

ESTUDIOS SOBRE LA INFLUENCIA DEL ESPESOR EN LA FRECUENCIA MÁXIMA DE ABSORCIÓN DE ABSORBENTES POROSOS

Valentín Gómez Escobar^{1*}
Celia Moreno González¹
Guillermo Rey-Gozalo¹

¹ Laboratorio de Acústica, Departamento de Física Aplicada & Instituto Universitario de Investigación para el Desarrollo Territorial Sostenible (INTERRA). Universidad de Extremadura. Avda. Universidad, s/n 10003 Cáceres, España. valentin@unex.es; celiamg@unex.es; guille@unex.es

RESUMEN

Es conocido que la absorción acústica de los materiales porosos colocados junto a una terminación rígida se ve influida por el espesor de las muestras porosas, dado que ello implica que los máximos de velocidad de ondas de menores frecuencias pueden incluirse en el seno del material.

En este trabajo se presentan resultados de los trabajos realizados, sobre la influencia del espesor de la muestra en la absorción acústica de materiales porosos que se han llevado a cabo con diferentes materiales porosos o fibrosos. Se han realizado experiencias con diferentes materiales tanto comerciales, como fabricados a partir de residuos (en particular, con colillas de cigarrillos usadas).

Los resultados muestran un comportamiento que, si bien es similar, presenta, a su vez, diferencias significativas.

ABSTRACT

It is known that thickness affects the acoustic absorption of porous materials placed next to a rigid termination, as the increase of thickness implies that more maximum values of particle speed (with lowest frequencies) are included within the material.

In this work, results of the studies carried out on the influence of the thickness of the sample on the acoustic absorption of some porous materials (both cellular and fibrous ones) are carried out. Experiments have been carried out with different materials, some commercial and other made using waste residues (in particular, used cigarette butts).

The results show a behavior that, although similar, presents, at the same time, significant differences.

Palabras Clave— Absorción acústica; materiales acústicos, espesor.

1. INTRODUCCIÓN

La adecuación acústica, según su uso, de los diferentes tipos de recintos en los que desarrollamos nuestras actividades cotidianas está relacionado muy directamente con el uso de materiales porosos que permiten la propuesta de soluciones, tanto para acondicionamiento acústico, como para aislamiento acústico (en muchos casos, complementando su empleo con el uso de materiales rígidos).

Aunque, en la construcción actual, está muy extendido el uso de lanas de vidrio o de origen mineral, es también cierto que, en los últimos años han surgido numerosas propuestas de materiales absorbentes, muchos de origen vegetal y muchos otros procedentes del reciclaje de productos de desecho [1-6]. Esta propuesta surge en un intento, por un lado, de proponer nuevas alternativas de materiales constructivos y, por otro lado, de revalorizar algunos de los múltiples residuos que se generan en la sociedad actual.

Los materiales porosos acústicos se caracterizan por la existencia en ellos de conductos que se comunican directamente con el exterior. Dentro ellos podemos diferenciar diferentes tipos, según la matriz sólida que constituye los mismos. Así, se puede diferenciar entre materiales fibrosos, granulares o celulares.

Dado que el mecanismo de absorción de los materiales porosos se basa en la disipación de energía en los conductos abiertos, es claro que debe existir una influencia de la absorción acústica de estos materiales con espesor del material.

En la práctica, los materiales porosos, debido a su mal carácter como aislantes acústicos, y a su carácter no rígido, suelen ir ligados, en las diferentes soluciones constructivas a

* **Autor de contacto:** valentin@unex.es

Copyright: ©2023 First author et al. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 3.0 Unported License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

materiales rígidos, que, por un lado, mejoren las características como aislantes de las soluciones constructivas y, por otro lado, dan la rigidez a la misma. Pero esta ‘simbiosis’ acarrea un problema, dado que, en materiales completamente rígidos, la velocidad de las partículas de aire en la zona en contacto con el material poroso es nula [7] lo cual implicaría que no existiría disipación acústica por el material poroso, si lo suponemos de espesor despreciable y, si tenemos en cuenta sólo la disipación por rozamiento. Para aumentar la absorción acústica conviene, por tanto, que la muestra tenga un cierto espesor, de forma que vaya incluyendo en su interior partículas de aire con velocidades de vibración no nulas y, si ello es posible, lo deseable es, para tener una absorción máxima incluir en el espesor de la muestra, partículas que estén vibrando con velocidad máxima. Dado que, si se tiene un nodo de vibración en la superficie de la pared, se tendrá un máximo de vibración a una longitud de onda de $\lambda/4$ [8] y, considerando una velocidad de propagación del sonido en el aire de 340 m/s, esto hace que para incluir en seno del material el máximo de velocidad, muchos autores indican que el espesor (e) del material, para una cierta frecuencia (f) debe ser:

$$e = \frac{85}{f} \quad (1)$$

Indudablemente, si la velocidad de propagación del sonido en el aire es diferente el factor 85, de Ec. 1, se verá alterado.

En trabajos anteriores, con muestras absorbentes porosas preparadas a partir de colillas de cigarrillos usados, se analizó la variación de la absorción acústica de las muestras, cuando variaba el espesor de la muestra, encontrándose un comportamiento que, si bien, para un rango de espesores pequeño parecía lineal, no era tal [9-10].

En este trabajo se pretende ampliar los estudios previos con muestras preparadas con filtros de cigarrillos, utilizando muestras de mayor tamaño (de 100 mm de diámetro, frente a las de 29 mm usadas en trabajos anteriores) comparando los resultados obtenidos con la ecuación teórica dada en la Ec. 1. y comparando, de igual forma, con el comportamiento con el espesor de otros materiales de carácter poroso.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Equipamiento para la Caracterización Acústica de Muestras

Para la determinación del coeficiente de absorción de las diferentes muestras se ha medido con incidencia de la onda normal mediante el método de la función de transferencia establecido en la Norma ISO 10534-2 [11].

El equipo utilizado para medir las propiedades acústicas de las muestras es un tubo de impedancias modelo 4206 T de Brüel & Kjaer, un sistema multi-analizador PULSE de 4

canales de Brüel & Kjaer, modelo 3560 C, un amplificador de potencia de Brüel & Kjaer, modelo 2716 C, micrófonos $\frac{1}{4}$ de pulgada de Brüel & Kjaer, modelo 4187 y software Material Testing para Pulse de Brüel & Kjaer, modelo 7758.

El tubo de impedancia dispone de dos portamuestras de diámetros 100 mm y 29 mm, con los que se obtiene información en los rangos de frecuencia de 50 a 1600 Hz y de 500 a 6400 Hz, respectivamente.

Para el presente estudio, se ha utilizado exclusivamente el portamuestras de diámetro 100 mm, lo cual limita los resultados del mismo, tal y como se acaba e indicar, al rango de frecuencias entre 50 y 1600 Hz. Como se verá más adelante, ello implicará que algunas de las muestras medidas no podrán ayudar en el estudio de los máximos de absorción acústica, dado que, para bajos espesores, estos máximos se situarán en frecuencia por encima del límite de 1600 Hz.

En la Figura 1, se muestra un esquema del montaje utilizado, mientras en la Figura 2 se muestra una fotografía del tubo de impedancias utilizado, con el portamuestras de 100 mm.

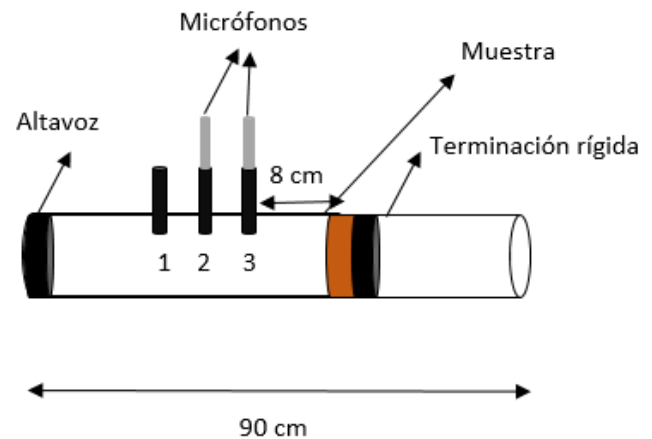


Figura 1. Esquema de la colocación de la muestra para medidas de absorción acústica.



Figura 2. Tubo de impedancias con el porta muestras de 100 mm de diámetro.

2.2. Muestras de Partida y Acondicionamiento de las Mismas

Para este trabajo se han empleado cuatro tipos de muestras diferentes:

a) Muestras de espuma (F), del tamaño del portamuestras, que se suministran con el equipo de medida como muestras de referencia. Se pueden considerar como un material poroso celular.

b) Muestras de lana mineral (M). Preparadas cortando muestras del tamaño del portamuestras de una plancha de gran tamaño de una lana mineral comercial. Se pueden considerar como un material poroso fibroso.

c) Muestras porosas preparadas a partir de colillas de cigarrillo sin disgregar (BSD). Para este tipo de muestras, se usaron filtros de 95 mm sin usar, con un diámetro de unos 8 mm, recubiertos por un papel envolvente, suministrados por una empresa especializada y estos filtros fueron cortados en diferentes tamaños. Una vez cortados, las muestras se preparan colocando, manualmente, estas colillas en el portamuestras. Se colocaron 140 colillas. Se pueden considerar como un material poroso fibroso.

d) Muestras porosas preparadas a partir de colillas usadas disgregadas mecánicamente (BDG). Para la elaboración de estas muestras, se usaron también 140 colillas de cigarrillos usados, también todas de un diámetro aproximado de 8 mm. A estas colillas se les eliminó el papel envolvente y fueron disgregadas mecánicamente. El resultado de la disgregación se coloca en el portamuestras para su medida.

En la Figura 3, se muestran fotografías de ejemplo de cada tipo de muestra incluida en este estudio

Un total de 52 muestras han sido utilizadas en este estudio, repartidas entre los cuatro tipos de muestras mencionados y diferentes espesores. En la Tabla 1, se esquematiza el número de muestras y el rango de espesores preparado para cada tipo de muestra. Se pueden considerar como un material poroso fibroso.

Tabla 1. Número de muestras y rango de espesores usados.

Muestra	Nº	Rango de espesor (mm)
F	10	24.7-99.8
M	10	26.2-112.8
BSD	26	9.5-95
BDG	16	18.14-139.9

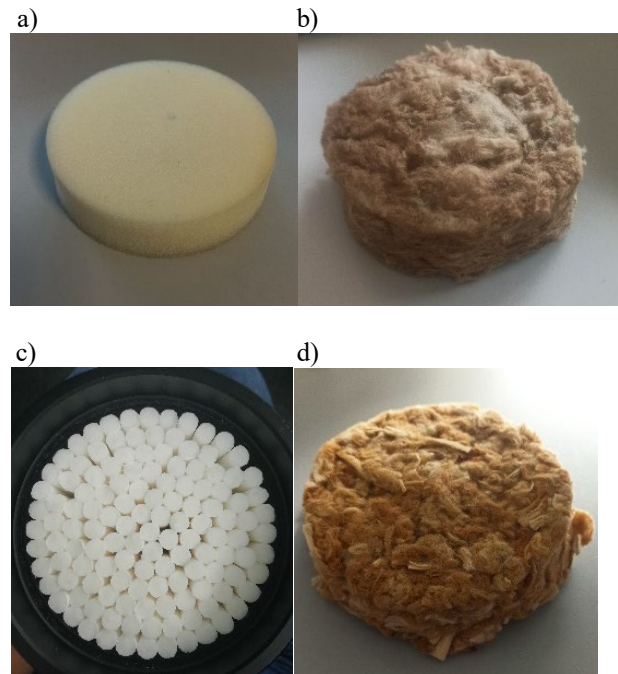


Figura 3. Fotografías de algunas de las muestras medida para el presente estudio. a) Muestras de espuma; b) muestras de lana mineral; c) muestras preparadas con colillas usadas sin disgregar; d) muestras preparadas con colillas usadas disgregadas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se ha indicado anteriormente, se prepararon y midieron un total de 52 muestras, correspondientes a los cuatro tipos de muestras indicados anteriormente y con espesores diferentes tal y como se ha mostrado en la Tabla 1.

Los resultados de los valores de coeficiente de absorción con incidencia normal, medidos con el tubo de impedancias dejaron de manifiesto, como cabía esperarse, una clara influencia del espesor de la muestra, tanto en los valores de absorción, como en la forma de los espectros de absorción, tal como se aprecia en la Figura 4, para diferentes espesores de los cuatro tipos de muestras consideradas y descritas anteriormente.

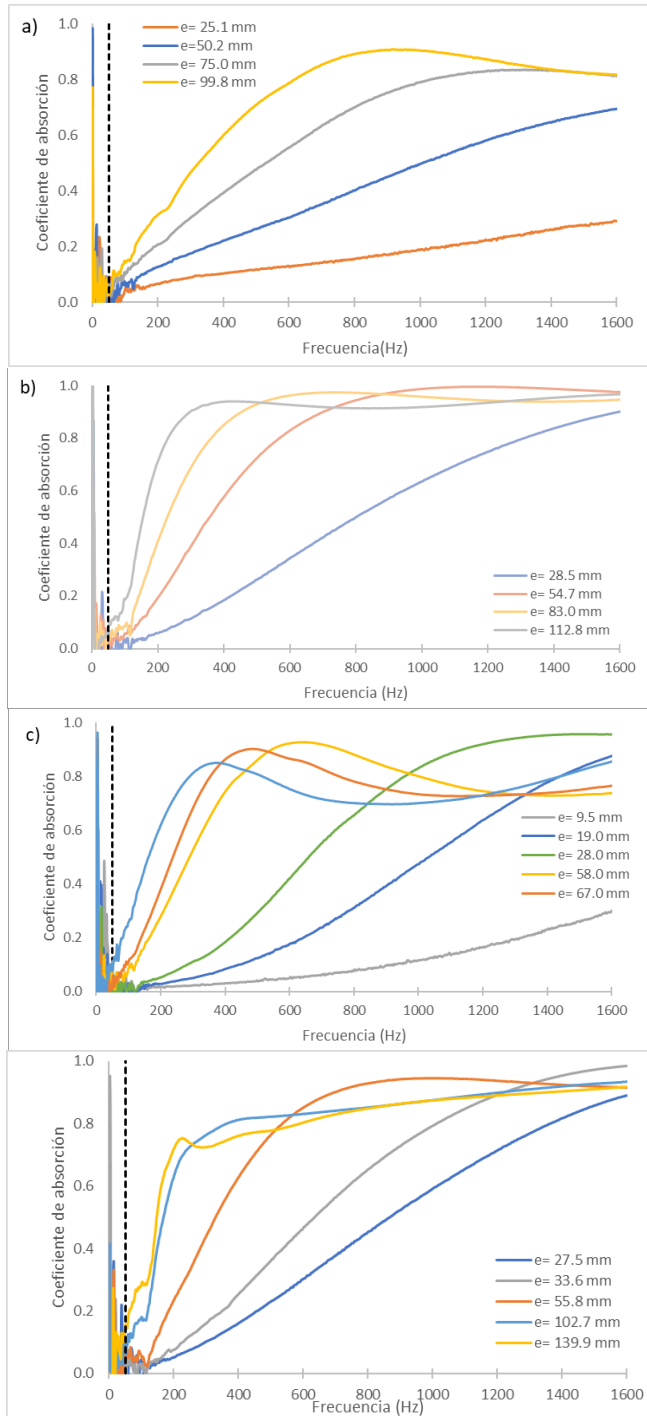


Figura 4. Valores del coeficiente de absorción para muestras de diferentes espesores de los tipos de muestras estudiados. a) Muestras de espuma; b) muestras de lana mineral; c) muestras preparadas con colillas usadas sin disgregar; d) muestras preparadas con colillas usadas disgregadas. La línea vertical discontinua muestra el valor de frecuencia de 50 Hz.

Como puede apreciarse en las gráficas que se incluyen en la Figura 4, existe un claro aumento absorción acústica con el espesor para los cuatro tipos de muestras estudiados. Si bien, para espesores bajos, el aumento del espesor implica un aumento de absorción en todas las frecuencias, cuando el espesor aumenta, se observa que el aumento a bajas frecuencias se ‘compensa’ con una disminución a frecuencias superiores. Esta diferencia se observa especialmente en las muestras preparadas con colillas no disgregadas [Figura 4c)]. Si, no obstante, se calcula la absorción en todo el rango de medida (de 50 a 1600 Hz) se puede observar en la Figura 5 que, el aumento del espesor implica para todo el rango estudiado un claro aumento de la absorción global media de las muestras. Como se aprecia en esta figura, las muestras de espuma usadas muestran un comportamiento ligeramente diferente a los otros tres tipos de muestras del estudio.

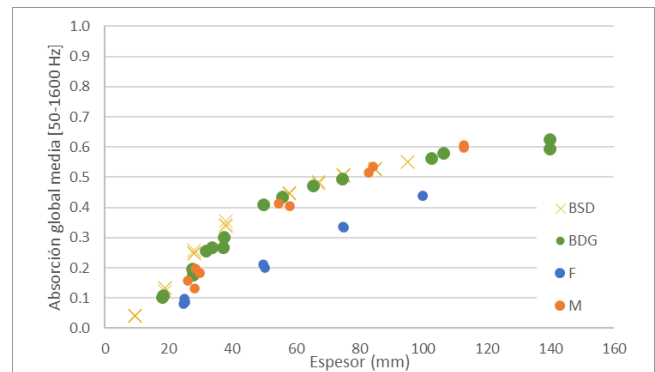


Figura 5. Variación de la absorción global media [50-1600 Hz] con la variación de espesor para los diferentes tipos de muestras estudiados.

En cuanto a los máximos de absorción, continuando en la Figura 4, se observa que, para los espesores más altos, existe un máximo de absorción del material en el rango de frecuencias medido (de 50 a 1600 Hz); sin embargo, para las muestras de menor espesor se ve que existe un continuo crecimiento de la absorción en el mencionado de frecuencias, si bien se intuye que el máximo de absorción se encuentra a frecuencias de valor superior a 1600 Hz.

Para los máximos de absorción que claramente se sitúan en el rango de frecuencias, se puede apreciar que, al aumentar el espesor, se produce un corrimiento del valor de la frecuencia del valor máximo de absorción hacia frecuencias inferiores. Este desplazamiento se analizará más adelante. También se observa que, excepto en el caso de las muestras de espumas, este descenso en el valor de la frecuencia del primer máximo va acompañado de un ligero descenso del valor máximo de la absorción de las muestras. Este comportamiento se ha representado en la Figura 6, en la que se han eliminado los valores correspondientes a aquellos espesores en los que se aprecia que el máximo de absorción tendría lugar por encima de 1600 Hz.

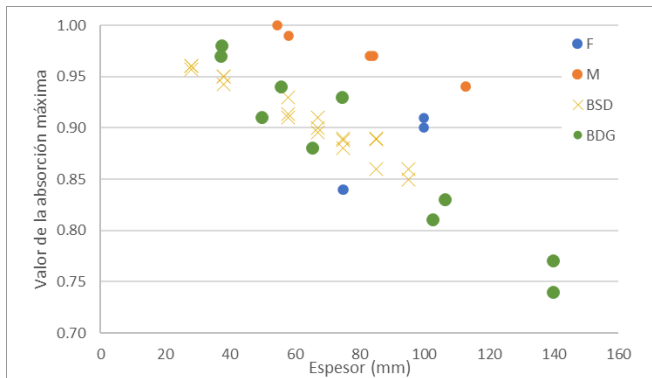


Figura 6. Variación con el espesor de la muestra de los valores del coeficiente de absorción máximo para los diferentes tipos de muestras.

Finalmente, en la Figura 4, como ya se ha mencionado, también se aprecia que el aumento del espesor provoca un desplazamiento del máximo de absorción a frecuencias más bajas. Este comportamiento, como ya se indicó en el apartado de introducción, es esperado, al irse incluyendo en el interior del material, cuando aumenta el espesor, máximos de velocidad de frecuencias inferiores. En la Figura 7, se muestra el corrimiento en el valor de la frecuencia del máximo de absorción en las muestras preparadas para los diferentes tipos de muestras y, adicionalmente, se incluye, en forma de línea continua, la expresión teórica indicada en la Ec. 1, suponiendo una temperatura de 18 °C.

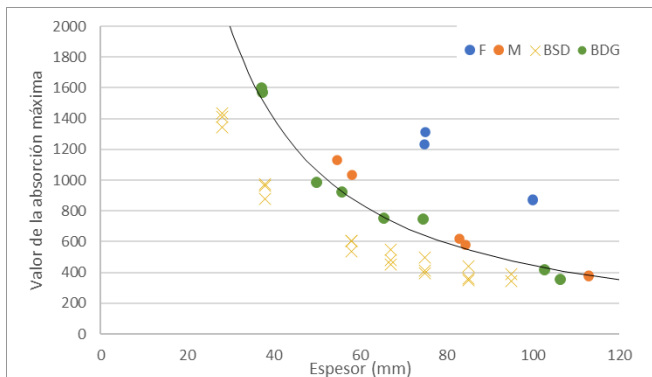


Figura 7. Variación del valor de la frecuencia de absorción máxima con el espesor de la muestra para los diferentes tipos de muestras. La línea sólida representa los valores dados por la Ec.1.

En la Figura 7, se puede observar, en primer lugar, que la tendencia descrita de que la frecuencia del máximo de absorción se desplace a frecuencias inferiores al aumentar el espesor, se aprecia en los cuatro tipos de muestras considerados para su estudio. Por otro lado, se observa que

la tendencia, si bien descendiente en todos, es muy diferente de un tipo de muestras a otro y sólo entre las muestras preparadas con colillas disgregadas y las muestras de lama mineral, podría haber algún tipo de similitud, que habría que analizar con más detenimiento. De igual forma, en el comportamiento teórico se aprecia que sólo las muestras preparadas a partir de colillas usadas disgregadas, claramente, y en menor medida, las muestras de lanas minerales tienen un comportamiento similar al que predice la ecuación teórica.

4. CONCLUSIONES

Los estudios llevados a cabo con muestras de diferentes espesores de cuatro tipos diferentes de materiales porosos muestran que:

- El incremento de espesor produce un aumento de absorción acústica, más destacado para espesores pequeños y más atenuado al aumentar el espesor.
- Asociado al aumento del espesor se produce un desplazamiento de los máximos de absorción hacia frecuencias más bajas. Este desplazamiento va a acompañado, en tres de los cuatro materiales estudiados, de un descenso del valor de absorción máxima de las muestras.
- Se observa que la tendencia de disminución, al aumentar el espesor de la muestra, de los valores de las frecuencias de los máximos de absorción, es diferente de un tipo de muestras a otras y, sólo en dos de los tipos de materiales estudiados, se aprecia una cierta semejanza por la expresión teórica en la bibliografía.

Los estudios llevados a cabo y presentados en este trabajo, se podrían ampliar con estudios estadísticos que pongan de manifiesto si las similitudes indicadas o descartadas, lo son estadísticamente. Además, parece conveniente, ampliar el estudio que se presenta a muestras de 29, que nos permitirían comprobar cuál es la influencia de la absorción en el rango de frecuencias comprendido entre 500 y 6400 Hz. Por último, dada la disparidad observada entre unas muestras y otras, parece también interesante, el ampliar el estudio con nuevos tipos de materiales porosos.

5. AGRADECIMIENTOS

Los trabajos presentados se enmarcan dentro del contrato entre la Universidad de Extremadura y ALTADIS denominado “Desarrollo de la línea de investigación de reciclaje de filtros usados de cigarrillos como materiales acústicos” (ref. 075/21).

6. REFERENCIAS

- [1] J. Ramis, J. Alba, R. del Rey, E. Escuder, V. J. Sanchís. “New absorbent material acoustic based on kenaf’s fibre”, *Materiales de Construcción*, 60, 299, 133-143, 2010.
- [2] R. Maderuelo-Sanz, J.M. Barrigon Morillas, M. Martín Castizo, V. Gómez Escobar, G. Rey Gozalo. “Acoustical performance of loose cork granulates”, *European Journal of Wood and Wood Products*, 72, 321-330, 2014.
- [3] F. Martellotta, A. Cannavale, V. De Matteis, U. Ayr. “Sustainable sound absorbers obtained from olive pruning wastes and chitosan binder”. *Applied Acoustics*, 141, 71–78, 2018.
- [4] J.M. Gadea Borrell, J. Juliá Sanchís, J. Segura Alcaráz, I. Montava Belda. “Sustainable sound absorbers from fruit stones waste”, *Applied Acoustics*, 161, 107174 (9pp), 2020.
- [5] M. Raj, F. Shahab, N. Tandon. “Recycled materials as a potential replacement to synthetic sound absorbers: A study on denim shoddy and waste jute fibers”, *Applied Acoustics*, 159, 107070, 2020.
- [6] R. Rey, A. Uris, J. Alba, P. Candelas. “Characterization of sheep wool as a sustainable material for acoustic applications”, *Materials*, 10, 1277-1287, 2017
- [7] H. Kuttruf, *Room Acoustics*, Spoon Press, EEUU, 2000.
- [8] A. Carrión Isbert, *Diseño Acústico de espacios arquitectónicos*, Edicions UPC, Barcelona, 1998.
- [9] V. Gómez Escobar, C. Moreno González, G. Rey Gozalo. “Analysis of the influence of thickness and density on acoustic absorption of material made from used cigarette butts”, *Materials*, 14, 4524 (16pp), 2021.
- [10] V. Gómez Escobar, C. Moreno González, M^a J. Arévalo Caballero, M^a L. Durán Martín-Merás, G. Rey Gozalo, C. J. Pérez Sánchez. “Influencias en la absorción acústica de muestras preparadas a partir de colillas de cigarrillos usadas,” in Publicación del Congreso TecnAcústica 2022 (Elche, Spain), pp 466, 473, 2022.
- [11] ISO 10534-2. Acoustics: Determination of Sound Absorption Coefficient and Impedance in Impedance Tubes. Part 2: Transfer-Function Method. International Organization for Standardization, Switzerland, 1998.