

OPTIMIZACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS ABSORBENTES DE MATERIALES GRANULARES RECICLADOS

REFERENCIA PACS: 43.20.Gp, 43.50.Gf

R. M^a. Rodríguez, F. Simón, J. Pfretzschner
Instituto de Acústica (CSIC)
Serrano 144
28006 Madrid. España
Tel: 34 915 618 806
Fax: 34 914 117 651
E-Mail: iacjp36@ia.cetef.csic.es

ABSTRACT

In this article theoretical as experimental aspects about the possibility of optimising the acoustic absorption behaviour of granular materials is shown.

The frequency absorption spectra, for mono or polydisperse materials, can be modelled both under its well-established criteria. In this way, a final product can be obtained, optimising its acoustic and mechanical aspects.

RESUMEN

En trabajos anteriores se ha mostrado la posibilidad de utilizar la grana de neumáticos usados para conformar materiales acústicos absorbentes con coeficientes y espectros acústicos adaptados al tipo de ruido.

En este trabajo se profundiza mas en esta idea mostrando aspectos teóricos y experimentales de materiales bien monodispersos o polidispersos en los que la variación del coeficiente de absorción en función de la frecuencia puede diseñarse según criterios establecidos a priori, dando como resultado final un producto optimizado tanto bajo los aspectos acústicos como físicos para su mejor maniobrabilidad

INTRODUCCIÓN

La aplicación de materiales absorbentes en capas de espesor variable sobre un fondo u estructura rígida presenta una absorción selectiva con la frecuencia que depende del espesor de la capa y de las características microestructurales del material. A su vez, la elección del material absorbente depende del problema de ingeniería planteado. Generalmente en interiores donde se requieren volúmenes discretos con gran capacidad de absorción, se recurre a lanas o fibras minerales, modelando la capacidad de absorción del dispositivo a través de formas (terminaciones anecoicas), y/o superficies expuestas (resonadores con ancho de banda controlado). Por el contrario, en exteriores o en ambientes con grandes cantidades de polvo o en aquellos que requieran un alto nivel de limpieza, se utilizan cada vez con mayor profusión materiales absorbentes granulares, con capacidad potencial de limpieza periódica de su estructura, sin que se produzca merma de sus características acústicas.

En los últimos años, el Dpto. de Acústica Ambiental del Instituto de Acústica realiza investigaciones sobre la recuperación de materiales de deshecho, con un alto grado de contaminación del medio ambiente, como son los neumáticos usados, y que a través de un tratamiento adecuado pueden convertirse en excelentes materiales acústicos, con propiedades mecánicas y de durabilidad que les hace idóneos para su instalación en exteriores, como es el caso de pantallas acústicas antiruido [1], con lo que se contribuye a resolver el grave problema de los vertederos incontrolados de neumáticos.

En este trabajo se incide de nuevo en esta temática, introduciendo modificaciones en la estructura interna del mismo, o bien en sus detalles constructivos que permiten incrementar o modificar a conveniencia su capacidad y espectro de absorción, y/o disminuir la densidad superficial del producto terminado, con lo cual se incrementa su manejabilidad cuando se trata de la instalación de grandes paneles.

ASPECTOS TEÓRICOS

La absorción acústica de una plancha de material absorbente de tipo granular depende del balance energético e interacción de las ondas incidentes que penetran en el mismo y las reflejadas en el fondo de la plancha y que para simplificar el modelo, la suponemos rígida; es decir con una impedancia acústica infinita.

La relación entre las presiones incidente y reflejada determinan la impedancia superficial de la capa, a través de la velocidad compleja de propagación de la onda acústica en su interior y del espesor, e , de la misma, según la conocida relación:

$$Z_S = -jZ_C \cot(k_C e) \quad (1)$$

siendo Z_C la impedancia característica del material y k_C su número de onda. También es conocido el coeficiente de reflexión del material, expresado a través de la impedancia específica del aire $r_0 c$:

$$R = \frac{Z_S - r_0 c}{Z_S + r_0 c} \quad (2)$$

así como el coeficiente de absorción de la muestra, dado por:

$$\alpha(f) = 1 - |R|^2 \quad (3)$$

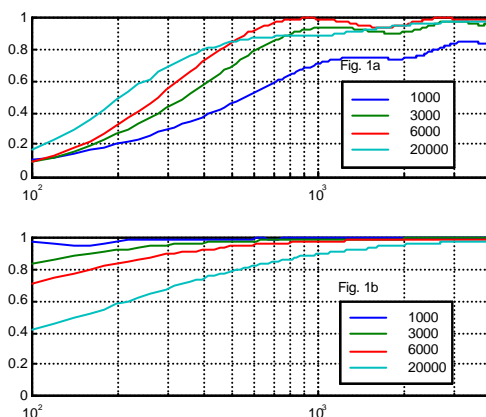


Figura 1

Cuanto mas se parezca Z_S a $r_0 c$ tanto menor será la energía reflejada y por tanto mayor la absorción del material en la banda de frecuencia en estudio. Este tema ya se discutió en [...] así como posibles soluciones para optimizar el diseño de estos absorbentes. Solo en el caso de una ventana abierta se obtiene un coeficiente de reflexión cero y por tanto un coeficiente de absorción uno.

En los materiales fibrosos, para espesores pequeños, el coeficiente de absorción en función de la frecuencia aumenta a medida que lo hace la resistividad al flujo de aire. A partir de un cierto espesor de material, se comprueba que la capacidad de absorción en bajas frecuencias es mayor cuanto mas "ligero" sea el material; es decir cuanto menor sea el valor de la resistividad.

La figura 1 muestra gráficamente lo anteriormente expuesto. Así en 1a, se presenta la variación de la absorción acústica en función de la frecuencia de cuatro muestras de 9 cm de espesor, excitadas en un campo acústico de ondas planas. La resistividad al flujo de aire, σ , de las muestras es $\sigma = 1000, 3000, 6000$ y 20000 Nsm^{-4} que tras aplicar las relaciones empíricas de Delany y Bazley para el cálculo de la Z_c conducen a un orden creciente de los valores de

absorción de las respectivas curvas, tomando como criterio el área limitada bajo la curva de absorción con los ejes x e y, que corresponden respectivamente al de frecuencias y coeficiente de absorción. Este orden creciente con la σ , sin embargo, se invierte cuando el espesor de la muestra se aumenta notablemente. Así en la figura 1b) la curva con un mayor coeficiente de absorción a en función de la frecuencia corresponde a la de σ mas bajo (1000 Nsm^{-4}) para un espesor de las muestras de 90 cm .

Recuérdese que en este principio, y de forma empírica, se basaban las primitivas "cámaras sordas", construidas a partir de diferentes capas de gases, arpilleras, franelas ,etc.; tejidos cuya "transparencia" aumentaba en orden creciente desde el fondo de las paredes al interior del recinto [2]. Posteriormente con la idea de E. Meyer [3] comenzó la era de las cámaras anecoicas recubiertas con todo tipo de cuñas, lo que supuso un cambio de estrategia en el diseño de recintos con paredes altamente absorbentes.

En los materiales granulares con características intrínsecas prefijadas (valores de la porosidad, tortuosidad y resistividad al flujo de aire) se comprueba que a medida que aumenta el espesor de la capa, la impedancia superficial tiende al valor de la impedancia característica del material, lo que conduce a ciertos valores asintóticos de la absorción (menores de la unidad) para grandes espesores.

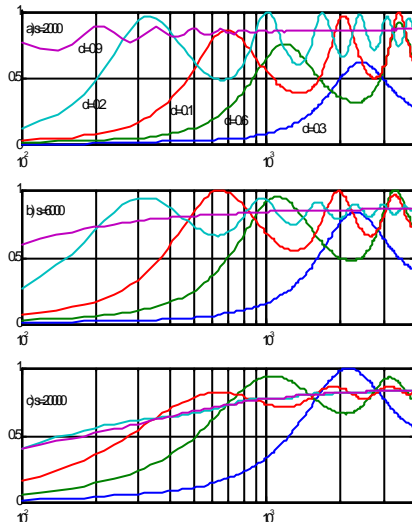


Figura 2

ambos tipos de materiales cuando se ensayan a incidencia normal en un campo acústico de ondas planas.

La aparición de máximos y mínimos en la curva de $a(f)$ está asociada a la onda reflejada en la impedancia de cierre y a su composición con la onda incidente. A medida que la amplitud de la onda reflejada disminuye (por absorción energética en el interior del material) hace que la curva suavice estos extremos, lo que ocurre cuando aumenta el valor de s el espesor de la capa, o la conjunción de ambos hechos (ver figs. 1 y 2). En los materiales fibrosos se consigue este comportamiento para espesores pequeños (varios cm), observándose un valor asintótico de $a(f)$ que tiende al valor uno rápidamente, mientras que en los granulares y para espesores mucho mayores, el valor asintótico del coeficiente de absorción es menor que uno.

Por el contrario, en los materiales granulares para espesores reducidos, si bien los máximos de absorción pueden alcanzar el valor $a = 1$ para ciertas frecuencias, su funcionamiento total corresponde mas al de un absorbente selectivo en bandas de frecuencia. En los fibrosos cabría hablar de bandas de absorción tipo paso alto en donde la frecuencia de corte será tanto mas baja cuanto mayor sea el espesor de la capa.

En general, para valores usuales de s ($1000 < s < 10000 \text{ Nsm}^{-4}$), $a(f)$ aumenta a medida con el espesor, d , de la capa, aunque puede suceder que para valores altos de s se llegue a un punto de saturación para un espesor dado, de forma que aumentar excesivamente éste puede resultar contraproducente en el margen de frecuencias de interés, como puede apreciarse en la figura 2c, para $s = 20000 \text{ Nsm}^{-4}$, en los que las curvas correspondientes a espesores de 20 y 90 cm se entrecruzan, lo que establece un límite operativo de espesor en la utilización del material, (los espesores de las capas consideradas son: $d=0.03, 0.06, 0.1, 0.2,$ y 0.9m , y las resistividades: $s = 2000, 6000,$ y 20000 Nsm^{-4}).

Fenomenológicamente, el comportamiento de los materiales fibrosos y granulares es análogo, y las diferencias en las curvas de absorción $a(f)$ para espesores razonables son debidas a los ordenes de magnitud de s para

Esta limitación del valor asintótico de $\alpha(f)$ en los materiales granulares condujo a la idea de diseños especiales corrugando las superficies de las capas, en formas prismáticas para las que a igualdad de volumen de material empleado, se consigan áreas de absorción mayores (según el criterio establecido en este trabajo) [4].

En las superficies prismáticas, la impedancia superficial es una función de punto que depende de la profundidad que existe entre la superficie del material y la impedancia de carga trasera. Esta función, que depende de la geometría del dispositivo, permite optimizar las características acústicas del espectro de absorción para cada material.

IMPLEMENTACIÓN DE MEJORAS

La consecución de un dispositivo con altas características de absorción en el dominio de las frecuencias graves (apropiado para el ruido de tráfico p. ej.) conlleva espesores del orden de 10 cm en valor medio (altura media de los prismas, como los descritos en [3]) lo que en el caso de granza de goma de neumáticos, con una granulometría 1/3mm mas los adhesivos correspondientes conducen a una masa superficial de 58 kg/m², como sucede en el

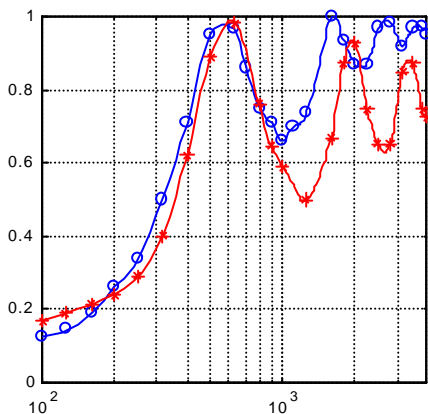


Figura 3

caso de la construcción de pantallas acústicas autoportantes con paneles de 2x0.5 m². Estos paneles deben ser manejados por dos operarios para su instalación en las dobles T. Aligerar el peso de los paneles supone una mejora en la maniobrabilidad de los mismos y con ello un incremento de la productividad en el montaje. A modo de ejemplo, en la figura 3 se muestra la absorción de un prisma truncado piramidal de base cilíndrica 5cm, 7cm de altura de la pirámide y 3cm de sección correspondiente a su vértice, con un cilindro hueco en su interior de material granular conformado por presión en el moldeo del mismo. En este caso se trata de un cilindro hueco de 100 cm³ en el volumen total de la cuña (783 cm³), lo que representa una pérdida de peso del 13% del total. En la figura se presentan los resultados experimentales de las curvas de absorción del espécimen con (*) y sin (o) el hueco de aire interior. Las variaciones en los espectros de absorción obtenidos pueden aprovecharse en beneficio de la linealización de la curva de absorción resultante, a través de un mosaico de paneles con ambos tipos de materiales.

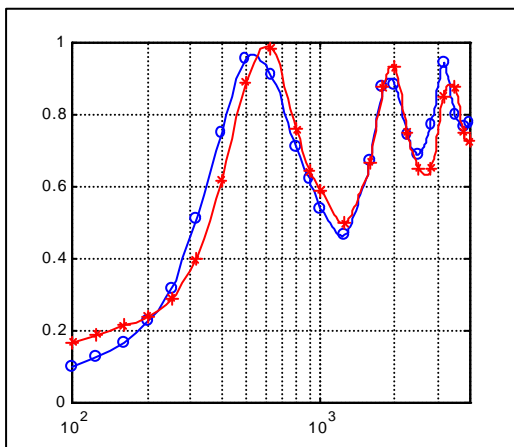


Figura 4

Otras posibilidades de mejora en el peso total del dispositivo consiste en una adecuada mezcla de granzas de distinta densidad y con granulometrías controladas. Así en la figura 4 se muestran dos probetas cilíndricas de 9 cm de profundidad y con distintos tipos de materiales granulares. En trazo azul (o) se presenta el modelo tomado como referencia con granza de caucho de 1/3 mm y en rojo (*) otro con la misma granulometría entre sus distintos materiales componentes pero cuyo peso total se ha disminuido en un.50.%.

Implementación de pantallas absorbentes con gran ancho de banda.

En los apartados anteriores, el diseño del dispositivo absorbente se ha adaptado a su funcionalidad como pantalla absorbente ante el ruido de tráfico producido por la rodadura de vehículos ligeros, ya que la curva de absorción corresponde aproximadamente al espectro normalizado de este tipo de ruido.

Disminuir el espesor de los paneles planos o bien el perfil de los paneles prismáticos, conduce a un desplazamiento de las curvas de absorción hacia las altas frecuencias. Por el contrario, si se desea desplazar el espectro de absorción hacia las bajas frecuencias, manteniendo constante la composición y el peso unitario del panel, se puede recurrir a la solución tradicional de establecer un espacio de aire controlado entre el fondo rígido (capa aislante de la pantalla) y el material granular conglomerado.

La expresión analítica para el cálculo predictivo se obtiene fácilmente sin mas que aplicar de forma reiterada la ecuación [5]:

$$Z_s = Z_c \frac{-jZ_{s-1} \cot(ke) + Z_c}{Z_{s-1} - jZ_c \cot(ke)} \quad (4)$$

en donde Z_s corresponde a la impedancia superficial de la capa en estudio, Z_{s-1} a la impedancia superficial de la capa anterior (que en el caso de corresponder a la primera capa de aire de separación de la muestra del fondo viene dada por la ecuación (1)); k y Z_c al número de onda e impedancia característica del material de la capa considerada.

La figura 5 muestra la variación experimental, y su comparación con la cuña piramidal

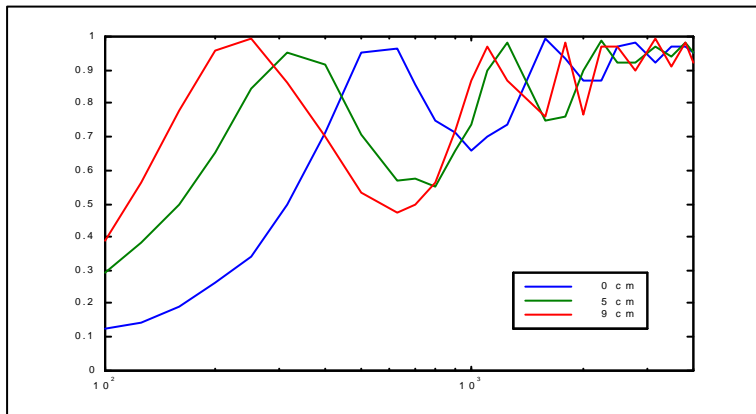


Figura 5

de referencia de la figura 3 realizada con granza de goma de 1/3 mm utilizada en este trabajo, apoyada directamente sobre la impedancia rígida de cierre del tubo de ondas estacionarias y con espacios de aire de 5 y 10 cm respectivamente.

El diseño mediante un sencillo programa de ordenador permite combinar adecuadamente los distintos interespacios de forma que

la acción conjunta de estos ofrezcan un material absorbente con una mejora notable de absorción en bajas frecuencias manteniendo el peso total del panel. El procedimiento permite diseñar estructuras perfectamente adaptadas a los espectros de ruido que se desea controlar.

CONCLUSIONES

A lo largo de este trabajo se ha presentado la posibilidad de optimizar las propiedades absorbentes de paneles acústicos confeccionados con granza de caucho de neumáticos usados, bien partiendo de volúmenes prismáticos con espacios de aire controlados o bien a través de mezclas de materiales granulares de distintas densidades. La elección de una u otra opción permite desplazar la curva de absorción en una o varias octavas hacia las bajas frecuencias, o bien aligerar el peso del panel resultante hasta un 50%.

Estas soluciones junto con la posibilidad de diseñar el perfil prismático mas adecuado al problema planteado, permite calificar a los absorbentes realizados con caucho reciclado, como excelentes materiales para estos propósitos. El lector se habrá percatado que las soluciones expuestas no son únicas, existiendo un sinfín de combinaciones a su alcance con sorprendentes resultados de aplicación.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se enmarca dentro del Proyecto de Investigación AMB 98-1029 del Plan Nacional de I+D de la DGICYT.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Pfretzschner et al. Pantallas acústicas absorbentes realizadas con granza de goma. *Tecniacústica* 96, 251-254, 1996
- [2] E. H. Bedell, Some data on a room designed for free field measurements. *Jour. Ac. Soc. Am.* 8, pp.118, 1936
- [2] E. Meyer et al., Eine neue Schluckanordnung hoher Wirksamkeit und der Bau eines schallgedämpften Raumes. *Ak. Zeitschr.*, 5,1940, 352
- [4] J. Pfretzschner et al. Características absorbentes de pantallas acústicas: mejora de los índices de absorción, *Tecniacústica* 98, 311-314, 1998
- [5] J.F. Allard *Propagation of Sound in Porous Media: Modelling Sound Absorbing Materials.* Ed.-Elsevier, 1993.
- [6] J. Pfretzschner et al Simplified calculus to estimate the acoustical absorption of non planar materials. *Jour. Ac. Soc. Am.* 105, nº2 1316, 1999.