

UN MODELO PARA MATERIALES ABSORBENTES ACÚSTICOS DERIVADOS DE LA FIBRA DE COCO

Jaime Ramis¹, Luis Godinho², Romina del Rey³, Jesús Alba³, Jesús Carbajo¹

¹Instituto de Física Aplicada a las Ciencias y la Tecnología, Universidad de Alicante, España.
{jramis@ua.es, jesus.carbajo@ua.es}

²CICC, Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Civil, Pólo 2, Rua Luís Reis Santos, 3030-788
Coimbra, Portugal, e-mail: { lgodinho@dec.uc.pt }

³Instituto para la Gestión de las Zonas Costeras. UPV.
{roderey@fis.upv.es, jesalba@fis.upv.es }

Resumen

Como es sabido, existen modelos de diferentes lanas minerales, lanas de roca, lanas de vidrio, espumas o lanas de poliéster. Algunos de estos modelos —llamados empíricos— se obtienen a partir del ajuste de ecuaciones de comportamiento de la impedancia acústica y la constante de propagación del material, en función de la resistencia al flujo, diámetro de las fibras, densidad, etc. A partir de los diferentes ensayos realizados en laboratorio, se proponen las ecuaciones empíricas de comportamiento acústico de este nuevo material.

Palabras-clave: impedancia acústica, coeficiente de absorción, fibras vegetales, modelos empíricos.

Abstract

As is well known, there are accepted models from the scientific community about mineral wool, glass wool, rock wool, foam or polyester fiber. Several of these models are empirical. They are obtained from the equation adjustments about the acoustic impedance and propagation constant behavior, depending upon the flow resistivity, fibre's diameter and density, ... From the various tests conducted in the laboratory, empirical equations are proposed for this new acoustic material

Keywords: acoustic impedance, absorption coefficient, vegetal fiber, empirical models

PACS no. 43.55.Nn, 43.58.Nn

1 Introducción

La aparición de nuevos materiales absorbentes ha provocado que, a lo largo de los últimos años, se hayan ido proponiendo diferentes modelos empíricos basados en ajustes de medidas de materiales a ecuaciones lineales u otras. Los materiales más estudiados en este sentido, han sido la lana de roca y la lana de vidrio, los más utilizados en la práctica. Uno de los modelos más conocido y utilizado en esta línea es el de Delany & Bazley [1]. Conviene, asimismo, citar los trabajos posteriores de Miki [2,3], los modelos para espumas como el de Dunn & Davern [4], o para fibras textiles como el de Garai & Pompoli [5]. Existen otros trabajos empíricos como de Wang et al [6], basado en una regresión a diferentes variables o el de Shoshani, y. Yakubov [7], para la búsqueda de la máxima absorción. No hay que olvidar tampoco los diferentes modelos empíricos propuestos por Voronina [8-11], en el que aparecen parámetros como la tortuosidad o factor de estructura, asociados a la distribución de las fibras o poros que caracterizan estos materiales. En este contexto además, normativas, como la UNE-EN 12354:2003: "Estimación de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos", y en concreto la parte 6, "Absorción sonora en espacios cerrados" [12] aconsejan el uso de fórmulas para la predicción de la absorción de materiales absorbentes. En el caso de materiales compuestos por fibras, Delany & Bazley [1] es la referencia obligada, y en el caso de materiales porosos, Dunn & Davern [4] es el modelo elegido por la norma.

En este trabajo se presenta un modelo semi-empírico desarrollado tomando como referencia los pasos seguidos por Garai&Pompoli [5]. En el caso que nos ocupa, se ha implementado un método para obtener los coeficientes para el caso de materiales absorbentes obtenidos a partir de fibras naturales, concretamente de coco, siguiendo un procedimiento similar al presentado en [13,14]

En la Figura 1 se presenta una imagen de material absorbente elaborado a partir de fibra de coco. Como se puede apreciar, se trata de un material poroso y fibroso. Por tanto, dada su naturaleza, es de esperar que desempeñe un papel similar a otros materiales porosos y fibrosos como la lana de roca.

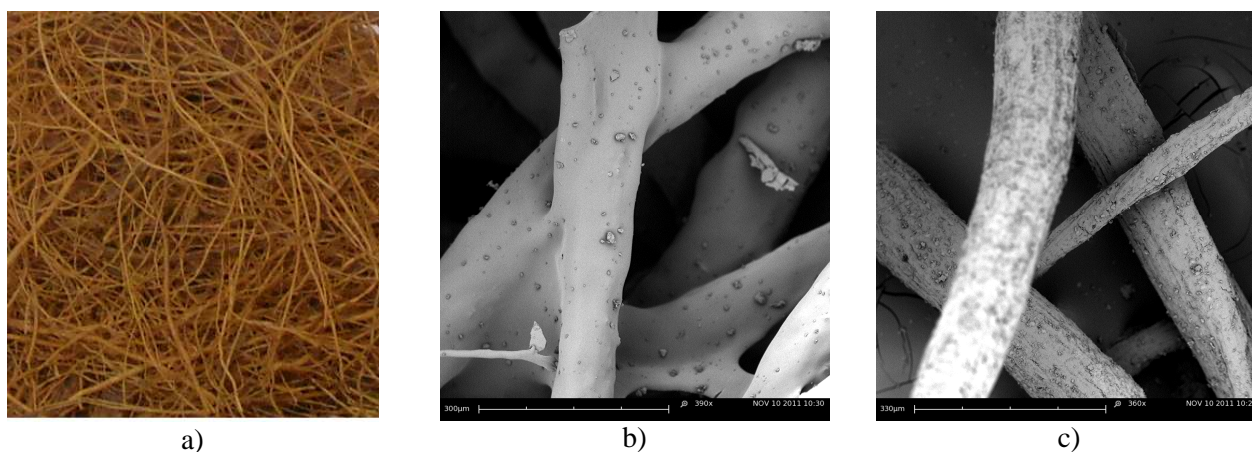


Figura 1 – a) Detalle de las fibras de coco b) Fotografía de la fibra sin tratamiento ignífugo realizado con microscopio electrónico c) Idem con tratamiento ignífugo

2 Conceptos.

El modelo que se presenta en este trabajo pretende describir el comportamiento acústico del material fibroso utilizando el menor número posible de parámetros físicos no intrínsecos, atenuando de esta forma algunos errores de propagación que se cometen al utilizar parámetros obtenidos experimentalmente. Básicamente, se trata de encontrar los coeficientes C_i ($i=1\dots 8$) que mejor ajusten las siguientes ecuaciones para el caso del material que estamos tratando.

$$\alpha = \left(\frac{2 \times \pi \times f}{c_0} \right) \times \left[C_5 \times \left(\frac{\rho_0 \times f}{r} \right)^{-C_6} \right] \quad (1)$$

$$\beta = \left(\frac{2 \times \pi \times f}{c_0} \right) \times \left[1 + C_7 \times \left(\frac{\rho_0 \times f}{r} \right)^{-C_8} \right] \quad (2)$$

$$Z_R = \rho_0 \times c_0 \left[1 + C_1 \times \left(\frac{\rho_0 \times f}{r} \right)^{-C_2} \right] \quad (3)$$

$$Z_I = -\rho_0 \times c_0 \left[C_3 \times \left(\frac{\rho_0 \times f}{r} \right)^{-C_4} \right] \quad (4)$$

Donde α y β son la parte real e imaginaria de la constante de propagación del material Z_R y Z_I son la parte real e imaginaria de la impedancia característica normalizada y r la resistencia al flujo en $\left(\frac{N \cdot s}{m^4} \right)$, ρ_0 es la densidad del aire ($\approx 1.2 \text{ kg/m}^3$), f la frecuencia (Hz) y c_0 es la velocidad del sonido en el aire ($\approx 343 \text{ m/s}$).

Además, Para obtener el coeficiente de absorción a partir de la constante de propagación y la impedancia descritas más arriba utilizamos la siguiente expresión:

$$\alpha_n = \frac{4 \cdot Z_{IR} \cdot \rho_0 \cdot c_0}{|Z_I| + 2 \cdot \rho_0 \cdot c_0 \cdot Z_{IR} + (\rho_0 \cdot c_0)^2} \quad (5)$$

Siendo l el espesor de la muestra y la expresión para la impedancia:

$$Z_l = (Z_R + j \times Z_I) \times [\coth(\alpha + j \times \beta) \times l] \quad (6)$$

Para llevar a cabo el ajuste, es necesario, disponer de datos del coeficiente de absorción para incidencia normal y de resistencia al flujo del material en cuestión. Los datos de entrada básicos son los de la resistencia al flujo ya que nos permiten obtener la parte real e imaginaria de la constante de propagación del material, así como la parte real e imaginaria de la impedancia característica normalizada.

Para obtener los coeficientes que describen de mejor forma el comportamiento acústico medido de las muestras, hemos utilizado un método iterativo de disminución de función de error cuadrática. Como valores iniciales, valores de entrada, hemos probado diferentes valores propuestos por diferentes autores, todos los valores convergen a los coeficientes que hemos obtenido y que se presentan en este trabajo. La función de error cuadrática del método iterativo utilizado, se define de la siguiente forma:

$$\mathcal{E} = \sum_{i=1}^N (\alpha_{n,i} - \hat{\alpha}_{n,i})^2 \quad (9)$$

donde $\alpha_{n,i}$ representa el valor del coeficiente de absorción en incidencia normal, medido para un material absorbente elegido, a la frecuencia i-ésima y $\hat{\alpha}_{n,i}$ es la estimación del valor anterior realizada a partir de las ecuaciones [1] a [4]. Para la minimización de la función de error es necesario igualar a cero la siguiente expresión:

$$\frac{\partial \mathcal{E}}{\partial A_i} = 2 \sum_{i=1}^N (\alpha_{n,i} - \hat{\alpha}_{n,i}) \frac{\partial \hat{\alpha}_{n,i}}{\partial A_i} = 0 \quad i = 1, \dots, 8 \quad (10)$$

3 Resultados

3.1 Resistencia al flujo.

La determinación experimental de la resistencia al flujo que se presentan en este trabajo se han obtenido de acuerdo con [17] utilizando tres muestras para cada tipo de material. Se han obtenido resultados similares mediante el método descrito en [16]

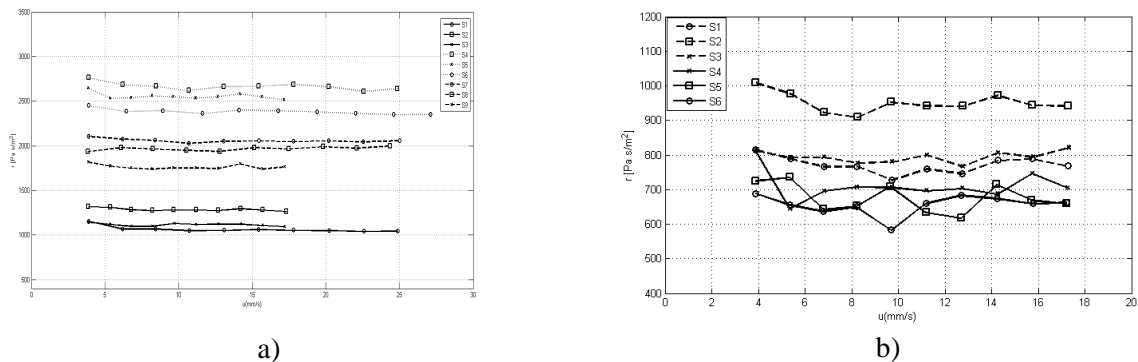


Figura 2 - Resistencia al flujo obtenida para diferentes velocidades del caudal de aire: a) S4, S5 y S6 corresponden a muestras de fibra de coco sin tratamiento ignífugo de 2 cm de espesor; S7, S8 y S9 corresponden a muestras de fibra de coco sin tratamiento ignífugo de 3 cm de espesor; S1, S2 y S3 corresponden a muestras de fibra de coco sin tratamiento ignífugo de 4 cm de espesor, b) S1, S2 y S3 corresponden a muestras de fibra de coco con tratamiento ignífugo de 2 cm de espesor; S4, S5 y S6 corresponden a muestras de fibra de coco con tratamiento ignífugo de cm de espesor

Como se puede apreciar, para cada uno de los tipos de material, se realizan seis medidas. La media de cada una de estas seis medidas se muestra a continuación en las tablas 1, 2, 3, 4 y 5.

Muestra	Resistividad (Pa*s/m ²)
1	2427
2	2718
3	2593
Media	2578.3

Tabla 1. Valores de resistividad obtenidos para muestras de material de 2 cm de espesor

Muestra	Resistividad (Pa*s/m ²)
1	2083
2	1943
3	1782
Media	1936

Tabla 2. Valores de resistividad obtenidos para muestras de material de 3 cm de espesor

Muestra	Resistividad (Pa*s/m ²)
1	1110
2	1315
3	1132
Media	1185.6

Tabla 3. Valores de resistividad obtenidos para muestras de material de 4 cm de espesor

Muestra	Resistividad (Pa*s/m ²)
1	650
2	712
3	725
Media	695.6

Tabla 4. Valores de resistividad obtenidos para muestras de material con tratamiento ignífugo de 2 cm de espesor

Muestra	Resistividad (Pa*s/m ²)
1	786
2	972
3	788
Media	848.6

Tabla 5. Valores de resistividad obtenidos para muestras de material con tratamiento ignífugo de 3 cm de espesor

3.2 Coeficiente de absorción.

Se presentan a continuación los resultados de las medidas experimentales y los ajustes. Para la realización de las medidas, se ha aplicado el método de la función de transferencia [ISO 10534] [15]. El ajuste se ha realizado sin considerar los valores de 100 Hz y 3150 Hz. Las constantes correspondientes se muestran en la tabla 6

C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8
0.0713	-0.8749	-0.1216	-0.4520	0.2129	-0.4857	0.0997	-0.5988

Tabla 6. Valores de las constantes correspondientes al modelo

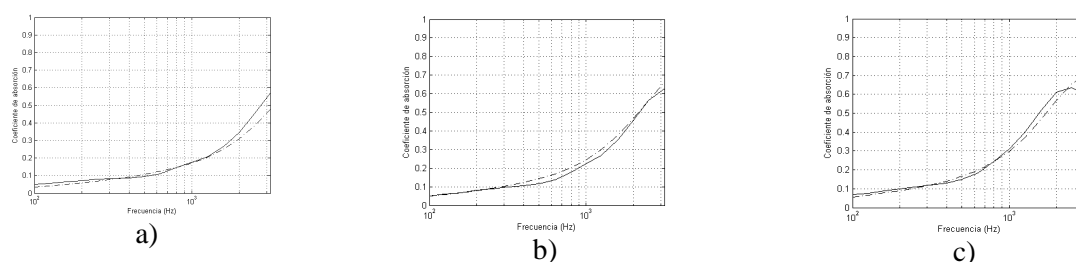


Figura 3 - Coeficiente de absorción en función de la frecuencia para muestras de fibra de coco sin tratamiento ignífugo. Resultados de medidas experimentales y ajustes (continua: datos experimentales, discontinua: ajuste numérico), para muestras de 2 (a), 3 (b) y 4 (c) cm de espesor

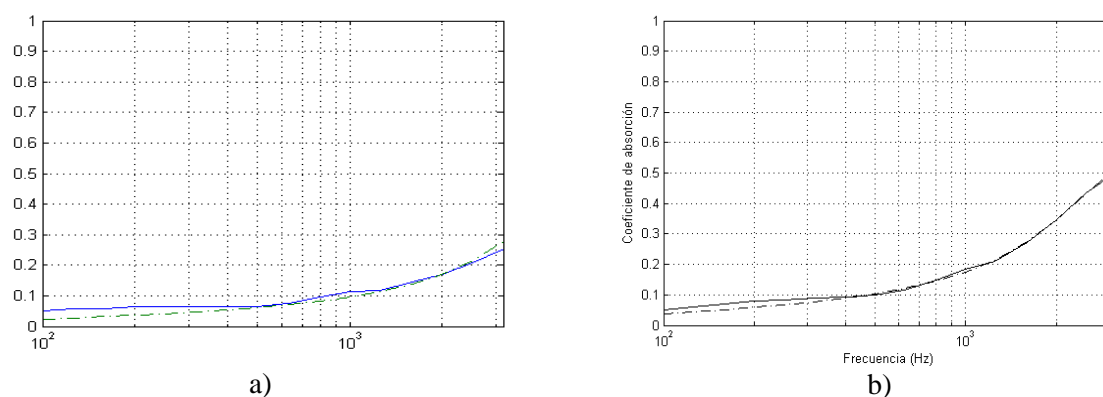


Figura 4 - Coeficiente de absorción en función de la frecuencia para muestras de fibra de coco sin tratamiento ignífugo. Resultados de medidas experimentales y ajustes (continua: datos experimentales, discontinua: ajuste numérico), para muestras de 2 (a) y 3 (b) cm de espesor

4 Conclusiones

Se ha aplicado con éxito el procedimiento seguido para otras fibras naturales para implementar un modelo semi-empírico para materiales absorbentes acústicos obtenidos a partir de la fibra de coco. Se

constatan diferencias notables en el comportamiento acústico del material al comparar los resultados con y sin tratamiento ignífugo.

Referencias

- [1] Delany M. E., Bazley E. N.: "Acoustical Properties of Fibrous Absorbent Materials", *Applied Acoustics* 3, (1970), pp105 -116.
- [2] Miki Y.: "Acoustical Properties of Porous Materials-Modifications of Delany-Bazley Models-", *Journal of the Acoustical Society Jpn (E)* 11, 1 (1990) pp19-24.
- [3] Miki Y.: "Acoustical Properties of Porous Materials-Generalisations of empirical models", *Journal of the Acoustical Society Jpn (E)* 11, 1 (1990) pp 13-24.
- [4] I.P.Dunn, W.A. Davern, "Calculation of acoustic impedance of multi-layer absorbers", *Applied Acoustics*, 19, 1986, pp. 321-334.
- [5] M.Garai, F. Pompoli,: "A simple empirical model of polyester fibre materials for acoustical applications", *Applied Acoustics* 66 (2005) pp 1383-1398.
- [6] X. Wang et al. Multi-stage: "Regression analysis of acoustical properties of polyurethane foams". *Journal of Sound and Vibration* 273 (2004) pp1109-1117.
- [7] Y. Shoshani, Y. Yakubov. : "Numerical assessment of maximal absorption coefficients for nonwoven fiberwebs". *Applied Acoustics* 59 (2000) pp77-87.
- [8] N. Voronina, "Improved Empirical Model of Sound Propagation Through a Fibrous Material", *Applied Acoustics*, Vol 48, nº 2, pp 121-132, (1996).
- [9] N. Voronina,: "An Empirical Model for Elastic Porous Materials, *Applied Acoustics*", Vol. 55, nº 1, pp 67-83, (1998).
- [10] N. Voronina,: "An empirical model for rigid-frame porous materials with low porosity". *Applied Acoustics* 58 (1999) pp 295-304.
- [11] N. Voronina, K.V. Horoshenkov,: " A new empirical model for the acoustic properties of loose granular media". *Applied Acoustics* 64 (2003) pp415-432.
- [12] UNE-EN 12354-6:2004: Acústica en la edificación. "Estimación de las características de las edificaciones a partir de las características de sus elementos", parte 6, "Absorción sonora en espacios cerrados".
- [13] del Rey R. Alba J., Sanchís V.: " Proposal a empirical model for absorbent acoustical materials based in kenaf". 19th International Congress on Acoustics. Madrid, 2-7 September 2007.
- [14] J. Ramis, J. Alba, R. del Rey, E. Escuder, V. J. Sanchís, *Nuevos materiales absorbentes acústicos basados en fibra de kenaf*, *Mater. Construcc.*, Vol. 60, 299, 133-143
- [15] UNE-EN ISO 10534-2: Acústica. "Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia", parte 2, "Método de la función de transferencia". (ISO 10534-2:1998).
- [16] UNE-EN 29053.1994. Acústica. Materiales para aplicaciones acústicas. Determinación de la resistencia al flujo de aire. (ISO 9053:1991)
- [17] K. U. Ingard, T. A. Dear: "Measurement of Acoustic Flow Resistance". *Journal of sound and Vibration* 103 (1985) 567-572.