

ABSORBENTES MIXTOS DE ALTO RENDIMIENTO

R.M. Rodríguez, A. Moreno, C. de la Colina, J. Pfretzschner, F. Simón.

Instituto de Acústica
C/ Serrano, 144 28006 Madrid-España
Telephone: +34 1 5618806 Fax: +34 1 4117651
E-mail: iacrm46@fresno.csic.es

SUMMARY

In this paper, the improvement of the acoustic properties of absorbent panels is presented. The study is based on the combination of porous acoustic materials and resonators. A considerable number of possibilities have been studied, finding simple solutions that could be adapted to a large different variety of acoustic needs. Different options have been confirmed in comparative tests using the Kundt tube method, as well as by means of a mathematical algorithm developed to this purpose.

RESUMEN

Este trabajo persigue la mejora de la absorción acústica de paneles planos, tapizados, a partir de combinaciones de absorbentes acústicos porosos y resonadores. Se ha estudiado un conjunto suficientemente amplio de opciones que ha permitido encontrar diferentes soluciones adaptadas a una amplia gama de necesidades con un alto grado de economía y simplicidad. Las distintas opciones se han modelado por medio de un algoritmo matemático, y han sido comprobadas mediante estudios comparativos en tubo de ondas estacionarias, haciéndose la verificación final en cámara reverberante.

INTRODUCCIÓN

Las soluciones tradicionalmente aportadas al problema del acondicionamiento acústico de un recinto, están basadas principalmente en el tratamiento de sus superficies interiores, especialmente los techos y, en menor medida, las paredes mediante la instalación de materiales o dispositivos absorbentes acústicos. De esta forma pueden ajustarse las condiciones acústicas de los recintos en función del fin a que estén destinados. Pero no siempre es posible aplicar una solución tradicional y, por tanto, es necesario buscar alternativas que no requieran perder demasiado volumen en el interior del recinto.

Así mismo, en grandes recintos destinados a diferentes actividades simultáneamente, es necesario un adecuado tratamiento acústico para evitar la transmisión sonora entre pequeñas compartimentaciones vecinas. Por ello, se hace necesario buscar soluciones que permitan conseguir tal objetivo con una economía de medios y materiales.

El tipo de absorbente acústico, estudiado en este trabajo, consiste básicamente en una combinación de materiales absorbentes porosos y paneles perforados con una cavidad posterior. El sistema elegido consta, por lo tanto, de un sistema resonador compuesto por un panel perforado con cavidad de aire, complementado por un material

poroso, absorbente acústico, en su cara anterior, constituyendo un conjunto autoportante, ligero, decorativo y versátil desde el punto de vista de sus aplicaciones, apto para su disposición horizontal o vertical.

Tradicionalmente, los paneles perforados se emplean como elementos de protección del material absorbente poroso de trasdosado, con frecuencia para evitar su deterioro así como el desprendimiento de partículas. Los estudios realizados hasta el momento afirman que estos paneles perforados, superado un determinado porcentaje de perforación, son acústicamente transparentes. Sin embargo, no está claro el valor límite por encima del cual se verifica tal condición, por lo que se ha preferido disponerlos trasdosando el material poroso, lo que proporciona mejoras en la absorción acústica final al mantener las propiedades acústicas tanto del material poroso como del panel perforado.

Es bien conocido el comportamiento de estos paneles perforados como absorbentes acústicos [1], cuya frecuencia de resonancia depende de su espesor, tamaño de las perforaciones, porcentaje de perforación y profundidad de la cavidad de aire sobre la que se dispongan. En este trabajo se considera la interacción de este tipo de resonadores, con los materiales absorbentes porosos. Las características de dichos paneles, en cuanto a su constitución, permiten ajustar la absorción acústica en los rangos de frecuencia de interés, complementando así las carencias que presenta el material absorbente poroso seleccionado. En unos casos serán necesarios altos coeficientes de absorción en bandas de frecuencia estrechas, mientras que en otros primará obtener coeficientes de absorción elevados en rangos de frecuencia más anchos. En cada caso los parámetros decisivos que permitirán alcanzar las características de absorción acústica perseguidas, son el espesor del material absorbente poroso, el del panel perforado, su porcentaje de perforación y la profundidad de la cavidad posterior.

ASPECTOS TEÓRICOS

El tratamiento teórico del problema está basado en el estudio del coeficiente de absorción acústica de varias capas consecutivas de diferentes materiales absorbentes dispuestos sobre una terminación rígida (acústicamente reflectante).

Para el caso en que existan dos materiales superpuestos de espesores d_1 y d_2 (figura 1), la impedancia de superficie z del conjunto, viene dada por

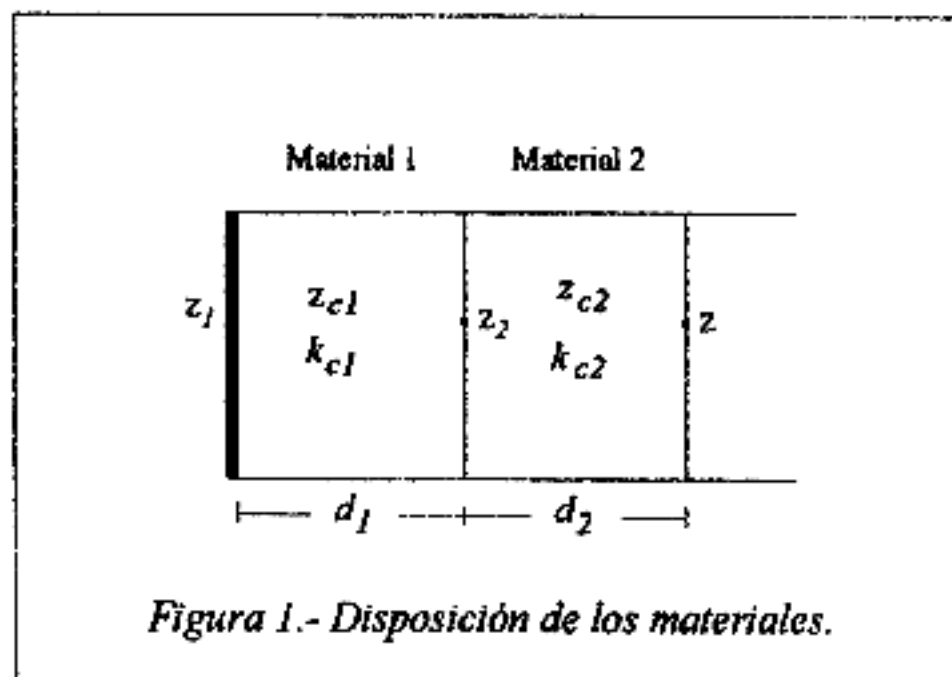


Figura 1.- Disposición de los materiales.

$$z = z_{c2} \left[\frac{z_{c2} - jz_2 \cot(k_{c2}d_2)}{z_2 - jz_{c2} \cot(k_{c2}d_2)} \right] \quad (1)$$

expresión que corresponde a la propagación de ondas en un tubo cerrado por un extremo [2], siendo z_2 la impedancia en la superficie de los dos materiales considerados, que se obtiene de igual forma teniendo en cuenta que en este caso $z_1 \rightarrow \infty$ (fondo rígido), por lo tanto,

$$z_2 = -jz_{c1} \cot(k_{c1}d_1) \quad (2)$$

siendo z_{c1} , k_{c1} , z_{c2} y k_{c2} , las impedancias características y constantes de propagación de los materiales 1 y 2.

Para la aplicación al caso que se expone en este trabajo, el material 1 sería una cavidad de aire, por lo que $z_{c1} = \rho_0 c_0 = 415 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, siendo ρ_0 y c_0 la densidad del aire y la velocidad del sonido en el aire, respectivamente, y $k_{c1} = \omega/c_0 = \omega/343$, donde $\omega = 2\pi f$, siendo f la frecuencia. Por otro lado, en este caso, el material 2 sería el material absorbente poroso objeto de estudio.

La frecuencia de resonancia teórica del panel perforado, con una cavidad de aire posterior, responde a la ecuación [3]

$$f_r = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{p}{d_1(d + 0.8\phi)}} \quad (3)$$

siendo d su espesor, p su porcentaje de perforación y ϕ el diámetro de las perforaciones, en unidades MKS. Al ir dispuesto el panel perforado entre la cavidad de aire y el material poroso, interviene en la formulación empleada para determinar el coeficiente de absorción como una impedancia z_r , en serie con z_2 , cuya ecuación es la siguiente [4]

$$z_r = \frac{j\omega\rho_0}{p} \left[d + \Delta d \left(1 - j \frac{k_a z_a}{k_0 z_0} \right) \right], \quad (4)$$

siendo Δd , la corrección de la longitud del cuello del resonador, equivalente a $0.8 \frac{\phi}{2}$.

Las características acústicas intrínsecas del material poroso, z_c y k_c , se han obtenido mediante el algoritmo de Delany y Bazley [5] que proporciona un grado de aproximación suficiente. Adicionalmente, ambas magnitudes fueron medidas por estos autores para un amplio número de materiales, concluyéndose que, tanto k_c como z_c dependen principalmente de la frecuencia y de la resistividad al flujo de aire σ . Una buena aproximación de los valores de z_c y k_c se obtiene a través de las expresiones

$$z_c = R + jX = \rho_0 \cdot c_0 \left(1 + 0.0571 \cdot \chi^{-0.754} - j \cdot 0.087 \cdot \chi^{-0.732} \right) \quad (5)$$

$$k_c = \alpha + j\beta = \frac{\omega}{c} \left(1 + 0.0978 \cdot \chi^{-0.7} - j \cdot 0.189 \cdot \chi^{-0.595} \right) \quad (6)$$

donde χ es un parámetro adimensional dado por: $\chi = \frac{f \cdot \rho_0}{\sigma}$.

Obtenida la impedancia característica del material y la impedancia de superficie z , según ecuación (1), es

inmediata la obtención del coeficiente de absorción, $\alpha = 1 - \left| \frac{z - z_0}{z + z_0} \right|^2$

RESULTADOS EXPERIMENTALES

Se ha realizado una amplia serie de ensayos experimentales del coeficiente de absorción acústica en tubo de Kundt, combinándose múltiples tipos de paneles perforados, con diferentes espesores, porcentajes de perforación y diámetros de perforación, y distintos materiales absorbentes porosos.

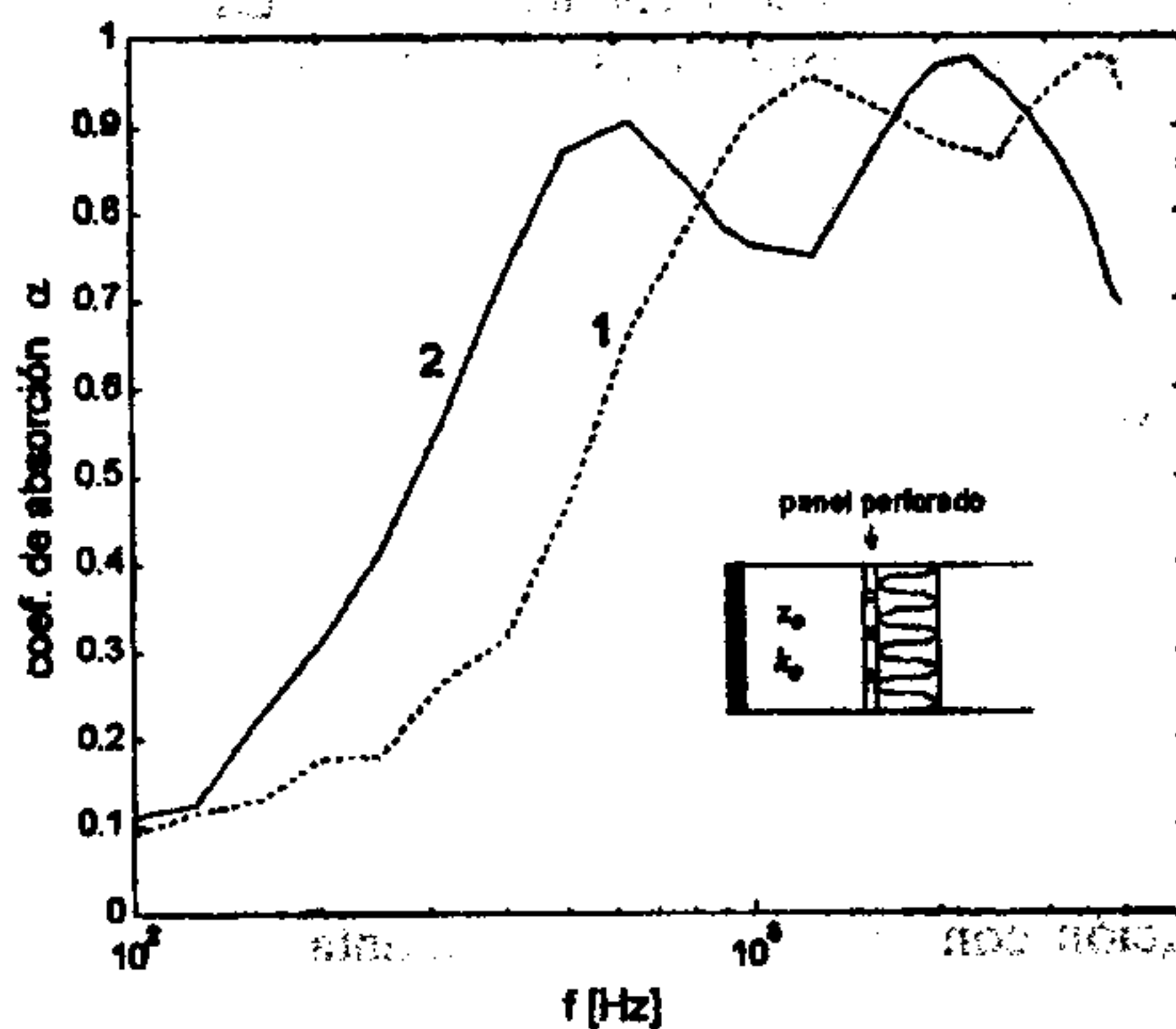


Fig. 2. Curvas experimentales del coeficiente de absorción acústica, de una espuma plástica de 29 mm de espesor, con 3 cm de cavidad de aire (curva 1), y con un panel perforado intermedio: $\phi=4\text{mm}$, $p=5.6\%$ y $d=4\text{mm}$ (curva 2).

Los materiales porosos empleados en la experimentación han consistido, básicamente, en espumas plásticas de diferentes espesores. La figura 2 muestra resultados de ensayos realizados con una cavidad de aire posterior de 3 cm. La curva 1 representa el coeficiente de absorción acústica en función de la frecuencia obtenido al disponer una espuma plástica de 29 mm con dicha cavidad de aire. En la curva 2 se observa la mejora obtenida al trasdosar dicha espuma con un panel perforado, cuyas características son: $\phi=4\text{mm}$, $p=5.6\%$ y $d=4\text{mm}$. Por supuesto, la mejora obtenida en cada caso es diferente en función de las características de dicho panel.

En las figuras 3 y 4 quedan reflejados los resultados obtenidos para un espesor de material absorbente de 9 mm, en el caso de la figura 3, y de 6 mm, en el de la figura 4. En estas figuras se recoge el efecto conseguido con 4 clases diferentes de paneles perforados, conservándose en todos los casos una cavidad de aire de 3 cm. En

la tabla siguiente aparecen las características de los 4 tipos de paneles empleados:

Tabla I

Panel	Diámetro Perforaciones (mm)	Porcentaje Perforación	Espesor (mm)
A	4.5	2.5%	3.5
B	4	5.6%	4
C	4	7.4%	4
D	3	40%	1.5

La diferencia existente entre los paneles radica principalmente en el porcentaje de perforación, porcentaje que no supera el 10% en el caso de los paneles A, B y C. Además, en estos paneles el espesor es también mayor, en torno a 4 mm, muy superior a los 1.5 mm del panel D. Estas características condicionan notablemente las curvas de absorción acústica. La frecuencia de resonancia teórica para los primeros, con la misma cavidad de aire para todos, de 3 cm, es notablemente más baja, entre 600 y 1000 Hz, mientras que para el caso de paneles de características semejantes al D, se sitúa entre 2500 y 3000 Hz, conforme a las estimaciones hechas con la expresión (3). Tal y como se observa en las figuras 3 y 4, cuanto más baja es la frecuencia de resonancia, más difícil es conseguir anchos de banda satisfactorios desde el punto de vista de la absorción acústica, debido a que el pico de absorción se estrecha a medida que se desplaza hacia frecuencias inferiores.

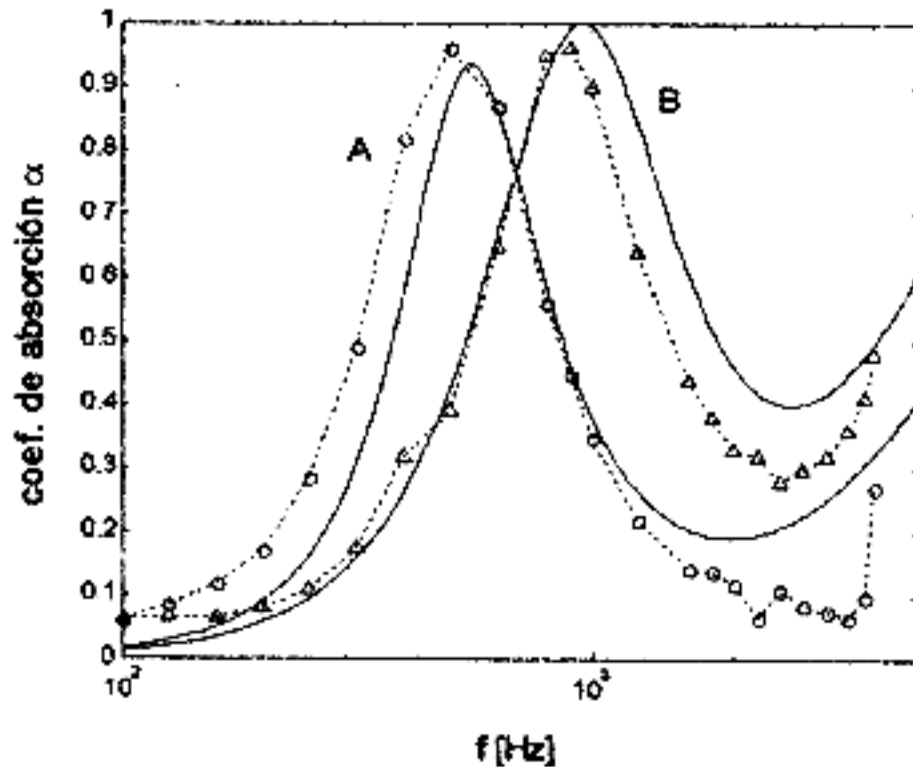


Fig. 3. Coef. de absorción acústica experimental (...) y teórico (—) obtenido con una espuma plástica de 9mm, los paneles perforados A y B (tabla I) y una cavidad de aire 3 cm.

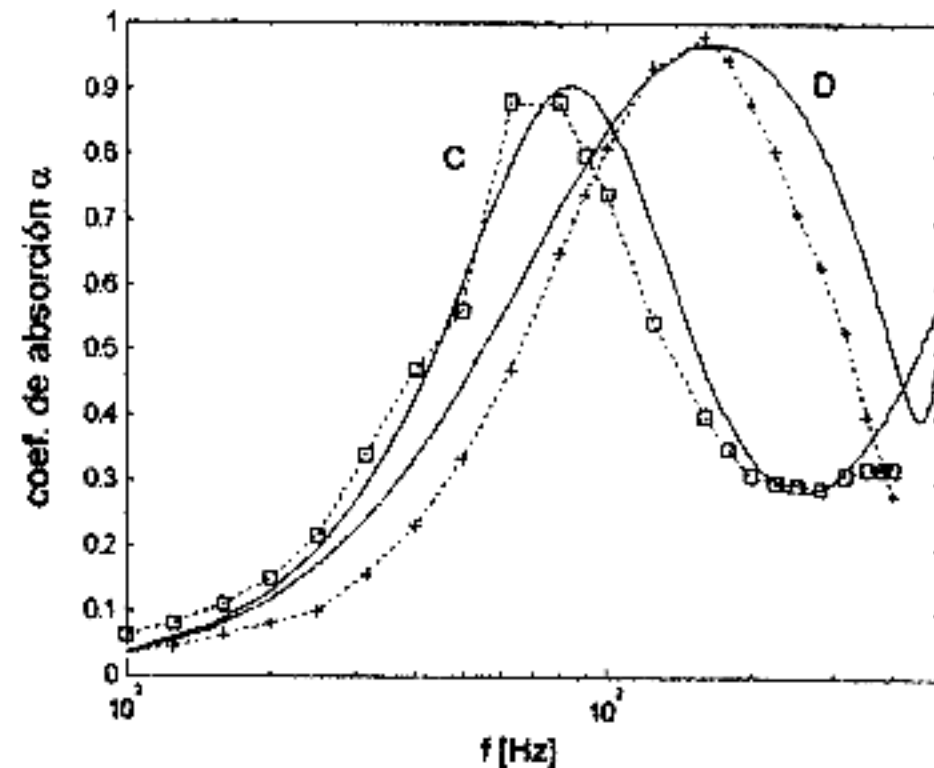


Fig. 4. Coef. de absorción acústica experimental (...) y teórico (—) obtenido con una espuma plástica de 6mm, los paneles perforados C y D (tabla I) y una cavidad de aire de 3 cm.

Junto con las curvas experimentales se han superpuesto en traza continua los valores obtenidos del modelo teórico. El tipo de espuma empleado fue el mismo en todos los casos, modificando en cada caso dentro del modelo, las características de los paneles perforados y el espesor del absorbente poroso. Las curvas teóricas obtenidas muestran una buena aproximación de los valores experimentales pudiendo emplearse como herramienta de diseño.

CONCLUSIONES

Es posible mejorar la absorción acústica de paneles planos, combinando materiales porosos y resonadores acústicos, lo que se comprueba tanto empírica como teóricamente que existe una mejora de las propiedades acústicas de materiales absorbentes porosos al complementarlos con paneles perforados, con la ventaja añadida de tratarse de materiales de precio asequible, lo que hace al producto final muy competitivo. Así mismo se pueden ajustar las curvas de absorción acústica en función de las necesidades requeridas en cada caso, pudiendo cubrirse un amplio rango de posibilidades.

Los algoritmos empleados muestran una buena aproximación con los valores experimentales obtenidos de los ensayos realizados en tubo de Kundt, aunque se ha observado la existencia de una pequeña desviación sistemática que requieren hacer un análisis posterior de optimización.

REFERENCIAS

1. L.Cremer, H.A.Müller. "Principles and applications of room acoustics", Applied Science Publishers (1982).
2. J.F.Allard. "Propagation of sound in porous media". Elsevier, London (1993).
3. C.de la Colina, A.Moreno. "Acústica de la edificación", Fundación Escuela de la Edificación, Madrid (1997).
4. L.L. Beranek: "Noise and vibration control engineering", Wiley Interscience (1992).
5. M.E. Delany y E.N. Bazley. Acoustic properties of fibrous absorbent materials. Applied Acoustics,3 (1970).