

## APLICACIÓN DE NANOPAPEL PARA LA MEJORA DE PRESTACIONES ACÚSTICAS

**PACS:** 43.55.

Romina del Rey<sup>1</sup>; Jesús Alba<sup>1</sup>, Ana Llopis<sup>2</sup>, Ignacio Guillén<sup>2</sup>.

Centro de Tecnologías Físicas: Acústica, Materiales y Astrofísica.

Universitat Politècnica de València.

1: Escuela Politécnica Superior de Gandia (EPSG). C/ Paraninfo nº1, Grau de Gandia 46730 (Valencia). España.

2: Escuela Técnica Superior de Arquitectura (ETSA). Camino de Vera, s/n 46022 Valencia

E-mail: roderey@doctor.upv.es, jesalba@fis.upv.es, [allopisr@fis.upv.es](mailto:allopisr@fis.upv.es), iguillen@fis.upv.es

### ABSTRACT

Nanotechnology is helping to achieve advances in many different fields. In architectural acoustics have recently studied the progress achieved with combinations of nanofiber veils and textile substrates. This work studied the sound absorption improvements that can be achieved through the combination of nanopaper with different types of base substrates. In order to obtain it, tests for the sound absorption coefficient at normal incidence were carried out. These tests were with combinations of nanopaper with different percentages of nanofibers (25%, 50%, 75%, 100%), and porous and fibrous substrates such as polyester, natural sheep wool and foams of recycled polyurethane.

Keywords: Eco Materials, composite materials, nanopaper, sound absorption.

### RESUMEN

La nanotecnología está ayudando a conseguir muchos avances en diferentes ámbitos. En acústica arquitectónica recientemente se han estudiado los avances que se consiguen con combinaciones de velos de nanofibras y substratos textiles. En este trabajo se estudian las mejoras en absorción acústica que se pueden conseguir gracias a la combinación de nanopapel con distintos tipos de substratos base. Para ello se realizan ensayos del coeficiente de absorción en incidencia normal de combinaciones de nanopapel con distintos porcentajes de nanofibras (25%, 50%, 75%, 100%) y substratos de base fibrosa y porosa como poliéster, lana natural de oveja y espumas de poliuretano recicladas.

Palabras clave: Eco materiales, composites, nanopapel, absorción sonora

## INTRODUCCIÓN

En el campo de la ingeniería de materiales, la innovación y las aplicaciones tecnológicas de nuevos productos es esencial. Este es un sector en continuo cambio que apuesta por la innovación como vía de desarrollo. La oferta de nuevos productos con prestaciones técnicamente avanzadas y de gran valor añadido, se une a la creciente demanda de productos especializados de alta calidad por parte de los usuarios y consumidores finales. Además, en las últimas décadas, se ha abierto un nuevo campo en este sector: la búsqueda de materiales que al mismo tiempo sean respetuosos con el medio ambiente, lo que se conoce como eco-materiales, materiales ecológicos o *friendly materials*. Si además, estos materiales presentan estructura de composite, tienen un valor tecnológico añadido. Por una parte, la unión de distintos elementos en forma de matriz y refuerzo, dota al conjunto de unas propiedades físicas distintas, y en la mayoría de los casos, superiores a los elementos por separado. Por otra parte, se está convirtiendo prácticamente en necesario el utilizar elementos reciclados y reciclables, así como en cuidar medio-ambientalmente todos los procesos de producción.

El uso de la celulosa para distintas aplicaciones ha estado históricamente motivado por el bajo coste económico de ésta. Poco a poco, con el avance tecnológico de la industria se han ido utilizando las fibras de celulosa para la elaboración de materiales composites, pero desde el punto de vista de material de relleno, y en este caso, la celulosa fragiliza la matriz polimérica [1]. Existen estudios donde la celulosa se ha estudiado con detalle, tanto su naturaleza como la preparación de la misma para la elaboración de composites. En [1] se muestran con detalle las propiedades de “redes” formadas a partir de nanofibras de celulosa. Se demuestra que estas “redes” o fibras de nanocelulosa aumentan la rigidez de la matriz polimérica del composite. Los estudios referentes a las fibras de papel, se han centrado hasta el momento en las propiedades mecánicas de estos composites [1] [2]. En este trabajo se estudia la posibilidad de utilizar estos composites de nanopapel para mejorar las prestaciones acústicas de materiales.

Algunos autores [1] [2] se basan en las propiedades mecánicas que presentan los composites elaborados con nanofibras de refuerzo de celulosa para el diseño de alguna de las posibles aplicaciones de este nanopapel. Está demostrado que la celulosa es una sustancia resistente y ampliamente disponible que se obtiene de las plantas, que en forma de composite y sometiendo la pulpa de madera a ciertas sustancias químicas, puede poseer una elevada resistencia a la tensión, superando la del hierro fundido.

En este trabajo se estudia el coeficiente de absorción en incidencia normal de combinaciones elaboradas a partir de composites de nanopapel. Se estudia la influencia en la absorción acústica del nanopapel como recubrimiento de espesor despreciable. Como substratos base se han considerado 3 tipos distintos de materiales, 2 de ellos fibrosos y 1 espuma porosa: lanas de poliéster, lanas minerales de oveja y espumas recicladas. En trabajos anteriores [3][4][5] se ha demostrado la capacidad de alguno de estos materiales como materiales absorbentes acústicos. Se estudia además la influencia de la cantidad de estas nanofibras naturales de celulosa como refuerzo en la elaboración del composite nanopapel, ya que se evalúa nanopapel con refuerzo al 25%, 50%, 75% y 100%.

## DESARROLLO

### Caracterización De Las Combinaciones Con Nanopapel Para Su Aplicación En Acústica De La Edificación.

En el Código Técnico de la Edificación- Documento Básico de Protección frente al Ruido [6] se especifica que para los productos utilizados en aplicaciones de acondicionamiento acústico debe declararse el coeficiente de absorción acústica en incidencia aleatoria o campo difuso, al menos, para las frecuencias de 500 Hz, 1000 Hz y 2000 Hz, para poder conocer así el coeficiente de absorción medio. Este coeficiente de absorción es necesario en el caso de

productos utilizados como absorbentes acústicos. Este coeficiente de absorción es el coeficiente de absorción en incidencia aleatoria o campo difuso.

El coeficiente de absorción en incidencia aleatoria, o campo difuso, se puede obtener mediante el procedimiento descrito en la norma europea UNE-EN ISO 354:2004 [7] o en la norma americana ASTM C423-09a [8]. En ambas se obtiene por un proceso de medida del tiempo de reverberación, con y sin muestra, en cámara reverberante. Por tanto, si se pretenden utilizar cualquiera de las normas citadas, se requiere una cámara reverberante normalizada, además de una superficie de muestra, que en caso general suele ser de entre 10 y 12 m<sup>2</sup>.

Por otro lado, las normas europeas UNE-EN ISO 10534-1:2002[9] y UNE-EN ISO 10534-2:2002 [10] (o las normas americanas ASTM C384-04 [11] y ASTM E1050-10 [12]) permiten obtener el coeficiente de absorción e impedancia acústica en incidencia normal utilizando como dispositivo el tubo de Kundt. Estas normas presentan un anexo informativo donde se especifica un procedimiento que permite estimar con ciertas limitaciones el coeficiente de absorción acústica en campo difuso a partir de valores del coeficiente de absorción sonora en incidencia normal.

Además, son varios los trabajos que han propuesto modelos físico-matemáticos para interpretar el comportamiento acústico de materiales absorbentes porosos y fibrosos. La gran mayoría de estos modelos se basan en describir la impedancia característica de la onda y la constante de propagación en función de la frecuencia, a partir de las propiedades físicas de los materiales tales como la porosidad, la tortuosidad o la resistencia al flujo del aire. En [4] y [5] se detalla bibliografía de estos trabajos. Dos de las magnitudes necesarias para poder desarrollar y validar este tipo de modelos que describen el comportamiento acústico del material absorbente son el coeficiente de absorción en incidencia normal y la resistencia al flujo.

Por tanto, es importante evaluar el coeficiente de absorción en incidencia normal en un estudio previo para conocer las prestaciones acústicas que presenta un material como absorbente acústico, para poder desarrollar modelos matemático-frecuenciales predictivos del comportamiento acústico, y para poder estimar el valor de la absorción en campo difuso. En este trabajo se estudia la absorción de las combinaciones de nanopapel + substrato base. Se han llevado a cabo medidas del coeficiente de absorción en incidencia normal, según la norma UNE-EN ISO 10534-2: 2002 [10]. El dispositivo experimental para llevar a cabo este estudio y algún ejemplo de las combinaciones estudiadas se puede observar en la figura 1.



Figura 1 a) Ejemplo de muestra sometida a ensayo

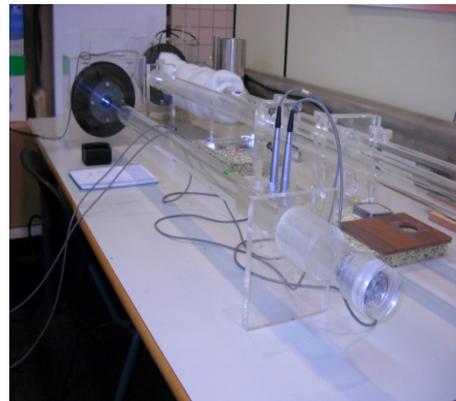


Figura 1 b): Dispositivo experimental para la medición del coeficiente de absorción en incidencia normal (12354-2)

Figura 1.

### Materiales Base y Nanopapel.

Se han estudiado combinaciones con tres tipos distintos de sustratos base y nanopapel de diferentes porcentajes como cara incidente. En la tabla 1 se muestran algunas características de los sustratos base, y en la tabla 2 las composiciones de los nanopapeles utilizados. En las figuras 2 y 3 se pueden observar los materiales descritos en las tablas 1 y 2, respectivamente.

Substrato Base	Referenciado	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Espesor (cm)
Fibras de poliéster reciclado	PET	28	2
Fibras de lana natural de oveja	LANA	20	4
Espuma de poliuretano reciclado	FOAM	75	4

Tabla 1. Substratos base, referenciado, densidad y espesor de los mismos.

Composición Nanopapel	Referenciado
25 Fibras de Nanopapel de refuerzo + 75 % Otras fibras Naturales	2575
50 Fibras de Nanopapel de refuerzo + 50 % Otras fibras Naturales	5050
75 Fibras de Nanopapel de refuerzo + 25 % Otras fibras Naturales	7525
100 Fibras de Nanopapel de refuerzo + 0 % Otras fibras Naturales	100

Tabla 2. Composición del Nanopapel y Referenciado utilizado como cara incidente de las combinaciones estudiadas.

Los espesores del Nanopapel son de 0,01 cm para las composiciones 2575, 5050 y 7525, y apenas unas micras superior en el caso de la composición de 100% fibras de refuerzo.



Figura 2a) Substrato PET



Figura 2b) Substrato LANA  
Figura 2. Substratos base.

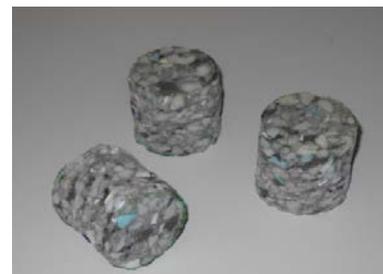


Figura 2c) Substrato FOAM

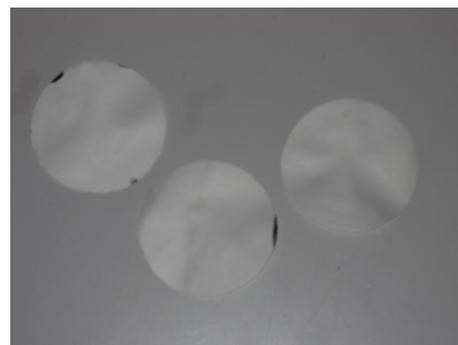


Figura 3. Ejemplos de algunas muestras de nanopapel.

## RESULTADOS

Se ha estudiado el coeficiente de absorción en incidencia normal de las muestras de nanopapel. Cabe recordar el reducido espesor que presentan estas muestras, que, en pocos casos, superan la décima de milímetro. En la figura 4 se muestran los valores de este coeficiente en función de la frecuencia.

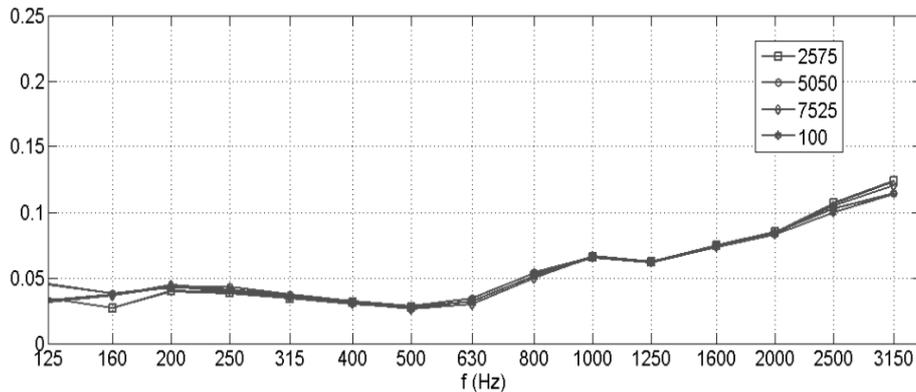


Figura 4. Coeficiente de absorción en incidencia normal (10534-2:2002) de las muestras de nanopapel.

A partir de los valores que se muestran en la figura 4, y siguiendo la filosofía de trabajo de las mejoras en las prestaciones acústicas que se pueden conseguir con nano acabados de substratos textiles [13], se decide estudiar el coeficiente de absorción en incidencia normal, de las siguientes combinaciones:

- |            |             |             |
|------------|-------------|-------------|
| ✓ 2575+PET | ✓ 2575+LANA | ✓ 2575+FOAM |
| ✓ 5050+PET | ✓ 5050+LANA | ✓ 5050+FOAM |
| ✓ 7525+PET | ✓ 7525+LANA | ✓ 7525+FOAM |
| ✓ 100+PET  | ✓ 100+LANA  | ✓ 100+FOAM  |

En las figuras 5, 6 y 7 se comparan los valores del coeficiente de absorción en incidencia normal para un mismo material base: PET (figura 5), LANA (figura 6) o FOAM (figura 7), y distintos porcentajes de nanopapel como cara incidente. Se compara en las mismas gráficas el valor de la absorción sin el nanopapel.

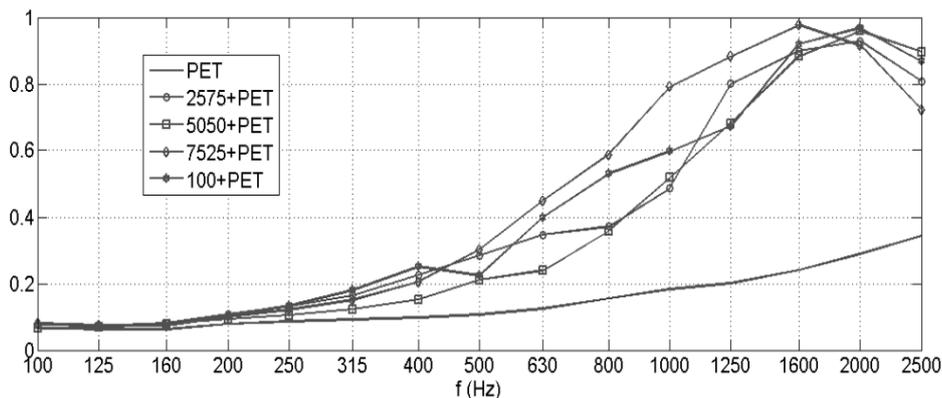


Figura 5. Comparativa del coeficiente de absorción en incidencia normal (10534-2:2002) para la familia de muestras con base PET.

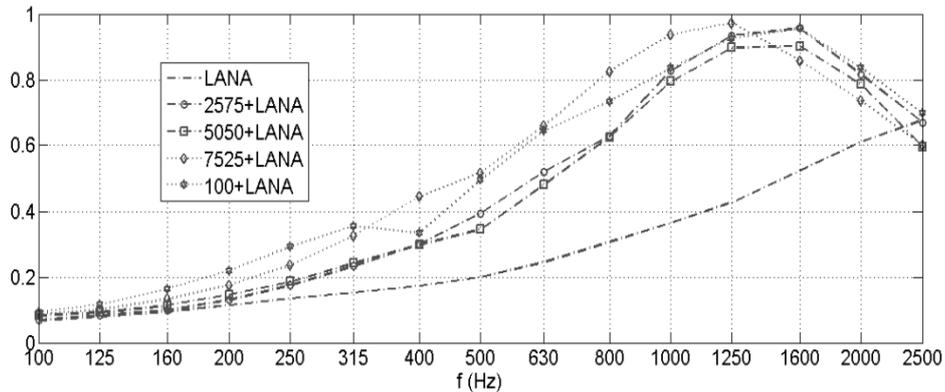


Figura 6. Comparativa del coeficiente de absorción en incidencia normal (10534-2:2002) para la familia de muestras con base LANA.

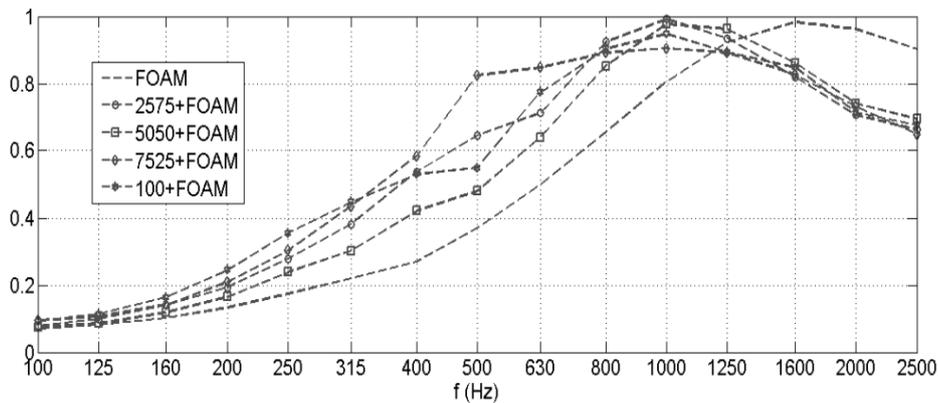


Figura 7. Comparativa del coeficiente de absorción en incidencia normal (10534-2:2002) para la familia de muestras con base FOAM.

Se decide comparar los valores de las combinaciones con el nanopapel 7525, ya que en todos los casos éstas combinaciones son las que presentan valores del coeficiente de absorción más elevados. La comparativa de éstos valores se muestra en la figura 8.

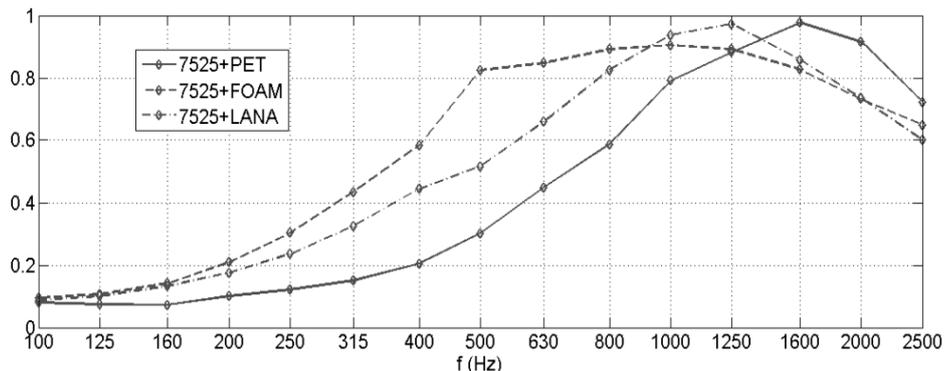


Figura 8. Comparativa del coeficiente de absorción en incidencia normal (10534-2:2002) para las combinaciones con nanopapel 7525 y los tres substratos base escogidos para el estudio.

## CONCLUSIONES

En este trabajo se estudia la absorción sonora en incidencia normal de combinaciones de nanopapel+substrato base. Se estudia la influencia en las prestaciones acústicas de la utilización del nanopapel como cara incidente, así como la composición, % de refuerzo, de

éste. Se observa que el uso de los composites de nanopapel como recubrimiento de materiales convencionales consigue mejorar las prestaciones acústicas, pudiendo así reducir el espesor de la solución acústica final.

Los composites de nanopapel que se presentan en este trabajo, por si solos, no presentan una tendencia de la absorción con la frecuencia típica de un material absorbente acústico, y además, los valores que se observan en la figura 4 están por debajo del límite de precisión del propio procedimiento de medida. Por contra, se puede observar en las figuras 6 y 7, que los substratos base ya conocidos y de 4 cm de espesor, LANA y FOAM, por sí solos, ya presentan valores del coeficiente de absorción típicos de un material absorbente acústico, esto es, el coeficiente de absorción aumenta al aumentar la frecuencia. Se observa en las mismas figuras como el coeficiente de absorción mejora de forma significativa en el caso de la lana natural ¿no es lana natural?(figura 6) y de forma menos pronunciada en el caso de la espuma reciclada (figura 7). En ambos casos, se consigue gracias a la combinación nanopapel+substrato valores del coeficiente de absorción muy próximos a la unidad entorno frecuencias medias, 800-1000 Hz.

En la figura 5 se puede observar la evolución del coeficiente de absorción en incidencia normal para las combinaciones de nanopapel+PET. En este caso, el substrato base es de reducido espesor, baja densidad y presenta valores de absorción muy bajos, sin una tendencia clara de material absorbente acústico. Sin embargo, todas las combinaciones de nanopapel+PET presentan un aumento evidente de la absorción con la frecuencia, desplazándose el máximo, respecto a al resto de combinaciones, a frecuencias superiores, en torno los 1600 Hz.

También se ha podido evaluar la influencia en el coeficiente de absorción del porcentaje en fibras de refuerzo de nanopapel para la elaboración del composite. Los 3 substratos elegidos para este estudio, han sido evaluados con los 4 tipos de nanopapel que se disponía: con refuerzo al 25% (2575), al 50% (5050), al 75% (7525) y al 100% (100). Se observa en todos los casos estudiados, que los valores mayores del coeficiente de absorción en incidencia normal los presenta la combinación con nanopapel 7525, mientras que los de menor absorción se dan con el composite de nanopapel 5050. Se decide comparar las combinaciones con mayor valor del coeficiente de absorción en incidencia normal en la figura 8.

Como conclusión final se ha podido observar que la nanotecnología en ingeniería de materiales puede mejorar las prestaciones en acústica. En el caso que nos ocupa los composites elaborados con nanofibras de celulosa, lo que denominamos nanopapel, permite mejorar las aplicaciones acústicas de materiales fibrosos y porosos. Además, permite convertir un material textil poco absorbente, en una solución absorbente sin aumentar apenas el espesor, como ocurre con el caso del PET. Las posibilidades que ofrecen estos nuevos composites elaborados a partir de nanopapel, son muy amplias, ya que se puede llegar a conseguir una absorción “a la carta” de forma frecuencial, encontrando la combinación adecuada,. Por lo tanto, el tema queda abierto a futuras investigaciones.

#### **AGRADECIMIENTOS**

En este trabajo se presentan resultados del proyecto BIA2013-41537-R (BIAEFIREMAT “Desarrollo de nuevos eco-materiales y soluciones constructivas sostenibles para edificación basado en el uso de residuos y materias primas renovables”) que está financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad de España y cofinanciado con fondos FEDER., dentro del Programa Estatal I+D+I orientada a los Retos de la Sociedad 2013.

## REFERENCIAS

- [1] M. Henriksson, A. Berglund, P. Isaksson, T. Lindström and T. Nishino. Cellulose Nanopaper Structures of High Toughness. *Biomacromolecules*, 2008, 9, 1579-1585.
- [2] A. Serrano, F.X. Espinach, F. Julian, R. del Rey, J.A. Mendez, P. Mutje. Estimation of the interfacial shears strength, orientation factor and mean equivalent intrinsic tensile strength in old newspaper. *Composites part B: Engineering* 2013, 50, 232-238.
- [3] J Alba, J. Ramis, V.J. Sanchis, R. del Rey, E. Escuder. Aplicaciones Acústicas de lanas de poliéster. *Nuevos Desarrollos en Materiales para la Ingeniería*, Vol. I, 2008, 97-110. Editorial Marfil.
- [4] R. del Rey., J. Alba, J. Ramis, V. Sanchis. New absorbent acoustics materials from plastic bottle remnants. *Materiales de Construcción*, 2011, 61,204, 547-558.
- [5] R. del Rey, J. Alba, J.P. Arenas, V. Sanchis. An empirical modelling of porous sound absorbing materials made of recycled foam. *Applied Acoustics*, 2012, 73, 604-609.
- [6] Real Decreto 1371/2007, del 19 de Octubre por el que se aprueba el "Documento Básico de Protección frente al ruido" del Código Técnico de la edificación.
- [7] UNE-EN ISO 354:2004 Acústica. Medición de la absorción acústica en una cámara reverberante. (ISO 354:2003).
- [8] ASTM C423 - 09a Standard Test Method for Sound Absorption and Sound Absorption Coefficients by the Reverberation Room Method.
- [9] UNE-EN ISO 10534-1:2002. Acústica. Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia. Parte 1: Método del rango de onda estacionaria. (ISO 10534-1:1996).
- [10] UNE-EN ISO 10534-2:2002. 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).
- [11] ASTM C384 - 04 Standard Test Method for Impedance and Absorption of Acoustical Materials by Impedance Tube Method.
- [12] ASTM E1050 - 10 Standard Test Method for Impedance and Absorption of Acoustical Materials Using A Tube, Two Microphones and A Digital Frequency Analysis System.
- [13] R. del Rey, J. Alba, M. Blanes, K. Molla, B. Marco, E. Fallarella, F. Peruzzi, V. Sanchis, F. Carrasco. Soluciones demostrativas para reducir la contaminación acústica en las áreas industriales mediante la utilización de tecnologías de acabados en los materiales textiles. *Revista de Acústica*, 2013, 45, 3 i 4, 3-11.