

## **ESTUDIO ACÚSTICO Y ESPESOR DE MATERIALES ABSORBENTES FIBROSOS POROSOS ESTRATIFICADOS COMERCIALES**

REFERENCIA PACS: 43.55 E, N

Arizo Serrulla J.V. <sup>1</sup>; Picard Lopez M. A. <sup>2</sup>; Solana Quirós P.E. <sup>2</sup>

1 Departamento de Transportes. Universidad Politécnica de Valencia

2 Departamento de Física Aplicada. Universidad Politécnica de Valencia

Camino de Vera S/N, edificio D5 Bajo

46022 Valencia. España

Tel: 34 963 87 7524

Fax: 34 963 879 529

E-Mail: jarizos@tra.upv.es; [mapicard@fis.upv.es](mailto:mapicard@fis.upv.es) ; [psolana@fis.upv.es](mailto:psolana@fis.upv.es)

### **ABSTRACT**

The commercial porous fibrous materials are useful for the thermal and for the acoustic isolation. But acoustically they are better absorbents than insulating. The makers usually give more information about the thermal than acoustic properties. The purpose of this work is to give a vision of the absorption and acoustic impedance properties, of utility, to select the best absorbent or the product that better it contributes to the isolation.

### **RESUMEN**

Los materiales fibrosos porosos son de uso común en control de ruido, tanto en problemas aislamiento como de absorción acústica. Pero son mejores absorbentes que aislantes. Los fabricantes suministran usualmente más información de propiedades térmicas que acústicas. El propósito de este trabajo es aportar una visión global de sus propiedades absorbentes y de impedancia, de utilidad para poder seleccionar el mejor absorbente o el producto que mejor pueda contribuir al aislamiento.

### **LA IMPEDANCIA ACÚSTICA ESPECÍFICA, CARACTERÍSTICA Y ESPESOR.**

La forma en que se pueden modelizar los materiales fibrosos depende de sus propiedades físicas. Los materiales fibrosos porosos aquí estudiados se caracterizan por tener una elevada porosidad, cercana a la unidad, por lo que dentro de ellos hay una gran masa de aire confinada, y una importante rigidez estructural (paneles auto-sustentables). Cuando incide sobre ellos una onda acústica al entrar en el medio poroso se descompone en dos ondas una que afecta a la estructura y otra al aire confinado. Si la estructura fuera muy elástica vibraría notablemente al igual que las partículas de aire confinado, y entonces deberíamos emplear modelos teóricos que permitan contemplar el grado de acoplamiento acústico entre aire y estructura que es fundamental para entender el mecanismo de absorción del material, y la propagación de la onda en la estructura y en el aire confinado. [1], [2], [5], [7], [10]. Sin embargo los materiales comerciales aquí analizados presentan unas características de rigidez (ante el paso de la onda de presión) que se les pueda considerar con escaso acoplamiento entre el aire y la estructura, o que el movimiento de la estructura afecta poco al movimiento de las partículas de aire en contacto con ella. Ello permite para su estudio el empleo de modelos

teóricos más simples que los anteriores. En concreto si el aire contenido en su interior es el principal responsable de la propagación de onda hay modelos macroscópicos de propagación [3], [6], [9], [10], que se pueden denominar fenomenológicos, y en los que los medios porosos a efectos de la propagación sonora se comportan como un fluido equivalente con unas propiedades de densidad de medio y módulo de compresibilidad, o bien con una impedancia característica y constante de propagación dados, estando todos estos parámetros ligados. Así es posible considerar que un medio fibroso estratificado acústicamente anisotrópico ante una onda que incide normalmente al mismo, y con las condiciones de rigidez anteriormente citadas puede ser caracterizado ante una onda armónica plana mediante su impedancia característica compleja  $\check{Z}_c$  y su constante de propagación compleja  $\check{g}$ , de forma que su impedancia específica o impedancia de pared 1, cuando la muestra tiene un espesor  $l$  apoyada sobre un medio 2, es [3]:

$$\check{Z}_1 = \check{Z}_c \coth(\check{g} l + \check{y}) \quad (1)$$

donde  $\check{y} = \coth^{-1}\left(\frac{\check{Z}_2}{\check{Z}_c}\right)$  y  $\check{Z}_2$  es la impedancia específica del segundo medio.

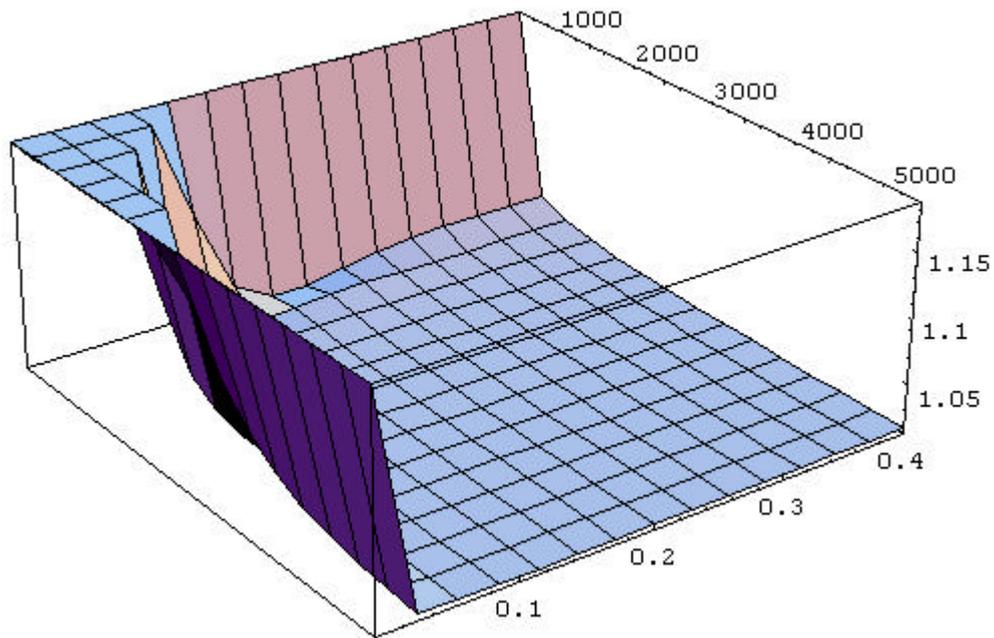
Para determinar los valores de la impedancia característica y de la constante de propagación complejas podemos proceder mediante sus relaciones teóricas con la densidad compleja y el módulo de compresión complejo del fluido equivalente [1], [2], [9], cuyas expresiones dependerán de la aproximación macro o microscópica elegida. También se puede proceder de forma experimental midiendo las impedancias de pared de muestras de simple y doble espesor. Y de forma empírica si se conoce el valor de la resistividad de flujo de las muestras mediante las expresiones de Delany y Bazley [6]. Independientemente del procedimiento elegido, lo que representa la expresión (1) es el valor de una impedancia de entrada a una red eléctrica pasiva, con las relaciones y equivalencias que las redes pasivas aportan.

Densidad	(kg/m <sup>3</sup> )	30	70	120	175
Porosidad		0.98	0.96	0.94	0.92
Resistividad de flujo	(Nm <sup>-4</sup> s)	9041	33055	75404	134306

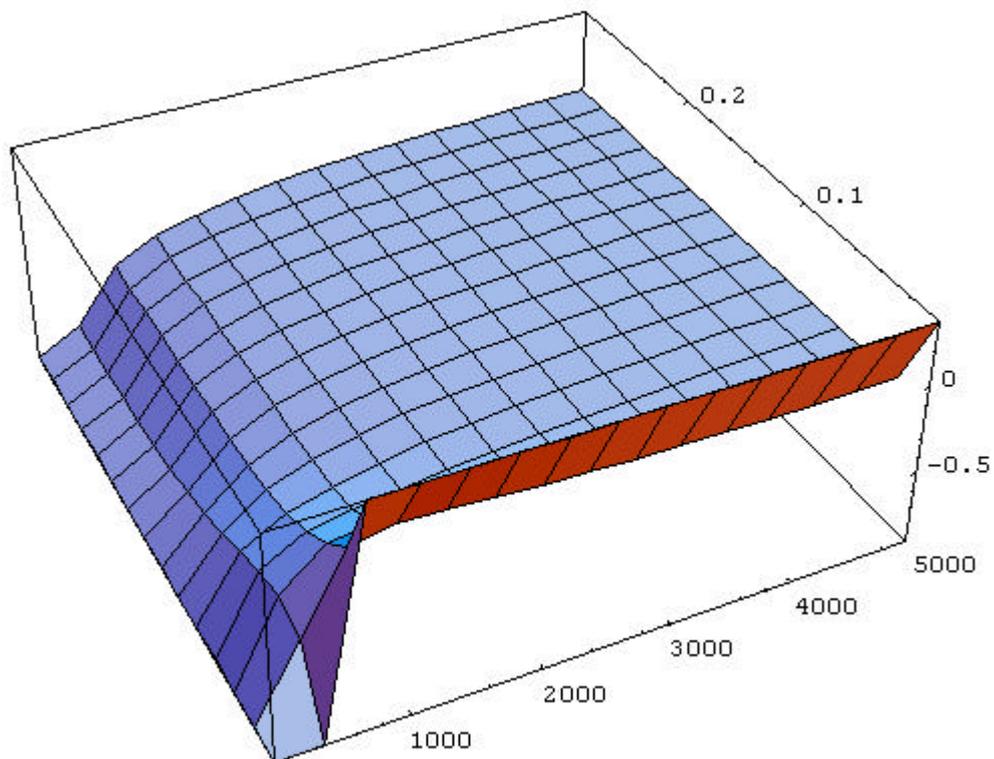
**Tabla 1.-** Características físicas principales de las muestras fibrosas.

Dada la analogía eléctrica formal que tiene la impedancia de pared de los porosos analizados con la impedancia de entrada a una red pasiva, el objeto de este apartado es analizar con qué espesor de panel fibroso podemos alcanzar la impedancia característica del medio, puesto que una vez superada esta longitud de muestra, la impedancia se estabiliza, y dependiendo de la aplicación se puede desperdiciar material. Dicho de otra forma, al igual que en termotecnia se estudia el espesor crítico de aislamiento, aquí interesa saber su equivalente acústico para la impedancia, y que vamos a denominar espesor característico de la muestra.

Para encontrar el espesor característico la dificultad reside en analizar cuando resulta constante la parte real y la imaginaria, al aumentar el espesor, de una función compleja, la impedancia específica de pared. La dificultad añadida está en que los resultados obtenidos desde la parte real no coinciden con los obtenidos desde la parte imaginaria. Por ello adoptaremos como solución de longitud o espesor característico el mayor de los dos. Así en las figuras 1 y 2 se han representado la parte real e imaginaria de la impedancia normalizada (respecto de la impedancia característica del aire) de una muestra de 30 kg/m<sup>3</sup> y en la figuras 3 la correspondientes a una muestra de 175 kg/m<sup>3</sup>. Si se revisan detenidamente las dos primeras representaciones se puede observar que la parte real alcanza la estabilidad para espesores mayores que la parte imaginaria. Para las muestras de menor densidad este espesor oscila entre los 10 cm obtenidos para la parte imaginaria y los 24 cm que se desprenden de la parte real.

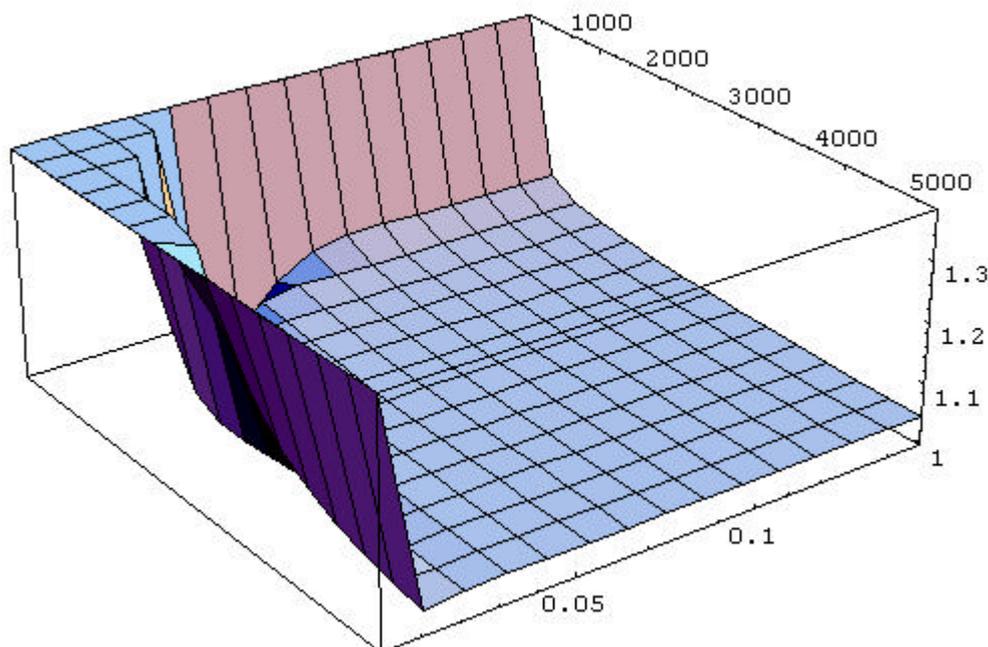


**Figura 1.-** Parte real de la impedancia acústica normalizada para una muestra de densidad 30 y distintos espesores.



**Figura 2.-** Parte imaginaria de la impedancia acústica normalizada para una muestra de densidad 30 y distintos espesores.

Por tanto se adopta 24 cm como espesor característico para la muestra de menor densidad.



**Figura 3.-** Parte real de la impedancia acústica normalizada para una muestra de densidad 175 y distintos espesores.

Para las muestras de mayor densidad se puede observar que el espesor característico se alcanza en los primeros centímetros de muestra, se ha adoptado el valor de 7 cm. Procediendo de forma análoga calculamos los espesores de las muestras de densidad intermedia, todos estos valores están representados en la Tabla 2.

**LA ABSORCIÓN EN INCIDENCIA NORMAL Y EL ESPESOR**

A partir de la expresión de la impedancia específica de pared en incidencia normal es posible obtener el valor de la absorción según la conocida expresión que la relaciona con el coeficiente de reflexión:

$$a = 1 - |\tilde{R}|^2 = \frac{4 \tilde{Z}_c \operatorname{Re}[\tilde{Z}_1]}{(\operatorname{Re}[\tilde{Z}_1] + \tilde{Z}_c)^2 + (\operatorname{Im}[\tilde{Z}_1])^2} \quad (2)$$

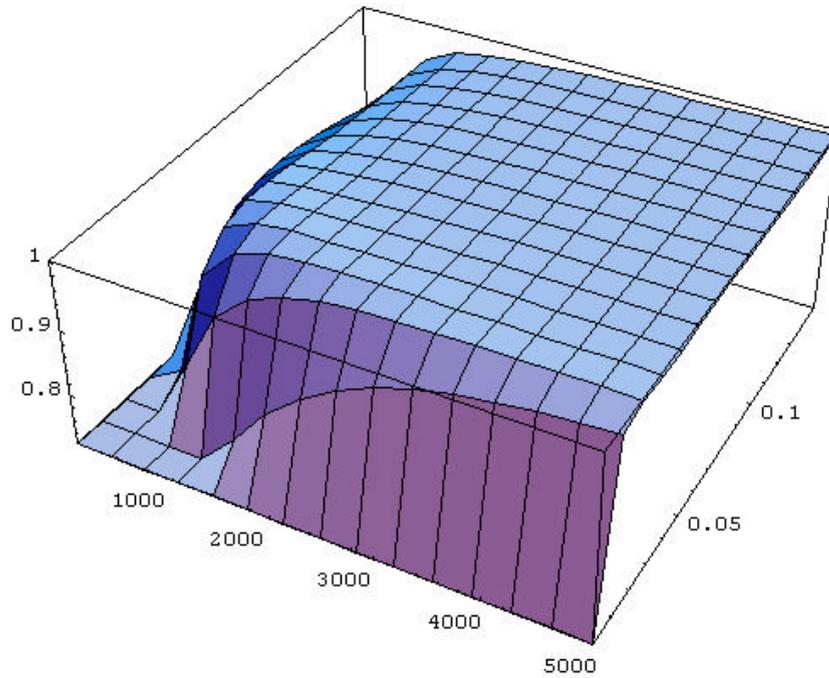
donde  $\tilde{Z}_c$  es la impedancia característica del aire.

Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	30	70	120	175
Espesor característico (m)	0.24	0.16	0.8	0.7
Espesor máxima absorción (m)	0.07	0.05	0.025	0.015

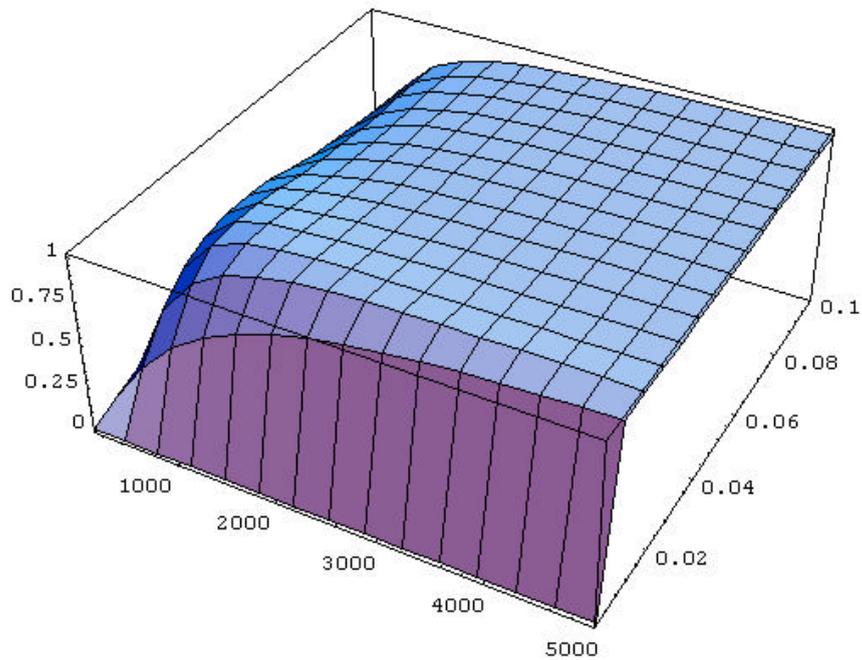
**Tabla 2.** Espesores característico y de máxima absorción.

Con los resultados obtenidos para las distintas muestras mediante la expresión (1), se pueden obtener mediante la expresión (2) las absorciones correspondientes. Así en la Figura 4 se representa la absorción para las muestras menos densas analizadas. Se puede observar una gran estabilidad de esta función, pero se comprueba que los mejores valores de absorción en bajas frecuencias se obtienen para espesores muy inferiores al característico hallado en el apartado anterior. Si repetimos el proceso de cálculo para las restantes densidades se obtiene

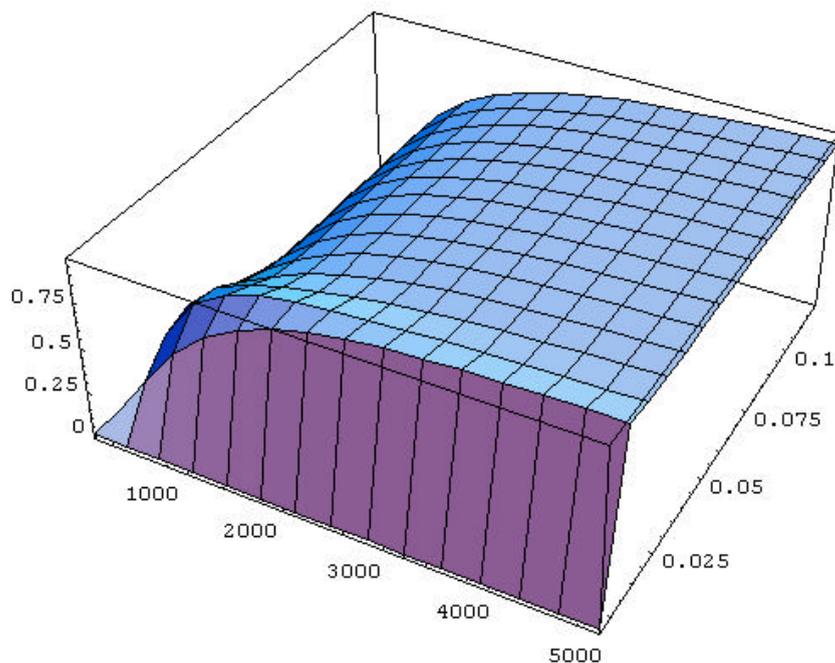
un resultado análogo de espesor de máxima absorción siempre inferior al característico, los resultados de estos espesores de máxima absorción aparecen reflejados en la Tabla 2



**Figura 4.-** Absorción en incidencia normal para la muestra de densidad 30.



**Figura 5.** Absorción en incidencia normal para la muestra de densidad 70.



**Figura 6.-** Absorción en incidencia normal para la muestra de densidad 120.

## CONCLUSIONES DEL ESTUDIO

El comportamiento no lineal en frecuencia de los materiales analizados hace revisar lo que serían conclusiones válidas en teoría de redes en estudios monofrecuenciales. Resultan de utilidad los resultados expresados en la Tabla 2, en cuanto al espesor característico y el espesor de máxima absorción. Puesto que el primero indica el espesor a partir del cual estamos desperdiciando material, y el segundo refleja que para conseguir buenos resultados de absorción en bajas frecuencias para una densidad fijada, el espesor a elegir es de tres a cuatro veces inferior al característico. Por otra parte revisando los resultados de las figuras anteriores, las muestras de menor densidad y mayor porosidad tienen un mejor comportamiento absorbente en el rango de frecuencias analizado, pero si analizamos el resultado de la impedancia de pared los mejores resultados se alcanzan para las muestras de alta densidad. Finalmente en todos los casos analizados si se quieren mejorar los resultados tanto en absorción como en impedancia en bajas frecuencias debemos elegir espesores mucho menores que el característico

## REFERENCIAS

- [1] J. F. Allard, *Propagation of Sound in Porous Media Modelling. Sound Absorbing Materials.* (Elsevier Science Publishers, 1993).
- [2] K. Attenborough, *Journal of Sound and Vibration* **16**, 419-442 (1971).
- [3] L. L. Beranek, *Noise Reduction* (Peninsula Publishing 1990).
- [4] D.A. Bies and C. H. Hansen, *Applied Acoustics* **13**, 357-391 (1980).
- [5] M.A. Biot, *J. Acoust. Soc. Am.* **28**, II, 179-191 (1956).
- [6] M. E. Delany and E. N. Bazley, *Applied Acoustics* **3**, 105-116 (1970).
- [7] R. F. Lambert and J. S. Tesar, *J. Acoust. Soc. Am.* **76**, 1231-1237 (1984).
- [8] Y. Miki, *J. Acoust. Soc. Jpn* **E 11**, **1**, 19-24 (1990).
- [9] M. Morse and K.U. Ingard, *Theoretical Acoustics.* (Princeton University Press. Princeton. New Jersey 1968)
- [10] C. Zwicker and C.W. Kosten *Sound Absorbing Materials.* (Elsevier Publ. 1949).