

## ABSORBENTES ACÚSTICOS DE BANDA ANCHA CONSTITUIDOS POR MATERIALES CON FIBRAS Y CELULOSA

PACS:43.20.Gp

J. Pfretzschner; C. de la Colina, F. Simón  
Instituto de Acústica  
Serrano 144  
28006 Madrid  
Tel: 915 618 806  
Fax: 914 117 651  
E-Mail: [iacjp36@ia.cetef.csic.es](mailto:iacjp36@ia.cetef.csic.es)

### ABSTRACT

Today it is possible to obtain broad band absorbers without using fibrous or granular materials .

In our case, the purpose is the utilisation of veils of different textiles and materials, with reduced thickness and surface density but with adjusted flow resistance in order to obtain optimal acoustic absorption.

The paper shows the results obtained through the acoustical absorption of veils of different nature, that it can be very competitive in front of the traditional materials.

### RESUMEN

Una visión ampliada de la acústica aplicada permite la obtención de dispositivos absorbentes de banda ancha con otro tipo de materiales distintos a los fibrosos o granulares, como las mantas de lana mineral y el hormigón poroso.

En este caso, se trata de utilizar velos de los mas diversos tejidos y materiales, con espesor y densidad superficial reducidos pero con resistencias al flujo ajustadas a los valores que permiten conseguir una absorción acústica óptima.

El trabajo muestra los resultados obtenidos del estudio de la absorción sonora de velos de diferente naturaleza que pueden resultar muy competitivos frente a los materiales absorbentes mas utilizados tradicionalmente.

### ASPECTOS HISTÓRICOS

Desde hace una década, la tecnología de los materiales absorbentes ha experimentado un gran salto. En efecto, en la actualidad se obtienen dispositivos absorbentes de banda ancha sin tener que recurrir a materiales fibrosos o granulares.

Ya desde los años 70/80 por parte de Maa [1] y de Cremer [2] se utilizaron los paneles microperforados como absorbentes acústicos de banda ancha. Ello ha permitido magníficas soluciones a partir de paneles ópticamente transparentes para el acondicionamiento “invisible” de grandes salas, como la plenaria del Bundestag de Berlín [3], o en láminas metálicas resistentes a elevadas temperaturas (toberas de motores a reacción), ambas microperforadas con láser. En otros casos, en donde debe prevalecer la asepsia, o bien en ambientes con mucho polvo en los que los materiales fibrosos se colmatan, o en aquellos ambientes con un alto grado de humedad relativa, está particularmente indicada la utilización de este tipo de materiales.

Estas soluciones acústicas son caras, pero en la actualidad existe una solución económica aplicable a situaciones de uso general y no tan específicas como las mencionadas anteriormente: se trata de la utilización de finas hojas porosas separadas cierta distancia de una pared rígida. Estas hojas, o velos pueden estar fabricadas con los mas variados materiales: celulosa, tejidos, hilos metálicos, etc.

En ambos casos, el principio de funcionamiento del proceso de absorción acústica es el mismo: disipación de la energía acústica en el velo como resultado de las pérdidas por fricción de la velocidad de las partículas de aire en los intersticios, a través de mecanismos resistivos y reactivos. Estas pérdidas que pueden calcularse para orificios redondos o rectangulares, pueden medirse de forma experimental a través de la resistividad al flujo.

## VELOS ABSORBENTES

Se consideran velos de material poroso, formado por la superposición de fibras no necesariamente tejidas, sino entrelazadas debido a un proceso de prensado o a un ligero pegado mediante resinas, de forma que presenten una resistencia al flujo homogénea a lo largo de la superficie del velo.

Dado el reducido espesor de este material, por si mismo no presenta capacidad de absorción acústica cuando se coloca en contacto con una pared rígida, ya que la amplitud de la velocidad de la onda sonora en la pared es cero.

Por el contrario, si se desplaza el velo de la pared rígida, de forma que se cree un espacio de aire entre aquel y la pared, la combinación hoja – espacio de aire resultará en un dispositivo absorbente con una gran capacidad de absorción.

Si el velo se comporta como un absorbente rígido y esencialmente resistivo, el conjunto funcionará como un resonador con frecuencias de resonancia correspondientes a un múltiplo impar de  $\lambda/4$  del espacio de aire.

De esta forma se pueden obtener dispositivos absorbentes compuestos por un velo con determinada resistencia al flujo y un espacio de aire entre éste y la pared posterior sin que sea necesario introducir en este espacio material poroso alguno. También existe la posibilidad de combinar varios velos resistivos variando sus separaciones respecto a la pared posterior, con objeto de tener un espectro de absorción mas controlado y sin la aparición de los mínimos característicos de un único dispositivo.

Dada la distribución, mas o menos aleatoria de los poros en este tipo de materiales, no es posible la aplicación de los algoritmos desarrollados por Maa y otros autores para microporos espaciados mas o menos regularmente pero siempre bajo un estricto control del diámetro de sus agujeros y de la relación entre la superficie perforada y la superficie total. Esta teoría puede aplicarse para tejidos o mallas metálicas en las que se controla el diámetro de los hilos y el tamaño de la malla.

En nuestro caso hemos preferido tratar el problema de manera fenomenológica en aras de una mayor generalidad. Se despreciará el movimiento del velo inducido por la onda acústica, estableciendo la interacción entre el velo y dicha onda a través de una impedancia de

interacción  $Z_i = r c Z_e$ , siendo  $Z_e$  la impedancia estructural del velo, de forma que el producto de  $Z_i$  y la velocidad relativa del aire respecto del velo sea igual a la fuerza de interacción sobre la pantalla por unidad de área.

La impedancia estructural del velo puede determinarse teóricamente (por ejemplo a través de las ecuaciones de Maa) o bien determinarse experimentalmente. En general constará de una parte real y otra imaginaria:  $Z_e = Re(Z_e) + j Im(Z_e)$ , asociadas a la parte resistiva (resistencia al flujo) y reactiva, proporcional a la constricción del flujo oscilatorio a través del material, lo que conlleva a una masa inducida proporcional a la frecuencia de la onda excitadora. Deberá tenerse en cuenta además, una pequeña contribución en el término reactivo, del aire contenido en el velo que también será función de la frecuencia de excitación.

En resumen, si  $L$  es el espesor de la capa de aire existente entre el velo absorbente y la pared rígida, la impedancia de entrada normalizada del dispositivo será:

$$Z_i = Z_e + j \cot(kL)$$

donde  $k$  es el número de onda.

La expresión anterior es aplicable para incidencia normal de la onda acústica sobre el dispositivo.

Cuando se trata de considerar la impedancia de entrada para un cierto ángulo de incidencia, se tendrá que tener en cuenta si el espacio de aire posterior está o no subdividido. En el primer caso, el material es de reacción local, siendo el coeficiente de absorción acústica independiente del ángulo de incidencia y su valor en función de la onda de excitación es:

$$a(f) = \frac{4 \operatorname{Re}(Z_i)}{(1 + \operatorname{Re}(Z_i))^2 + \operatorname{Im}^2(Z_i)} \quad (1)$$

análogo al obtenido para incidencia normal en el tubo de ondas estacionarias.

Si por el contrario, el espacio de aire posterior no está subdividido, la absorción es direccional, dependiendo del ángulo de incidencia  $\mathbf{j}$ . El coeficiente de absorción para el material de reacción extendida puede describirse a través de la ecuación:

$$a(f, \mathbf{j}) = \frac{4 \operatorname{Re}(Z_i) \cos \mathbf{j}}{(1 + \operatorname{Re}(Z_i) \cos \mathbf{j})^2 + (\operatorname{Im}(Z_i) \cos \mathbf{j})^2} \quad (2)$$

teniendo en cuenta que en este segundo caso, la impedancia de entrada del dispositivo absorbente viene dada por la expresión:

$$Z_i(\mathbf{j}) = Z_{estr} + j \frac{1}{\cos \mathbf{j}} \cot(kL \cos \mathbf{j}) \quad (3)$$

Si bien la ecuación 1 corresponde al comportamiento teórico del dispositivo frente a una incidencia del campo acústico normal a la superficie (tubo de ondas estacionarias), la ecuación 2 permite el cálculo del coeficiente de absorción medio (valor estadístico) en un campo difuso:

$$a_{difuso} = 2 \int_0^{\pi/2} a(f, \mathbf{j}) \cos \mathbf{j} \sin \mathbf{j} d\mathbf{j} \quad (4)$$

habiendo supuesto que la integración se extiende a un material isótropo, es decir en el que la impedancia superficial es independiente del ángulo azimutal de la onda incidente.

## COMPROBACIONES EXPERIMENTALES

La comparación entre los resultados experimentales, para incidencia normal, de las curvas de absorción, en función de la frecuencia, para distintos velos absorbentes, con diferentes cavidades, y los correspondientes cálculos teóricos no presenta dificultad alguna. No ocurre lo mismo con la comparación entre los valores teóricos y experimentales para campo difuso, en nuestro caso conseguido en el interior de la Cámara Reverberante del Instituto de Acústica. Mas adelante se puede comprobar las similitudes entre ambos resultados para esas particulares condiciones de experimentación.

En lo que sigue nos referiremos a evaluaciones y/o comprobaciones experimentales para incidencia normal en tubo de ondas estacionarias.

### Variación del Coeficiente de Absorción Acústica con la Resistencia al Flujo de aire de un Velo Absorbente.

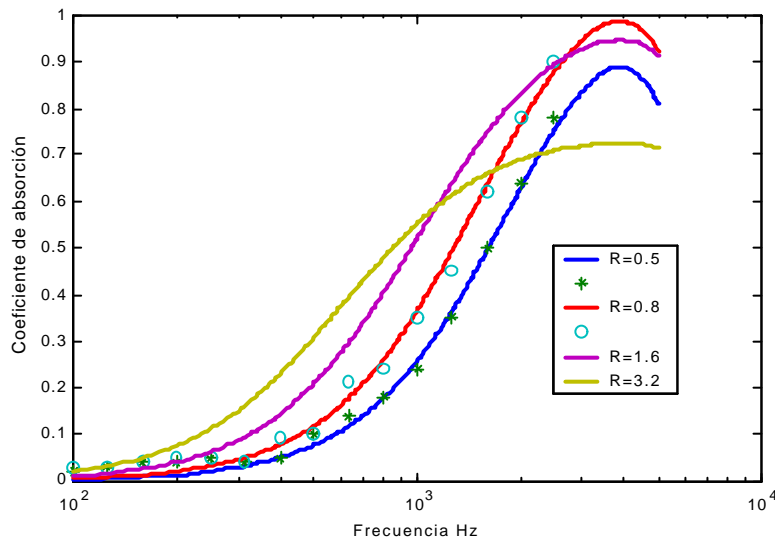


Figura 1 Variación de  $\alpha$  con la frecuencia para diferentes resistencias al flujo de aire.

La figura 1 muestra la variación del coeficiente de absorción,  $\alpha$ , con la frecuencia para diferentes valores de la resistencia al flujo de aire normalizado:  $R = 0.5, 0.8, 1.6$  y  $3.2$  y para una cavidad de aire de  $2.2 \text{ cm}$  entre la muestra y el fondo rígido del tubo de impedancias.

En las gráficas puede apreciarse cómo los valores máximos de absorción se obtienen para  $R \approx 1$ , respecto de una resistencia  $r \cdot c = 417 \text{ Pas}$ , para el flujo de aire normalizado. Sobre las gráficas se han superpuesto los valores experimentales del coeficiente de absorción para dos velos de celulosa con resistencias al flujo de aire normalizadas de  $0.5$  y  $0.8$  respectivamente, medidos en tubo de Kundt.

### Variación del Coeficiente de Absorción Acústica con el Espesor de la Cavidad de Aire.

En este caso se muestra, en la figura 2, la comparación entre los valores teóricos y los experimentales obtenidos para un velo de  $R = 0.8$  con cavidades de aire de  $2.2, 13.5$  y  $27.5 \text{ cm}$ . En aras de una mejor claridad, en la figura no se han incluido otros valores de la cavidad de aire existente entre la muestra y la pared rígida.

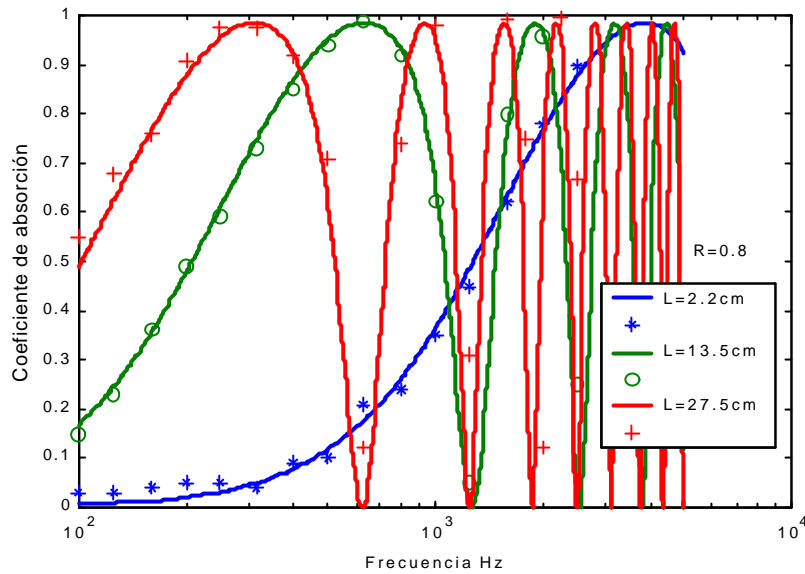


Figura 2. Variación de  $\alpha$  con la cavidad de aire para un velo de  $R=0.8$ .

La figura 2 muestra claramente el efecto de duplicar el espesor de la cavidad de aire, que se traduce en reducir una octava el máximo principal de absorción, así como doblar el número de máximos secundarios en el intervalo de frecuencias considerado.

Cavidades grandes conllevan incrementos de la absorción acústica en bajas frecuencias a costa de aumentar el número de mínimos absolutos.

Una cuidadosa distribución de tamaños de cavidades permite equilibrar los mínimos a costa de reducir los valores máximos ( $\cong 1$ ) del coeficiente de absorción.

### Variación del Coeficiente de Absorción de un Velo Absorbente para Distintos Tipos de Campo Acústico y Configuraciones.

En apartados anteriores se han descrito los diferentes algoritmos a aplicar según el tipo

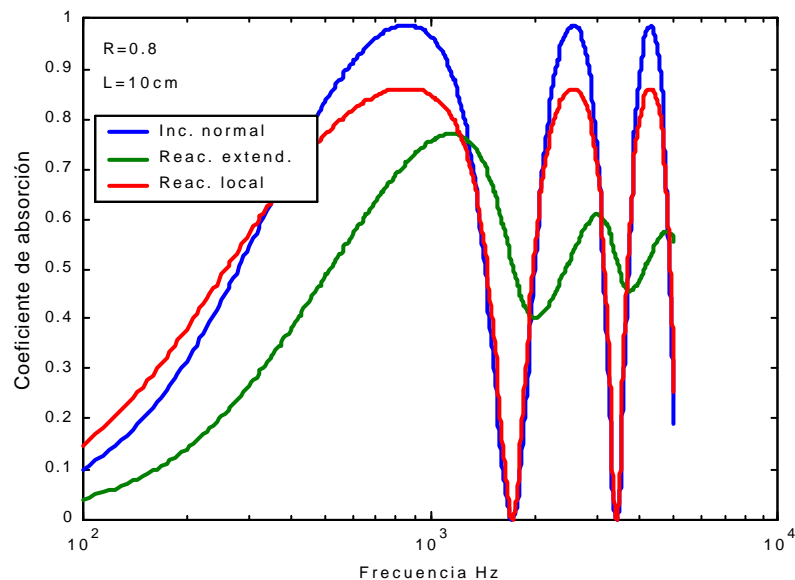


Figura 3 Variación de  $\alpha$  con el tipo de campo acústico

de campo acústico en que se excita el velo absorbente: incidencia normal e incidencia aleatoria.

Otro aspecto de gran importancia está relacionado con la morfología de la cavidad de aire situada entre el velo y la pared rígida. Si la cavidad está completamente libre detrás de la superficie de la lámina, ésta se comportará como un absorbente de reacción extendida, mientras que si el espacio está subdividido por una serie de celdas a modo de un panal de miel, el velo se comportará como un absorbente de reacción local. La figura 3 muestra las diferencias entre estas situaciones

Puede observarse que en el caso de excitación con un campo acústico aleatorio (campo difuso), a un velo absorbente de reacción local le corresponde una curva de absorción muy parecida a la de incidencia normal, si bien los máximos sufren una ligera atenuación.

Por el contrario, para el caso de velos con reacción extendida y excitación aleatoria, la curva de absorción tiende a un valor asintótico ( $\alpha @ 0.6$ ) para frecuencias crecientes. (Nótese las consecuencias de este hecho).

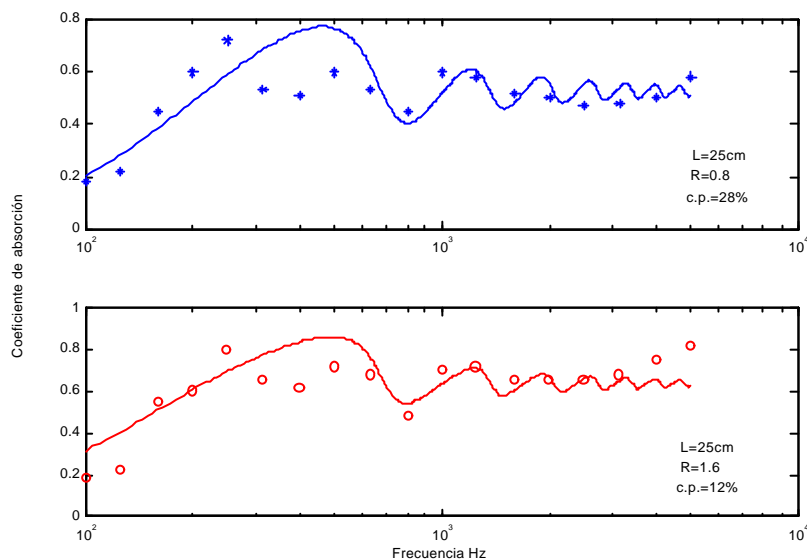


Figura 4 Absorción en campo difuso de velos trasdosando placas de escayola.

En la figura 4 se muestran los resultados obtenidos para un velo absorbente trasdosando dos tipos de placas de escayola con coeficientes de perforación del 12 y 28% respectivamente. Puede comprobarse como las aproximaciones teóricas ofrecen una visión bastante realista del fenómeno. En efecto, las mayores desviaciones en bajas frecuencias ( $<0.2$ ) se deben sin duda a que el campo acústico en la cámara no es perfectamente difuso.

El valor  $R=0.8$  (medido en laboratorio) proporciona resultados bastante concordantes con los obtenidos teóricamente cuando el coeficiente de perforación es elevado. Nótese que para valores del 20% o mayores, el material soporte se comporta como si fuera transparente.

Sin embargo, cuando el coeficiente de perforación se reduce al 12%, es necesario incrementar el valor de  $R$  hasta 1.6 con objeto de ajustar las curvas. Aumentar  $R$  por encima de este valor no mejoraría la concordancia, ya que parece existir un valor asintótico de la absorción próximo a 0.65.

Se puede concluir, por tanto, que disminuir el porcentaje de perforación conduce a un incremento "aparente" de la resistencia al flujo del velo.

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. Maa, D.Y., Microperforated Panel Wideband Absorbers, Noise Control Engineering Journal, Vol 29, pp. 77-84, 1987
2. Cremer, L., Müller, H. A., Die wissenschaftlichen Grundlagen der Raumakustik, Band 1 Hirzel, Stuttgart 1976.
3. Fuchs H.V., X. Zha, Einsatz mikro – perforierter Platten als Schallabsorber mit inhärenter Dämpfung, Acustica, Vol 81, pp 107-116, 1995.

## **AGRADECIMIENTOS**

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