

Pantallas acústicas absorbentes realizadas con granzas de goma

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

Instituto de Acústica del CSIC, Serrano 144, Madrid 28006

ANTECEDENTES

En la actualidad diferentes normativas de la UE relacionadas con la conservación del medio ambiente proponen la reutilización de los productos manufacturados. Esta normativa viene influida por la ley alemana de tratamiento de residuos de 1986 y cuyo espíritu se basa en el criterio de que toda entidad o persona que fabrique o comercialice algún producto, sea responsable del mismo hasta su total eliminación (reciclaje o destrucción) y los residuos no reciclables serán vertidos en depósitos adecuados. Estos residuos procedentes del desmenuzamiento solo se podrán depositar en forma muy costosa (en Alemania, las tasas de depósito para residuos especiales podrán alcanzar la cifra de 1000 DM/tonelada).

Estas leyes y reglamentaciones son cada vez mas respetuosos con el medio ambiente y por tanto mas restrictivas en relación con la industria del automóvil, considerado como un producto con alto impacto de contaminación medioambiental (tan solo en España se depositan anualmente 160.000 toneladas de residuos de neumáticos de los 1.5 millones que se producen en la U.E.). En esta industria el 75% de un vehículo es reciclable (3/4 partes metálicas y 1/4 no metálicas). La casi total recuperación de las partes metálicas es una acción normal de la técnica desde hace mucho tiempo, el 1/4 restante constituye un tema prioritario y con ese objetivo se investiga y se realizan los plásticos integrante de los nuevos vehículos. Sin embargo queda por resolver reciclado de los cauchos, entre los que se encuentran los neumáticos. Este dependerá del estado de envejecimiento de los mismos. Si su estado es aceptable son susceptibles de recauchutar (y en esta dirección apuntan las nuevas directivas de la UE) pero si están muy envejecidos, caso que tarde o temprano ocurre, su reciclado en productos análogos es imposible, ya que la reticulación química no es reversible, los efectos del calor y del oxígeno solo conducen a alteraciones en el propio polímero (concretamente al desdoblamiento-ablandamiento de las cadenas en los elastómeros con contenido de isopreno y a la ciclación (envejecimiento) de los otros tipos. Por tanto las medidas para la replastificación del caucho viejo siempre tienen como consecuencia una despolimerización limitada, químicamente regulable pero nunca una desvulcanización controlada.

Los neumáticos no reciclables, son arrojados a vertederos, vendidos a terceros países en vías de desarrollo, utilizados como productos de energía (en la actualidad se investiga y están en proyecto plantas de quemado con bajo índice de contaminación) o bien se pulverizan con objeto de su reutilización en pistas de deportes o su inclusión en asfaltos porosos para carreteras (en EE.UU. una ley para 1997 propone que un 20% de todas las autopistas financiadas por el Estado contengan al menos un 1% de goma en las capas de asfalto). Este tipo de asfalto poroso es capaz de reducir el nivel sonoro en 3.5 dBA frente al hormigón fino-asfalto y en 6.5 dBA frente al hormigón para velocidades de tráfico de 100 km/hora. En contenido del caucho en el betún puede ascender hasta un 15%, sin embargo es inevitable que contenga una cierta porción de sustancias aromáticas que en un futuro próximo podrá resultar indeseable por razones de salubridad.

El presente estudio, objeto de una patente realizada por el Instituto de Acústica [1], presenta los resultados de la utilización de este material de desecho, debidamente tratado, como material absorbente de estructura granular porosa, para la realización de apantallamientos absorbentes al ruido de tráfico. Con ello se cumplen dos objetivos: coadyuvar a la eliminación y reutilización de estos residuos de alta estabilidad y proporcionar un producto absorbente, con un espectro de absorción adecuado, barato y de tecnología "blanda" con fácil puesta en servicio.

BASES FISICAS DE LA ABSORCION SONORA EN MATERIALES POROSOS

El estudio teórico de un modelo de comportamiento del material conformado a partir de granza de caucho es altamente complicado. Se trata de un sistema poroso, saturado de aire, con los tamaños de granza varia-

bles dentro de rangos importantes, aún en el caso de selección previa, y que por otra parte presenta una estructura no rígida en donde los contactos entre las partículas componentes pueden tener una contribución a la disipación acústica altamente impredecible.

Efectivamente, para el caso de materiales rígidos porosos, las fórmulas clásicas parten de asumir microestructuras uniformes de poros alineados según la propagación del sonido, que se extendieron posteriormente a estructuras dispares introduciendo modificaciones que tienen en cuenta la naturaleza tortuosa de los poros y sus formas arbitrarias. Mas recientemente se introducen modificaciones del modelo teórico para tener en cuenta la distribución del tamaño de los poros o la variación de su sección recta a lo largo de su longitud.

La variable mas importante en el proceso de absorción es la resistencia específica al flujo del aire. Se ha encontrado una dependencia empírica entre la resistencia al flujo y la densidad volúmica combinada y el tamaño de los poros resultantes. Para valores análogos de la densidad la resistencia es mayor al disminuir el tamaño del poro. Por ejemplo en un símil con granzas en forma rigurosa de esferas la resistencia al flujo es inversamente proporcional al radio de las esferas. De ahí la importancia del tamaño de las granzas y del interés en mantener este tamaño lo mas controlado posible y con poca dispersión.

El modelo empírico mas sencillo, el de *Delany y Bazley* [2], se basa en este "único" parámetro y resulta de una linealización del modelo de Rayleigh en el rango $10 \leq (f/\sigma) \leq 600$, siendo f la frecuencia en hercios y σ la resistencia al flujo del aire, en unidades cgs. Fuera de este rango los valores reales se apartan progresivamente de las predicciones de este modelo empírico.

A lo largo de los últimos años se han desarrollado diversos modelos con un número variable de parámetros entre los que se incluyen la forma constitutiva de los poros. *Attenborough* [3] asegura que la influencia de la forma del poro en un material poroso con determinadas resistencia al flujo, tortuosidad, y porosidad, puede considerarse despreciable en el margen de frecuencias de interés (espectro medio y bajo de audiofrecuencia). Sin embargo, en el modelo a desarrollar para el material en estudio se debe tener en cuenta la relación entre una función de densidad (que debería tener forma compleja) y que representará los efectos de la viscosidad y la función compleja de la compresibilidad que englobará a su vez los efectos térmicos en los poros. Dentro de esta aproximación el modelo utilizado contempla una capa de material de determinadas características físicas, (porosidad Ω , tortuosidad Q , resistencia al flujo del aire σ , densidad compleja $\rho(\lambda)$ y compresibilidad compleja $C(\lambda)$, siendo λ un parámetro sin dimensiones que es función de la frecuencia de la densidad del aire y de Q y Ω . A partir de estos parámetros pueden calcularse la impedancia característica y la constante de propagación del material y por tanto el coeficiente de absorción a del material en función de la frecuencia como variable de interés mas generalizado en las aplicaciones de ingeniería.

Aún manteniéndonos en la hipótesis de materiales porosos rígidos, el modelo puede complicarse ad infinitum, si en la microestructura del material se considera que los poros tienen ramificaciones laterales lo que llevaría a la consideración de una tortuosidad dinámica que podría expresarse a través de una longitud característica y de la variación del tamaño de los poros a lo largo de su longitud.

Puede suceder además que la parte sólida ("estructura") participe de manera importante en la propagación acústica en forma de una onda independiente de la que se propaga por vía aérea y con la que se acopla en mayor o menor grado [4]. El resultado es una modificación del comportamiento absorbente resultante, modificación tanto mas importante cuanto mayor sea la presencia de esta onda en vía sólida [5].

La consecución de un modelo adecuado, permitirá establecer un algoritmo de predicción del comportamiento del material que estudiamos, así como las pautas necesarias para su conveniente modifi-

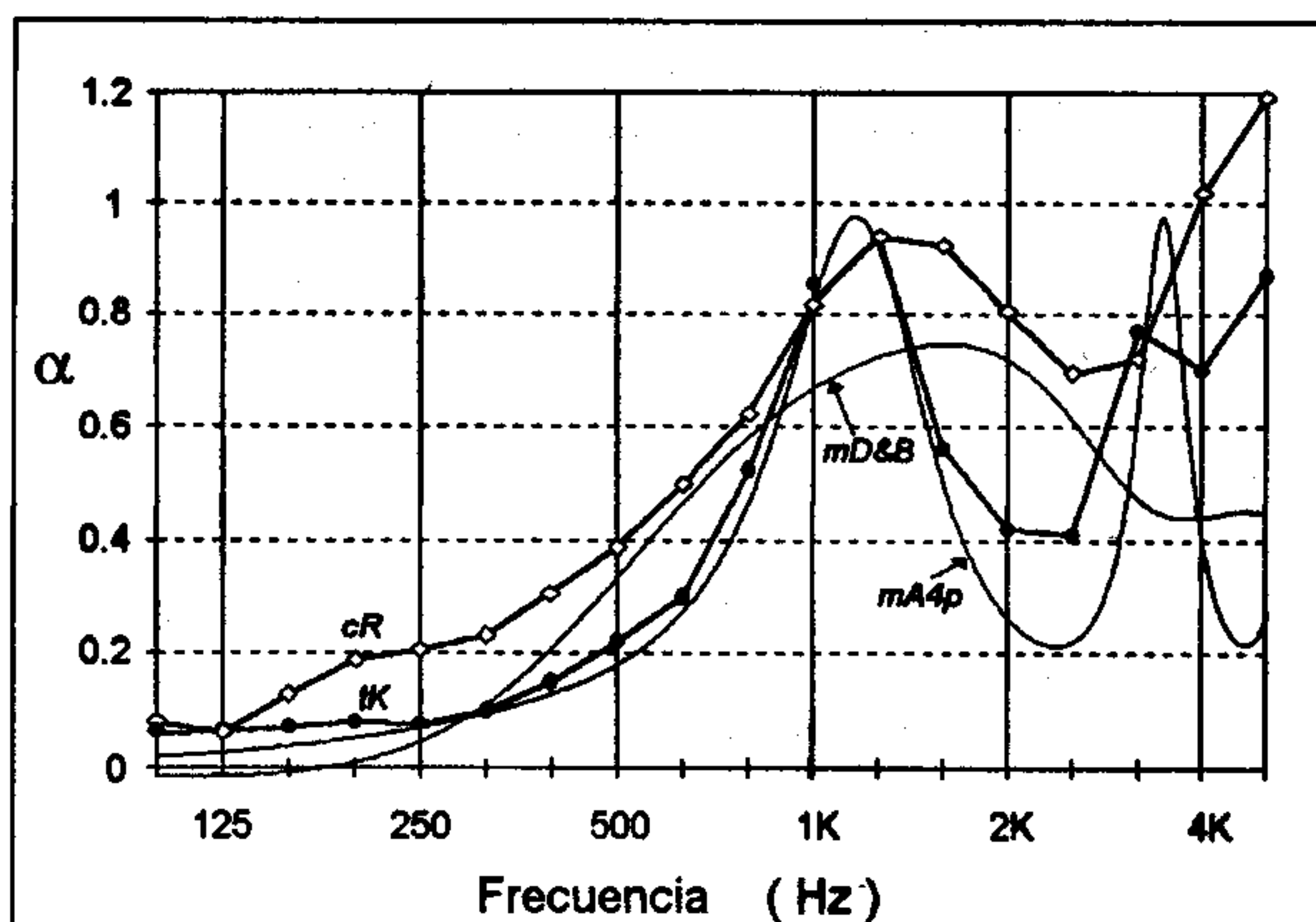


Figura 1. Absorción sonora de una capa de 5 cm.

cación, y los rangos de modificación viables, en función de las propiedades acústicas deseadas.

ENSAYOS Y RESULTADOS PRELIMINARES

La validez de un determinado modelo debe contrastarse a través de ensayos acústicos de precisión que establezcan su grado de correlación.

En el caso que nos ocupa, se está interesado en la realización de dispositivos absorbentes, con un espectro de absorción adecuado ante el principal agente contaminante acústico medioambiental que es el ruido de tráfico.

Dos son las vías de acción para este tipo de ensayos. La primera se realiza en el tubo de Kundt, que si bien tiene el inconveniente de arrojar valores del grado de absorción de un dispositivo solo para incidencia normal (α depende del ángulo de incidencia) sin embargo presenta la gran ventaja de la preparación de pequeñas muestras fáciles de construir y de manejar.

El segundo procedimiento consiste en ensayar el modelo a escala real en cámara reverberante. Los resultados se aproximan más a situaciones reales encontradas en la práctica tanto desde el punto de vista de las características del campo sonoro como de la configuración estricta del absorbente. Por otra parte para este tipo de materiales de reacción local existe una relación entre ambos coeficientes, claro está que con las consiguientes tolerancias.

A estos fines conformamos unos prototipos de absorbentes a partir de granza de los neumáticos desechados en vehículos, para diferentes tamaños de granzas. Este nuevo material conformado, puede presentar una buena alternativa para la absorción del ruido de tráfico, como veremos en lo que sigue.

En la *Figura 1* aparecen los coeficientes de absorción de una capa de 5 cm de espesor sobre fondo rígido, con tamaño de granza 117, medidos en tubo de Kundt (*tK*) y en cámara reverberante (*cR*). La *Figura 2* corresponde a un espesor de 9 cm. En estas figuras se han superpuesto los valores teóricos calculados mediante el modelo de *Delany y Bazley (mD&B)* y mediante un modelo de *Attenborough* de cuatro parámetros (*mA4p*) en donde se aprecia la deficiente aproximación del primero y la muy buena del segundo cuando se comparan con los resultados experimentales particularmente los encontrados en tubo de ondas estacionarias.

Los valores del índice global, $D_{1,\alpha}$, de absorción y clasificación, según la norma europea [6] resultan de 5,35 para el espesor de 5 cm y 8,49 para 9 cm lo que las califica de absorbente y altamente absorbente respectivamente en la norma alemana correspondiente [7].

En la *Figura 3* se muestra el efecto del espesor en el coeficiente de absorción, que puede resumirse en un desplazamiento de la curva de absorción hacia las bajas frecuencias al aumentar el espesor del material, a razón de una octava por duplicación de espesor, lo que constituye un criterio para aumentar la absorción en bajas frecuencias.

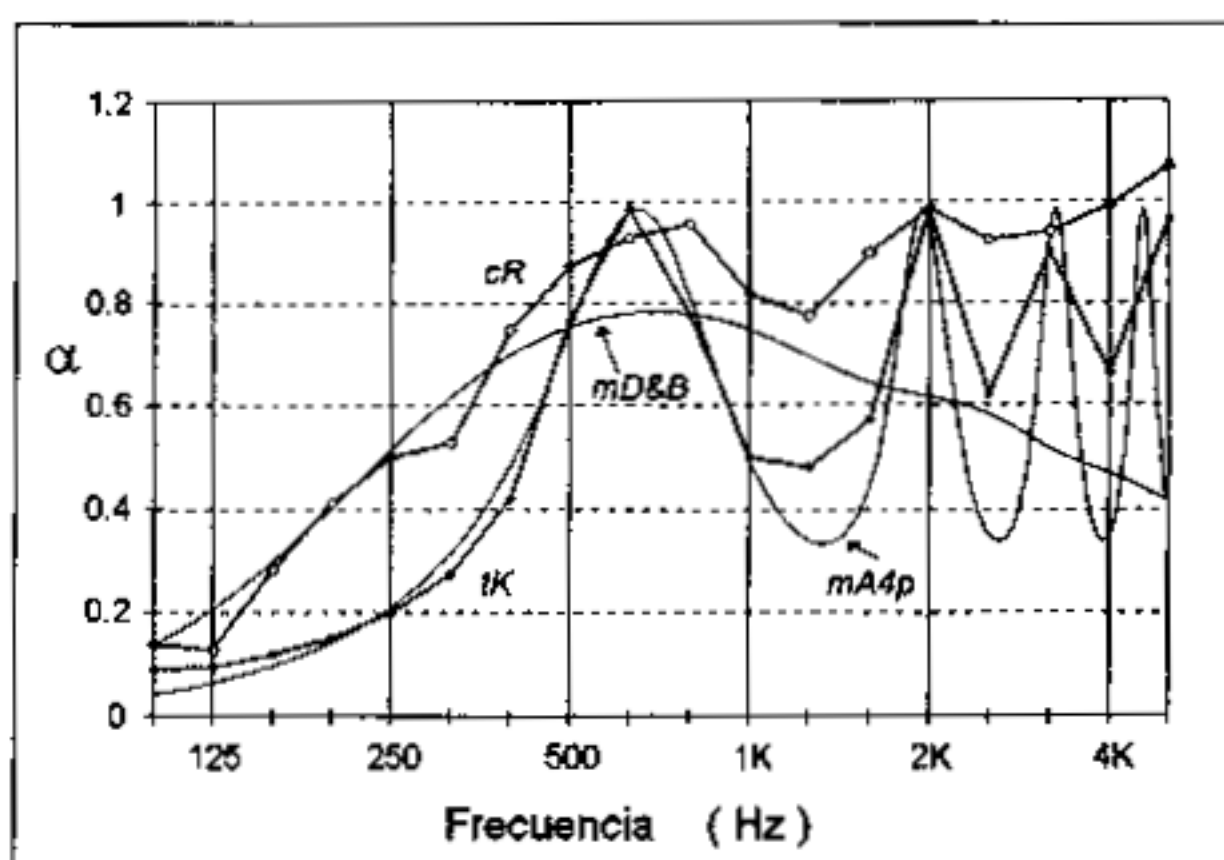


Figura 2. Absorción sonora de una capa de 9 cm.

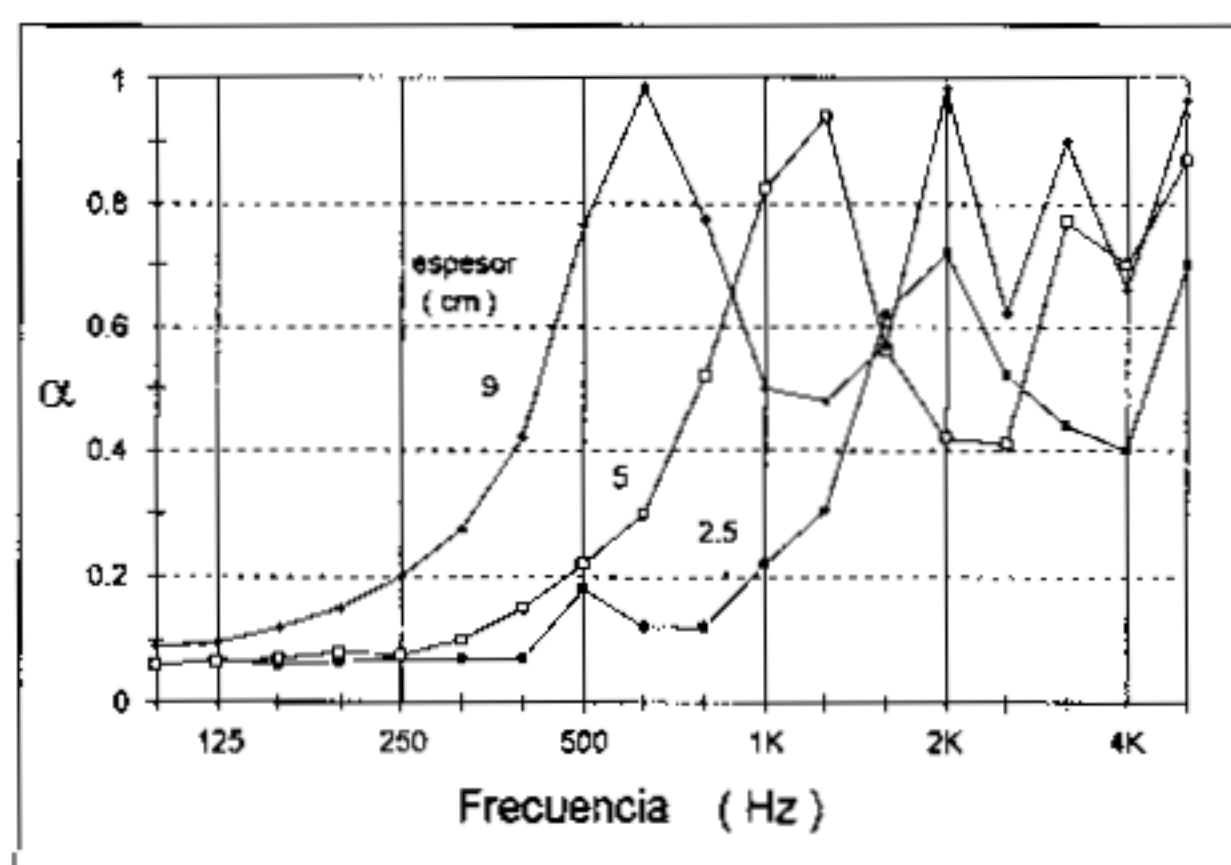


Figura 3. Absorción sonora en tubo de Kundt. Granza 117.

Hay que resaltar que aunque los materiales porosos son absorbentes predominantes de frecuencias altas [8], las curvas de absorción obtenidas para espesores del orden de *10 cm* ya cubren bien el espectro del ruido de tráfico ponderado A.

La integración en pantallas anti ruido requiere finalmente cuantificar la influencia de los elementos de panelación en la absorción del producto resultante.

La investigación en curso, pretende optimizar el modelo teórico de modo que permita mejorar este nuevo material absorbente como producto comercial altamente competitivo.

BIBLIOGRAFIA

[1] J. Pfretzschner, F. Simón, A. Moreno, C. de la Colina, Pat. Invención nº9502536, 1995;

[2] M. E. Delany, E. N. Bazley, Applied Acoustics 3, pp 105-116, 1970;

[3] K. Attenborough, Acta Acustica, pp213-226,1993;

[4] M. A. Biot, J. A. S. A. Vol. 34, n.9, pp 1254-1264, 1962;

[5] J. F. Allard, Acustica 56 (1984)221-227;

[6] European Standard, prEN 1793-1, 1995;

[7] ZTV-LSW 88,1988

[8]A. Moreno, Revista de Acústica, vol. VI, núm. 3 (1975), 135-142.

RECONOCIMIENTOS

Este trabajo se enmarca en el Proyecto de Investigación AMB 95-0101, del Plan Nacional de I+D, DGICYT.