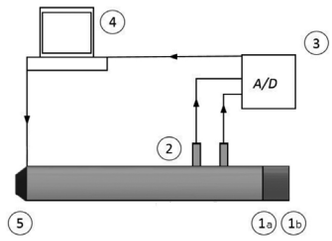
Optimización de la absorción de sonido de un material textil



Optimisation of the sound absorption of a textile material

Pilar Segura-Alcaraz[1], Jorge-Gabriel Segura-Alcaraz[2], Ignacio Montava-Seguí[1] y Marilés Bonet-Aracil[1]

[1] Universitat Politècnica de València. Escuela Politécnica Superior de Alcoy. Dpto. de Ingeniería Textil y Papelera. Plaça Ferrándiz i Carbonell, s/n – 03801 Alcoi, Alicante (España).
[2] Universitat Politècnica de València. Escuela Politécnica Superior de Alcoy. Dpto. de Mecánica de los Medios Continuos y Teoría de Estructuras. Plaça Ferrándiz i Carbonell, s/n - 03801 Alcoi, Alicante (España).

DOI: http://dx.doi.org/10.6036/9570 | Recibido: 27/11/2019 • Inicio Evaluación: xx/xx/2019 • Aceptado: 30/12/2019

ABSTRACT

- A fibrous sound absorbing material, such as a polyester nonwoven, can be covered with a layer of fabric for its protection and decoration, with an improvement of its sound absorption characteristics. In this work, the sound absorption coefficient of a multilayer textile material composed by a 45mm polyester nonwoven and a layer of stuffed fabric, is measured using an impedance tube. Design of experiments is used to optimize two characteristics of the fabric like weft density and use of stuffing picks, so the highest sound absorption coefficient is obtained in all the studied frequencies. Results show the combination of the studied factors that maximizes sound absorption.
- **Keywords:** Sound absorption, polyester, nonwoven, fabric, design of experiments, DOE.

RESUMEN

Un material absorbente de sonido de tipo fibroso como la guata de poliéster se puede cubrir con una lámina de tejido para su protección y decoración, mejorando sus características de absorción acústica. En este trabajo se mide el coeficiente de absorción de sonido de un material textil multicapa formado por una capa de 45 mm de no tejido de poliéster y una capa de tejido acolchado empleando el tubo de impedancia. Se emplea el diseño de experimentos para optimizar dos características del tejido como son la densidad de trama y el empleo de tramas de relleno de forma que se obtenga el mayor coeficiente de absorción de sonido en todas las frecuencias estudiadas. Los resultados proporcionan la combinación de los factores estudiados que maximiza la absorción acústica.

Palabras clave: Absorción de sonido, poliéster, no tejido, tejido, diseño de experimentos, DDE.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad se emplean paneles absorbentes de sonido donde se desea controlar las condiciones acústicas como estudios de grabación, salas de ensayos, restaurantes, oficinas, recintos feriales, etc. Estos paneles pueden ser instalados en diversas formas, tales como colgados del techo o en las paredes. Además, pueden estar fabricados en distintos materiales, entre ellos, los materiales textiles.

Los materiales absorbentes de sonido de tipo fibroso han sido ampliamente estudiados [1]. En el caso de los materiales textiles destaca la guata, lana o no tejido a base de poliéster [2, 3]. Este material se emplea como absorbente acústico en diferentes presentaciones tales como suspendido del techo en diversas formas, o recubriendo paredes en forma de plafones. En la figura 1 se muestra una aplicación de paneles de guata de poliéster sin ningún recubrimiento, de forma suspendida. Por otro lado, desde un punto de vista medioambiental, la fibra de poliéster, entre otras ventajas, es reciclable [4] y puede ser obtenida a partir del reciclado de botellas de PET [5, 6, 7].

Los textiles tejidos colgados en forma de cortina también son adecuados para la absorción de sonido [8, 9, 10, 11, 12].

Mediante el empleo de diferentes capas de materiales porosos, se obtiene un material multicapa, capaz de proporcionar una mayor absorción del sonido [13, 14, 15 , 16, 17].

Si consideramos la capa de tejido como una membrana perforada, éste actúa como una capa resistiva controlando la absorción de sonido del material multicapa [18]. La influencia de la densidad de hilos y pasadas de este tejido ha sido estudiada en base a ligamento tafetán empleando tejidos simples [19].

En este trabajo se une una capa resistiva de tejido doble, con ligamento tafetán, con y sin pasadas de relleno a una capa de material no tejido y se determina la combinación de densidad de trama y pasadas de relleno que proporciona mayor absorción de sonido, mediante el diseño de experimentos. Los resultados mues-



Fig. 1: Espacio acondicionado mediante paneles de guata de poliéster sin recubrir [21]

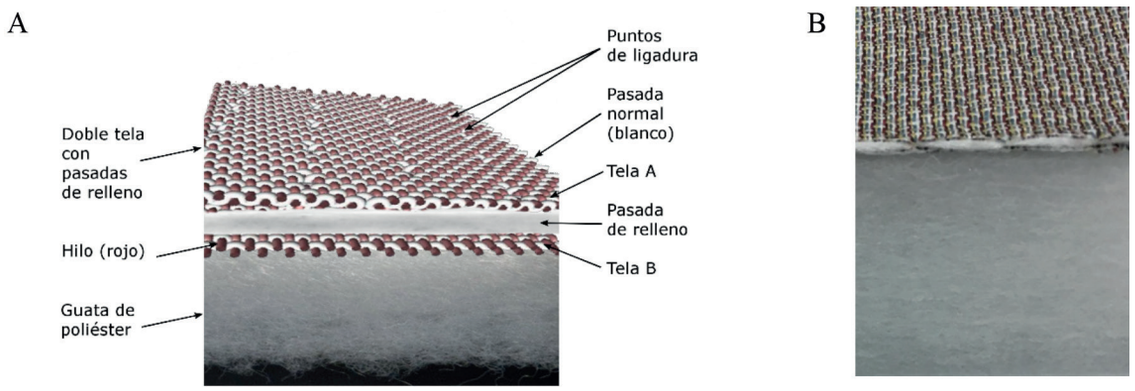


Fig. 2: Material empleado. (A) Esquema de la disposición de las diferentes capas del material. (B) Fotografía

tran que la capa resistiva de tejido aumenta la absorción acústica del material multicapa creando un material textil de bajo peso, reciclable, decorativo, bajo coste, fácil de manipular, indicado para su uso en acústica arquitectónica, automoción, industria naval, ferroviaria o aviación.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. MATERIALES

Se emplea un material de dos capas formado por una doble tela con pasadas de acolchado situada sobre una guata de poliéster, sin adhesivo. En la Figura 2 puede observarse la sección del material.

La estructura del tejido se resume en la Tabla 1. Las pasadas de relleno se insertan entre las dos telas, con retención en el telar. Así, una relación de trama de 4/1/4 significa que se inserta una trama de relleno cada cuatro tramas de la tela superior y otras cuatro de la tela inferior. Las muestras se producen con un telar Smit GS 900, controlando la densidad de trama de forma electrónica. Dichas muestras se ensayan tal y como salen del telar sin ningún tratamiento posterior. Se emplean hilos de poliéster texturizado debido a su alta capacidad de recubrimiento y por estar formados por multitud de finos filamentos que crean poros intra-hilo. Las características de los tejidos se muestran en la Tabla 2.

Relación de urdimbre	Ligamento de la tela superior	Ligamento de la tela inferior	Relación de trama	Densidad de trama (pasadas/cm)
1/1	Tafetán	Tafetán	4/0/4	45
				60
			4/1/4	45
				60

Tabla 2: Estructura del tejido

Urdimbre	Densidad de urdimbre (hilos/cm)	Trama	Pasadas de relleno	Densidad de trama (pasadas/cm)
Poliester 167 dTex 40 filamentos Continus Texturado	60	Poliester 167 dTex 40 filamentos Continuo Texturizado	Poliester 330 Tex 950 filamentos Continuo Texturizado	45, 60

Tabla 3: Características del tejido

Material	Densidad (g/m^2)	Longitud de fibra (mm)	Número fibras (dtex)	Sección de fibras	Espesor ensayado (mm)
Poliéster	160	63	112,33	circular maciza	45

Tabla 4: Características del no tejido

Se emplea tejido con ligamento tafetán debido a que sus bastas de corta longitud proporcionan el mayor número de entrecruzamientos o puntos de ligadura y, por tanto, de poros inter-hilo o aberturas en el tejido, capaces de atrapar aire en ellos [20].

La guata de poliéster se obtiene por vía seca con consolidación térmica mediante el empleo en la mezcla de fibras con un punto de fusión más bajo. La Tabla 3 muestra sus características.

2.2. EXPERIMENTAL

2.2.1. COEFICIENTE DE ABSORCIÓN ACÚSTICA A INCIDENCIA NORMAL

Las mediciones del coeficiente de absorción de las diferentes muestras se realizan según la norma ISO 10534-2: Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia. Parte 2: Método de la función de transferencia. Este método permite obtener el coeficiente de absorción acústica a incidencia normal empleando un tubo de ondas estacionarias, dos micrófonos, un altavoz y un sistema digital de análisis de la señal. La fuente de sonido genera ondas planas en el tubo. Se realiza la descomposición del campo interferencial midiendo la presión sonora en dos posiciones mediante micrófonos montados en la pared del tubo. A continuación, empleando una función de Matlab diseñada al efecto, se determina la función de transferencia acústica compleja de las señales de los dos micrófonos, a partir de la cual se deduce el coeficiente de absorción a incidencia normal. El tubo de impedancia es un tubo estrecho, rígido y hermético que debe cumplir las condiciones que se detallan en la norma indicada.

Para realizar las mediciones, la muestra se sitúa en el extremo del tubo de impedancia (Fig. 3) sin cavidad de aire posterior. La capa de tejido se coloca en la cara más cercana a la Fuente de sonido.

2.2.2. DISEÑO DE EXPERIMENTO

Se desea estudiar el efecto de varios factores sobre el coeficiente de absorción acústica de un material obteniendo un modelo que explique las interrelaciones entre la densidad de trama, la presencia de pasadas de relleno y el coeficiente de absorción acústica del material de que forma parte el tejido. Para ello de emplea el programa Statgraphics Centurion XVII.

Dado que el coeficiente de absorción acústica suele ser diferente para distintas

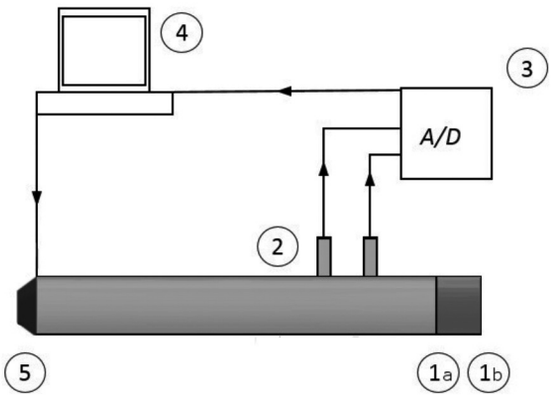


Fig. 3: Esquema del tubo de impedancia empleado para la medición del coeficiente de absorción acústica, donde: 1a) situación de la cara de tejido en la muestra; 1b) ídem del no tejido; 2) micrófonos (micrófonos G.R.A.S. modelo 40AO); 3) sistema de adquisición de datos (NI-9233); 4) PC y 5) fuente de sonido.

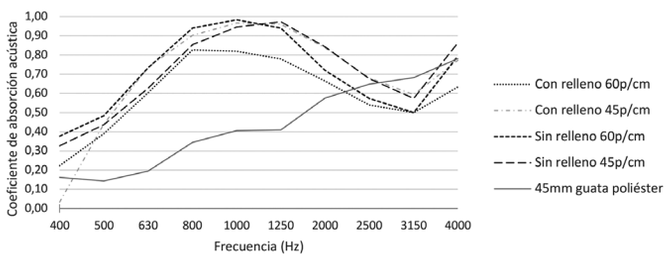


Fig. 4: Coeficiente de absorción acústica del material multicapa compuesto por 45mm de no tejido y una capa del tejido estudiado, y del no tejido sin la capa de tejido

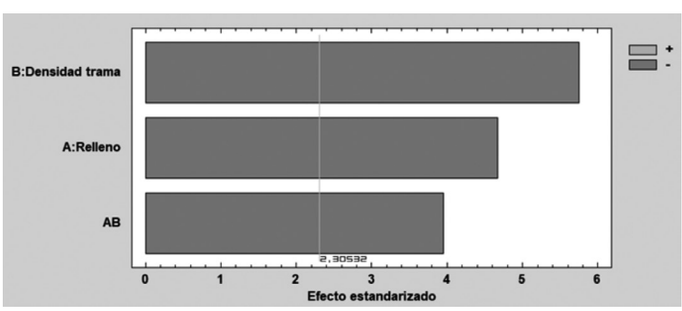


Fig. 5: Diagrama de Pareto estandarizado para el coeficiente de absorción de sonido a 1250 Hz

Frecuencia	Euación de regresión
400Hz	-0,0683333 - 0,223333*Relleno + 0,008*Densidad trama
500Hz	0,465833 - 0,045*Relleno - 0,000111111*Densidad trama
630Hz	0,306667 + 0,83*Relleno + 0,00711111*Densidad trama - 0,016*Relleno*Densidad trama
800Hz	0,593333 + 0,54*Relleno + 0,00577778*Densidad trama - 0,0108889*Relleno*Densidad trama
1000Hz	0,836667 + 0,57*Relleno + 0,00244444*Densidad trama - 0,0122222*Relleno*Densidad trama
1250Hz	1,07333 + 0,426667*Relleno - 0,00222222*Densidad trama - 0,00977778*Relleno*Densidad trama
2000Hz	1,30083 - 0,0316667*Relleno - 0,00988889*Densidad trama
2500Hz	1,05083 - 0,015*Relleno - 0,00811111*Densidad trama
3150Hz	0,828333 + 0,01*Relleno - 0,00555556*Densidad trama
4000Hz	1,19583 - 0,125*Relleno - 0,007*Densidad trama

Tabla 5: Ecuaciones de regresión obtenidas

frecuencias, se toman las medias de las mediciones a las frecuencias centrales de los tercios de octava 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 2000, 2500, 3000, 3150, y 4000 Hz. El coeficiente de absorción acústica a cada una de estas frecuencias se considera una variable respuesta independiente. Se define un diseño factorial 2k con k=2 factores experimentales y 10 variables respuesta. Para conocer el efecto de cada factor se toman dos valores considerados máximo y mínimo Los factores experimentales son A: existencia o no de pasadas de relleno y B: densidad de trama, que se toma a dos niveles: 45 pasadas/cm y 60 pasadas/cm. El diseño tiene 12 ejecuciones (correspondientes a 2kn = 22 * 3 replicaciones), con 1 una muestra por ejecución.

3. RESULTADOS

3.1. COEFICIENTE DE ABSORCIÓN ACÚSTICA A INCIDENCIA NORMAL

El coeficiente de absorción acústica de los cuatro materiales estudiado se muestra en la Figura 4. Como se observa en la misma, al añadir una capa de cualquiera de los tejidos estudiados a la capa de guata, el coeficiente de absorción de sonido del conjunto aumenta de forma general.

El tejido que proporciona una menor absorción en todas las frecuencias es el correspondiente a la mayor densidad de trama y con pasadas de relleno. La gráfica no muestra claramente cual es el tejido que proporciona la mayor absorción al mayor número de frecuencias. Posiblemente este tejido es demasiado tupido y no permite el paso del aire a la zona de guata, impidiendo la degradación de la onda sonora que en ella se produce.

Por otro lado, aparece una región entre 2500 y 4000 Hz en la cual la absorción de la guata sin recubrir con tejido supera a la guata recubierta. Esta región es más amplia, de nuevo, en el caso del tejido con mayor densidad de trama y con pasadas de relleno. El coeficiente de absorción de sonido mínimo coincide en todos los tejidos a 3150 Hz. Se podría considerar como un patrón debido al tipo de material.

3.2. DISEÑO DEL EXPERIMENTO

Como ejemplo se muestra en la Figura 5, el diagrama de Pareto estandarizado para el coeficiente de absorción de sonido a 1250 Hz. En él se observa la influencia de los dos factores estudiados, así como de su interacción.

En la Tabla 4 se muestran las ecuaciones de regresión ajustadas a los datos para los factores estudiados y sus interacciones significativas en cada tercio de octava:

A continuación, se utiliza un análisis de la varianza ANOVA para comprobar si los efectos experimentales (muestrales) son lo suficientemente importantes como para generalizar los resultados. La hipótesis nula considera que todas las medias de los niveles de los factores son iguales y la hipótesis alternativa que al menos una es diferente. Si el valor-P de un efecto es menor que un nivel de significación de 0,05, indica que es significativamente diferente de cero con un nivel de confianza del 95,0%. Los resultados se resumen en la Tabla 5.

Se han ajustado 10 modelos estadísticos a las variables respuesta. El análisis de la varianza muestra 9 de ellos con P-valor por debajo de 0,05, lo cual indica que el modelo ajustado es estadísticamente significativo al 5,0% de nivel de significación. El coeficiente de determinación o R cuadrado indica el porcentaje de variación del coeficiente de absorción acústica que es explicado por la densidad de trama y la existencia de pasadas de perdido en el tejido, o sea refleja la bondad de ajuste del modelo. Como en nuestro caso existe más de una variable explicativa es más adecuado emplear el coeficiente de determinación ajustado, el cual es inferior al R cuadrado normal. El estadístico R cuadrado ajustado muestra valores entre 0% y 95,36%.

Modelo	400Hz	500Hz	630Hz	800Hz	1000Hz
Transformación	ninguno	ninguno	ninguno	ninguno	ninguno
Modelo d.f.	2	2	3	3	3
P-valor	0,0201	0,5268	0,0431	0,0008	0,0031
Error d.f.	9	9	8	8	8
Stnd. error	0,124529	0,066451	0,0581664	0,0212132	0,0384057
R-cuadrado	58,01	13,28	61,93	86,51	80,81
Adj. R-cuadrado	48,68	0,00	47,66	81,45	73,61

Modelo	1250Hz	2000Hz	2500Hz	3150Hz	4000Hz
Transformación	ninguno	ninguno	ninguno	ninguno	ninguno
Modelo d.f.	3	2	2	2	2
P-valor	0,0003	0,0000	0,0000	0,0000	0,0002
Error d.f.	8	9	9	9	9
Stnd. error	0,0321455	0,0276385	0,022464	0,0096225	0,0387896
R-cuadrado	89,80	90,94	90,85	96,21	85,52
Adj. R-cuadrado	85,98	88,93	88,81	95,36	82,30

Tabla 6: Análisis de la varianza

Teniendo en cuenta que el objetivo del experimento es maximizar los coeficientes de absorción a todas las frecuencias, las características óptimas de los factores experimentales se muestran en la tabla 6. Para determinar el valor óptimo se emplea, en el programa Statgraphics, el procedimiento de Optimización de Múltiples Respuestas. Una vez construidos los modelos para la absorción a cada frecuencia por separado, se indica al programa que se pretende maximizar el coeficiente de absorción en cada una de ellas. El valor óptimo representa la combinación de factores experimentales que proporcione el valor de absorción más elevado simultáneamente en el mayor número de frecuencias posible. La deseabilidad optimizada obtenida es de 0,692402. La Tabla 7 muestra los valores de los factores experimentales (dentro del rango estudiado) que permiten obtener el mayor coeficiente de absorción acústica a todas las frecuencias estudiadas.

4. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha estudiado la influencia en el coeficiente de absorción de sonido de una capa resistiva de tejido sobre un no tejido. Para ello se ha utilizado el diseño de experimentos, definiendo las variables y los niveles, obteniendo los modelos de regresión para cada frecuencia estudiada, así como realizando un análisis de varianza o ANOVA para cada uno de ellos. Se han optimizado las respuestas y se han obtenido los valores de las variables que maximizan la absorción acústica.

Los resultados muestran que el empleo de tramas de relleno combinado con una densidad de trama de 60 p/cm proporcionan un coeficiente de absorción acústica inferior al resto de opciones. Sin embargo, si se desea conocer la mejor combinación para conseguir el máximo coeficiente de absorción de sonido, la gráfica no parece ser suficiente. El empleo de la técnica de diseño de experimentos permite, partiendo de tan sólo los niveles alto y bajo de cada factor experimental obtener esta combinación. En este caso, el tejido con 45 p/cm y sin tramas de relleno generan un índice de deseabilidad de 69,24%, siendo el que procuraría mayor absorción sonora al material compuesto por una capa de dicho tejido y una capa de guata de poliéster de 45mm de espesor.

Como líneas futuras, desde el punto de vista de la sostenibilidad, se estudiarán otros materiales naturales en sustitución de la lana de poliéster, como lana de oveja, fibra de coco, algas, restos agrícolas. En el caso de la capa resistiva de tejido, también es posible emplear fibras naturales como el yute, lino, algodón, etc.

Respuesta	Optimizado	Predicción	Inferior 95,0% Límite	Superior 95,0% Límite	Deseabilidad
SAC400Hz	si	0,278637	0,143043	0,414231	0,580494
SAC500Hz	si	0,458208	0,385852	0,530563	0,515275
SAC630Hz	si	0,633085	0,560023	0,706148	0,418835
SAC800Hz	si	0,856251	0,829606	0,882897	0,41407
SAC1000Hz	si	0,947834	0,899593	0,996075	0,824307
SAC1250Hz	si	0,972555	0,932177	1,01293	0,971366
SAC2000Hz	si	0,853985	0,82389	0,884079	0,930368
SAC2500Hz	si	0,684957	0,660497	0,709417	0,911513
SAC3150Hz	si	0,578916	0,568439	0,589394	0,808329
SAC4000Hz	si	0,873539	0,831303	0,915776	0,889513

Tabla 7: Valores de respuesta y óptimo

Factor	Establecimiento
Relleno	0,0583462
Densidad trama	45,0001

Tabla 8: Factores establecidos y óptimo

REFERENCIAS

1 Allampalayam Jayaraman K. "Acoustical Absorptive Properties of Nonwovens", Tesis. North Carolina State University 2005.
2 Narang P P. "Material Parameter Selection in Polyester Fibre Insulation for Sound Transmission and Absorption". Applied Acoustics. 1995. Vol. 45- 4. p. 335-358.
3 Nick A, Becker U Thoma W. "Improved Acoustic Behavior of Interior Parts of Renewable Resources in the Automotive Industry", Journal of Polymers and the Environment. 2002.10- 3. p.115–118.
4 Lou C W. "Recycling Polyester and Polypropylene Nonwoven Selvages to Produce Functional Sound Absorption Composites". Textile Research Journal. 2005. Vol 75- 5. p.390–394
5 Intini F, Kühtz S. "Recycling in Buildings: An LCA Case Study of a Thermal Insulation Panel Made of Polyester Fiber, Recycled from Post-Consumer PET Bottles", The International Journal of Life Cycle Assessment. 2011. Vol 16-4. p.306-315
6 Watanabe K et al. "Development of High-Performance All-Polyester Sound-Absorbing Materials". JSAE Review. 1 julio 1999. Vol 20-3. p.357–62.
7 Lee Y, Joo C. "Sound Absorption Properties of Recycled Polyester Fibrous Assembly Absorbers". Autex Research Journal. 2003. Vol. 3-2. p.78-84.
8 Hanna Y I. Kandil M M. "Sound Absorbing Double Curtains from Local Textile Materials". Applied Acoustics. 1991. Vol. 34-4. p.281-291.
9 Pieren R. "Sound Absorption Modelling of Thin, Lightweight Curtains". Proceedings Euronoise Prague. Prague. 2012. p.815-20.
10 Pieren R, Heutschi K. "Predicting Sound Absorption Coefficients of Lightweight Multilayer Curtains Using the Equivalent Circuit Method". Applied Acoustics. 2015. Vol 92. p. 27-41.
11 Pieren R. "Sound Absorption Modeling of Thin Woven Fabrics Backed by an Air Cavity". Textile Research Journal. 19 junio 2012. Vol 82. p. 864–874.
12 Pieren R et al. "Sound Absorption of Textile Curtains – Theoretical Models and Validations by Experiments and Simulations". Textile Research Journal. 2018. Vol. 88. p. 36-48.
13 Cox T J, D'Antonio P. Acoustic Absorbers and Diffusers: Theory, Design and Application. Psychological Science. 2009.
14 Liu X, Liu J, Su X. "A Computational Model for the Sound Absorption Coefficients of Multi-Layer Non-Wovens". Textile Research Journal. September 2015. Vol. 85-15. p.1553–64.
15 Bansod P V, Mohanty A R. "Inverse Acoustical Characterization of Natural Jute Sound Absorbing Material by the Particle Swarm Optimization Method". Applied Acoustics. November 2016. Vol. 112. p. 41–52.
16 Tang X, Yan X. "Multi-Layer Fibrous Structures for Noise Reduction". The Journal of The Textile Institute. December 2017. Vol. 108-12. p. 2096–2106.
17 Tang X et al. "Sound Absorption Properties of Nonwoven Fabric Based Multi-Layer Composites". Polymer Composites. August 2018. Vol. 40-5. p. 2012-2018.
18 Chevillotte F. "Controlling Sound Absorption by an Upstream Resistive Layer". Applied Acoustics. 2012. Vol. 73-1. p.56–60.
19 Segura-Alcaraz P et al. "The Use of Fabrics to Improve the Acoustic Absorption: Influence of the Woven Fabric Thread Density over a Nonwoven". Autex Research Journal. 2018. Vol. 18-3. p. 269-280.
20 Soltani P, Zarrebini M. "Acoustic Performance of Woven Fabrics in Relation to Structural Parameters and Air Permeability". Journal of the Textile Institute. September 2013. Vol. 104-9. p.1011–16
21 Ágora Alcoy. [ref. de 18 de noviembre 2019]. Disponible en web: <https://m.facebook.com/photo.php?fbid=1552715731488688&tid=305202786239995&tset=a.309594535800820&tsource=54&trefid=13&t_tn_=%2B%3D>