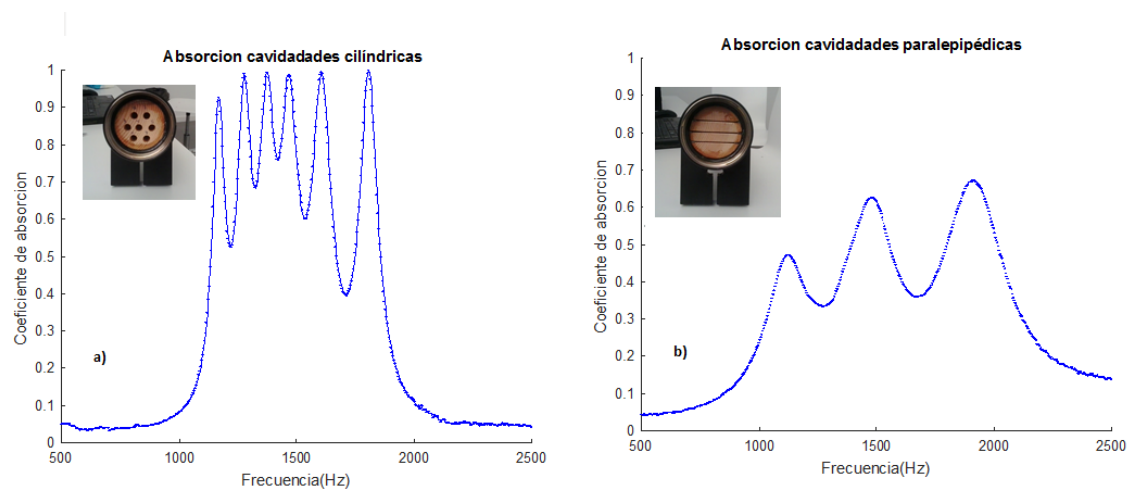


Figura 9. Espectros medidos en un absorbedor con cavidades cilíndricas a) y paralelepédicas b).

## CONCLUSIONES

En este trabajo hemos diseñado un absorbedor acústico activo de seis cavidades cilíndricas para la ronda de Toledo de CR, al mismo tiempo se han medido y ajustado los espectros de absorción individualizados para cada cavidad, además de compararlos con un absorbedor de mayor grado de anisotropía, constatando un mejor resultado en el primero.

## AGRADECIMIENTOS

Para la obtención de la base de datos se ha contado con la financiación de la Consejería de Ciencia y Tecnología de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha a través del proyecto PPII-2014-012-A

## REFERENCIAS

- [1] S.E. Paje, M.Bueno, F. Terán, R. Miró, F. Pérez-Jiménez, A. H. Martínez, "Acoustic field evaluation of asphalt mixtures with crumb rubber" Applied Acoustics. 71, 2010
- [2] M. Bueno, J. Luong, U. Viñuela, F.Terán, S.E. Paje, "Pavement temperature influence on close proximity tire/road noise" Applied Acoustics. 72, 2011.
- [3] F.J. Terán, F. Paz, V. Fernández, P. Huertas, S Expósito. "Evolución temporal de las características sonoras de las vías urbanas de Ciudad Real". Tecniacústica 2015.
- [4] P. Huertas, Informe técnico proyecto PEII-2014-051-P. "Optimización del diseño y caracterización de la absorción acústica basada en estructuras geométricas". Junta de Comunidades de Castilla la Mancha. 2017
- [5] P. Huertas, J. Bermejo, A. Rodríguez. "Simulación y medida del coeficiente de absorción acústica para incidencia normal en estructuras de yeso perforado". Actas I Jornada Nacional de Investigación en la Edificación. Madrid. 10 y 11 Mayo 2007.