

## **CARACTERÍSTICAS ABSORBENTES DE PANTALLAS ACÚSTICAS: MEJORA DE LOS ÍNDICES DE ABSORCIÓN.**

J. Pffretzschner, F. Simón, R.M<sup>º</sup> Rodríguez, C. de la Colina

Instituto de Acústica (CSIC)  
28006 Madrid.  
Tf.: 91 5 61 88 06 Fax: 91 4 11 76 51  
E-mail iacjp36@fresno.csic.es

### **SUMMARY**

In order to optimize the performances of absorbent noise screens made with granular materials, a simplified method of calculus has been established. The goal consist in increasing the surface absorption of the screens, maintaining constant the total volume of the employed material. The validity of the theoretical approximations has been checked against experimental measurements of the developed specimens, obtained form recycled rubber crumbs of tires. in standing wave tube.

### **INTRODUCCIÓN.**

La utilización de pantallas acústicas absorbentes es imprescindible en el caso que se instalen a ambos lados de una carretera con objeto de no degradar las características de sus pérdidas por inserción. También es muy recomendable su utilización en los casos de pantalla única, o bien cuando se trate de vías de circulación dispuestas en talud, o en los casos de túneles por los que discurre la vía de tráfico, con objeto de disminuir los altos niveles sonoros a los que se ven sometidos los conductores.

En trabajos anteriores [1, 2] se ha expuesto la conveniencia de utilizar materiales contaminantes de deshecho, debidamente tratados, procedentes de la granza de neumáticos usados, como una alternativa válida y ecológica a los materiales tradicionales compuestos a base de lana de vidrio y roca. Estos nuevos materiales granulares, absorbentes acústicamente, pueden utilizarse de modo tradicional, encerrados en contenedores vacíos (metálicos, plásticos, hormigón poroso, etc.) o bien realizar barreras autoportantes, aglomerando los mismos con cementos especiales, adhesivos fenólicos, etc. Esta última alternativa presenta la ventaja de una rápida ejecución y disminución de costes.

El objetivo de este trabajo consiste en el estudio de la geometría de la cara vista del material, de forma que sin variar el volumen total del producto empleado se obtengan mejoras de las curvas de absorción acústica y con ello un incremento apreciable de los índices globales de absorción acústica asociados, de acuerdo con las especificaciones de la normativa europea [3].

### **ANTECEDENTES.**

La determinación de los coeficientes de absorción acústica de un material granular conformado de acuerdo a determinada geometría, debe realizarse en Cámara Reverberante. No obstante este procedimiento resulta muy

costoso, no solo por la medida en si, sino por la dificultad que presenta la construcción de los moldes necesarios para la elaboración de las muestras. Una alternativa cuya utilidad ha sido probada desde hace varias décadas, consiste en la elaboración de pequeñas probetas para su medida en tubo de ondas estacionarias y cuya extrapolación a la medida en Cámara Reverberante ofrece resultados con suficiente grado de aproximación [4]. En efecto, es bien conocido que la absorción acústica obtenida para una muestra cilíndrica situada en un tubo de ondas estacionarias de sección circular, que dispone de una terminación rígida, viene dada por la expresión:

$$\alpha(f) = 1 - |R_p(f)|^2 \quad (1)$$

en donde el coeficiente de reflexión  $R_p(f)$  para una onda plana propagándose en el interior del tubo es:

$$R_p(f) = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (2)$$

con  $Z_0 = \rho_0 c_0$ , impedancia específica del aire,  $Z_L$  impedancia acústica superficial de la muestra. Para el caso de una probeta cilíndrica de longitud  $L$ , que correspondería al supuesto de una pantalla plana del mismo espesor, se obtiene:

$$Z_L = -jZ_c \cot(kL) \quad (3)$$

siendo  $k$  la constante de propagación de la onda acústica en el material y  $Z_c$  la impedancia característica del mismo, que se puede calcular a través de algoritmos como los desarrollados en [2], en función de las características intrínsecas del material: tortuosidad, porosidad y resistividad al flujo de aire.

Desde hace mucho tiempo es bien conocido que la forma de la superficie incide de forma notable sobre la impedancia superficial que presenta la muestra, habiéndose llegado a la conclusión de que las formas prismáticas triangulares o cuñas, presentan una buena impedancia de "cierre" a una guía de ondas acústicas planas que incidan perpendicularmente a las superficies (recubrimientos anecoicos).

## ASPECTOS TEÓRICOS.

La figura 1, muestra una de estas probetas situada en el extremo interior de un tubo de Kundt. Si el número de escalones tiende a infinito, la forma de "zigurat" tiende a la de cuña.

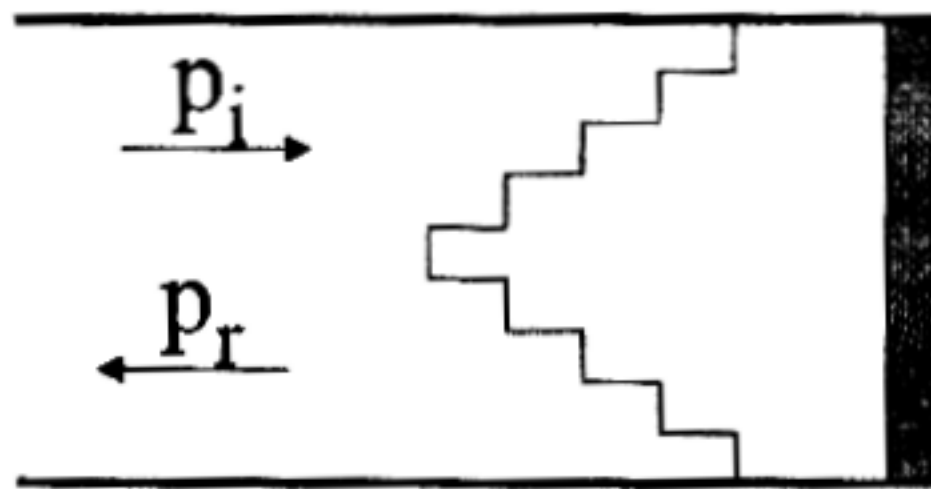


Figura 1. Corte transversal de una cuña escalonada situada en el extremo interior de un tubo de ondas estacionarias

El coeficiente de reflexión de la muestra situada en el extremo interior del tubo de ondas estacionarias se puede calcular aplicando la condición de continuidad de la presión acústica a la interfase muestra - aire.

Se parte del cálculo de las admitancias acústicas superficiales que presentan cada una de las superficies escalonadas en que se ha subdividido la probeta, refiriéndolas posteriormente a un plano de referencia (perpendicular al eje del tubo) que coincide con el borde superior de la muestra. La medida experimental en el interior del tubo se realiza para planos perpendiculares al eje del tubo, lo suficientemente alejados para que las ondas evanescentes creadas por la forma e inhomogeneidades de la superficie de la muestra desaparezcan, con lo que puede medirse y predecirse una impedancia acústica promedio según los procedimientos normalizados.

La ecuación de continuidad de las presiones acústicas puede expresarse como sigue (figura 1):

$$P_i + P_r = p_1 = p_2 = \dots = p_j \quad (4)$$

siendo  $p_1, p_2, \dots, p_j$  las presiones ejercidas sobre las superficies escalonadas de áreas  $s_1, s_2, \dots, s_j$ .

La impedancia acústica en cualquier sección transversal  $S$  del tubo es  $Z = p/U = \rho_0 c/S$ , siendo  $U$  la velocidad de la onda en la superficie ( $U_i = s_i u_i$ , con  $u_i$  = velocidad de las partículas).

El circuito mecano - acústico equivalente del sistema consiste en una línea de transmisión con una serie de impedancias de cierre, en paralelo, de forma que la impedancia acústica en cualquier plano alejado de la muestra es:



$$\frac{1}{Z_T} = \frac{1}{z_1} + \frac{1}{z_2} + \dots + \frac{1}{z_j} \quad (5)$$

o en la forma equivalente, en función de las impedancias acústicas específicas de ambos medios:

$$\frac{S}{Z_{eT}} = \frac{S_1}{z_{e1}} + \frac{S_2}{z_{e2}} + \dots + \frac{S_j}{z_{ej}} \quad (6)$$

con  $z_{ej}$  = impedancias superficiales de cada muestra referidas al plano de medida:

$$z_{ej} = Z_0 \frac{-jz_{sj} \cot(k_0 d_j) + Z_0}{z_{sj} - jZ_0 \cot(k_0 d_j)} \quad (7)$$

en la que las  $z_{sj}$  corresponden a las impedancias superficiales de cada una de las superficies de los escalones, expresadas a través de la ecuación 3, siendo  $d_j$  las alturas de cada escalón respecto al plano de medida (situado en el vértice de la "cuña"), y  $Z_0$  la impedancia acústica específica del aire.

Por último, el coeficiente de absorción del dispositivo se obtiene a través de la relación:

$$\alpha = 1 - \left| \frac{Z_{eT} - Z_0}{Z_{eT} + Z_0} \right|^2 \quad (8)$$

## RESULTADOS EXPERIMENTALES.

Las anteriores ecuaciones se han implementado en un programa de cálculo, junto con la correspondiente a la impedancia característica que se expresa según [2] a través de los parámetros intrínsecos del material: porosidad, tortuosidad y resistividad al flujo de aire, medidos previamente como se indica en [5]. En este caso, para el material compuesto de granza de caucho reciclado de granulometría de 1 a 3 mm, los valores medidos experimentalmente son: tortuosidad = 1.5; porosidad = 0.54 y resistividad = 3000  $P_{asm}^{-2}$ .

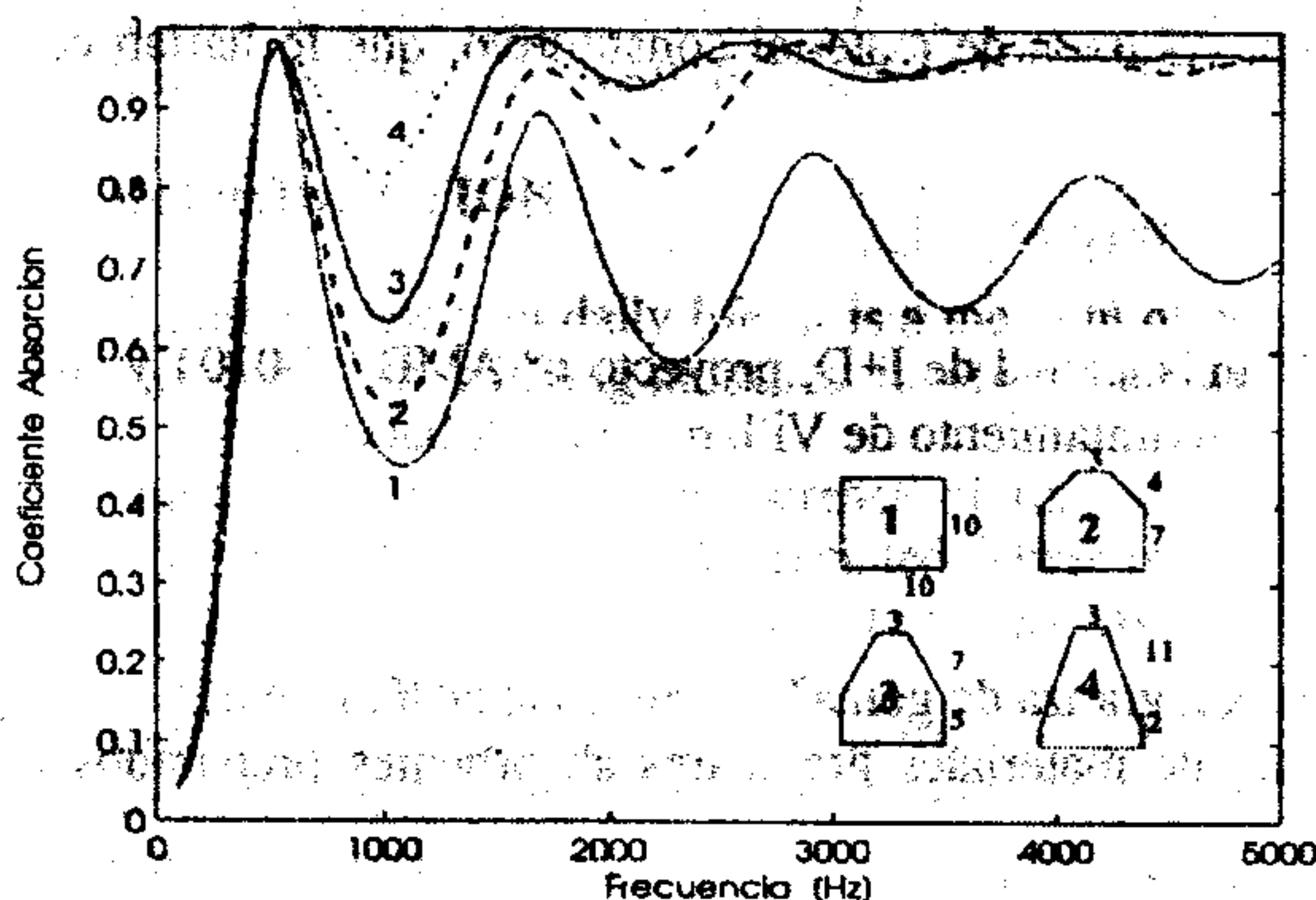


Figura 2. Absorción de diferentes probetas con volúmenes equivalentes

La figura 2 muestra los resultados teóricos obtenidos para este material, sobre cuatro probetas cilíndricas diferentes, cuyas geometría y dimensiones, en cm, se incluyen en el dibujo, y cuyo volumen es común a las cuatro. Las gráficas ponen de manifiesto que las peores características de absorción se obtienen para el cilindro regular ( $r=5cm$ ,  $h=10cm$ ), lo que correspondería a una pantalla acústica con superficie exterior plana. Las restantes corresponderían a pantallas con superficies acanaladas de sección recta como se muestran en la figura 2.

Si se extrapolan los resultados obtenidos en el tubo de ondas estacionarias a los correspondientes en Cámara Reverberante, se obtendrían los siguientes índices de absorción medidos según la norma EN 20354 [3].

Tipo de probeta	1	2	3	4
Índice de absorción en dB	7	9	10	12

La figura 3a muestra los resultados experimentales comparados con los teóricos, calculados para la probeta 2, que corresponderían al corte de un cilindro de radio 5cm (el del tubo de Kundt) con la superficie acanalada de una hipotética pantalla acústica, autoportante, compuesta de granza de caucho, reciclado de neumáticos, con una granulometría polidispersa, de 1 a 3mm de diámetro de malla. En la figura 3b, se muestran los resultados correspondientes a la misma superficie acanalada, pero en este caso la muestra corresponde a un corte cilíndrico de sección recta con un diámetro de 10 cm (sección del tubo de ondas estacionarias) que contiene una arista negativa o "valle" de la cuña. Las diferentes curvas de absorción obtenidas, son una consecuencia de los distintos volúmenes que entran en juego.

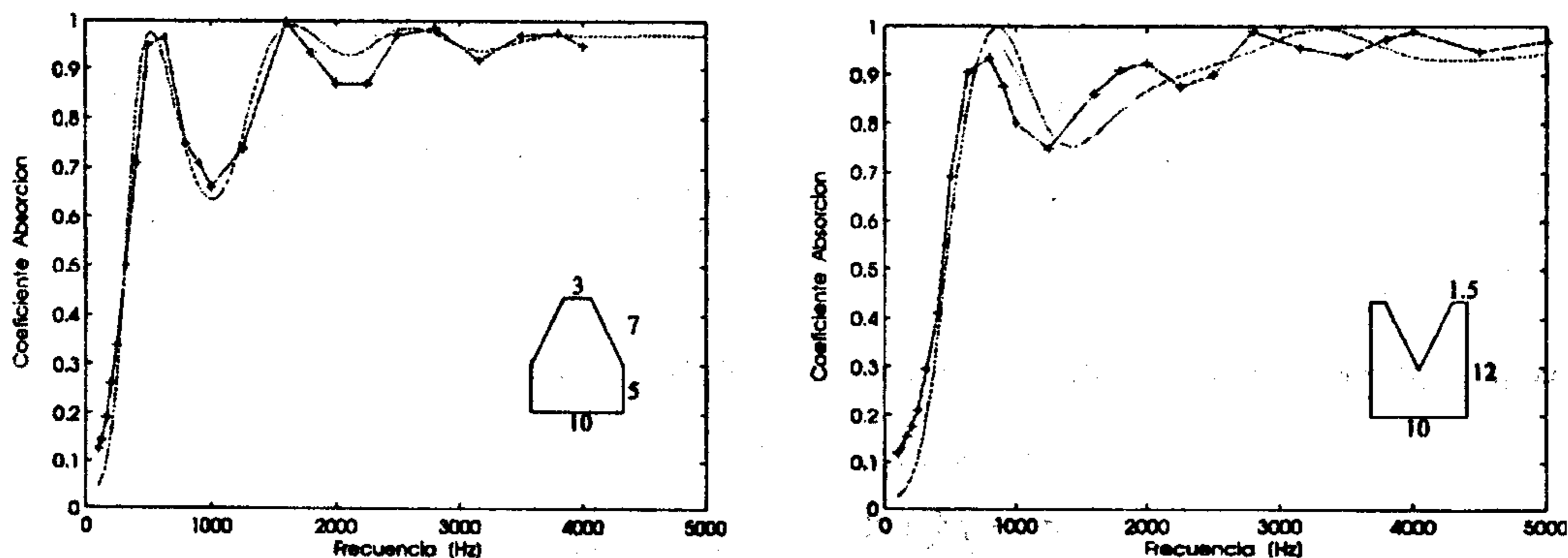


Figura 3. Absorción acústica de dos muestras diseñadas según las dimensiones de la "probeta 2" y que corresponden a dos cortes de un cilindro sobre la superficie acanalada de una pantalla acústica absorbente, que contienen en un caso el perfil "en positivo" de las cuñas (3 a) y en otro el "negativo" de las mismas (3b) para un tubo de ondas estacionarias de sección circular.

## CONCLUSIONES.

- Se demuestra, tanto de forma teórica como experimental, la conveniencia de utilizar superficies acanaladas con objeto de incrementar el coeficiente de absorción (y con ello el índice global de absorción acústica normalizado) de pantallas acústicas, sin incrementar el volumen del material utilizado.
- Los sencillos algoritmos desarrollados permiten optimizar el diseño de pantallas acústicas absorbentes en aras de su mayor eficacia, presentando bajo el punto de vista de ingeniería de diseño un suficiente grado de aproximación.
- En el caso que nos ocupa, la probeta nº 2, que combina una buena realización práctica de los moldes, con buenas condiciones mecánicas de estabilidad de la pantalla autoportante, permite incrementar el índice global de absorción acústica en tres unidades, (de 7 a 10) respecto del valor correspondiente al cilindro regular (pantalla plana). Estas pantallas acanaladas se clasificarían como pantallas absorbentes tipo A3, según EN1793-1 frente a las pantallas planas, con idéntico volumen de material constitutivo, que lo harían como tipo A2.

## AGRADECIMIENTOS.

El presente trabajo ha contado con la financiación del Plan Nacional de I+D, proyecto nº AMB 95-0101 y con la del Programa LIFE-RUENUV patrocinado por el Excmo. Ayuntamiento de Villarobledo (Albacete).

## BIBLIOGRAFIA.

1. J. Pfretzschner et al., "Pantallas acústicas realizadas con grana de goma", Tecniacústica'96, (1996)
2. J. Pfretzschner et al., "Estudio teórico experimental de materiales granulares absorbentes preparados con grana de caucho", Tecniacústica'97 (1997)
3. European Standard EN 1793-1, (1997) y Norma EN 20354.
4. A. London, "The Determination of Reverberant Sound Absorption Coefficients from Acoustic Impedance Measurements", J. Acous. Soc. Am 22, 2, pp 263-269, (1950).
5. R. M<sup>a</sup>. Rodríguez et al., "Determinación experimental de los parámetros acústicos característicos de materiales porosos de diseño", Tecniacústica'97, (1997).