



## CARACTERIZACIÓN ACÚSTICA Y TÉRMICA DE NO TEJIDOS BASADOS EN FIBRAS NATURALES

M. A. Navacerrada<sup>1</sup>, C. Díaz<sup>1</sup>, A. Pedrero<sup>1</sup>, M. Isaza<sup>2</sup>, P. Fernández<sup>2</sup>, C. Álvarez-Lopez<sup>1</sup> y A. Restrepo-Osorio

<sup>1</sup>Grupo de Acústica Arquitectónica, Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad Politécnica de Madrid, Avda. Juan de Herrera 4, 28040 Madrid (Spain)

([mdelosangeles.navacerrada@upm.es](mailto:mdelosangeles.navacerrada@upm.es); [cesar.diaz.sanchidrian@upm.es](mailto:cesar.diaz.sanchidrian@upm.es); [antonio.pedrero@upm.es](mailto:antonio.pedrero@upm.es))

<sup>2</sup>Grupo de Investigación sobre Nuevos Materiales, Ingeniería Industrial, Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín (Colombia)

Un material absorbente acústico colocado en la cámara de un sistema constructivo de separación vertical de dos hojas mejora el aislamiento acústico a ruido aéreo del sistema sin material absorbente. Los materiales sintéticos porosos, tales como la lana de roca o lana de vidrio, son soluciones habituales. Sin embargo, son caros de producir y se basan generalmente en productos petroquímicos. Una alternativa pueden ser los materiales absorbentes elaborados a partir de las fibras naturales. Los hilos obtenidos con las fibras, pueden tejerse para producir un tejido o apelmazarse para producir un no tejido. El desarrollo de materiales no tejidos a partir de fibras naturales, puede ser una opción prometedora y ecológica.

A fin de poder emplear este tipo de materiales como materiales absorbentes, se han caracterizado las propiedades acústicas y térmicas de no-tejidos elaborados a partir de fibras de coco, de fique-coco y de fique. Los métodos empleados para la elaboración de los no-tejidos han sido dos: el método manual que requiere el uso de un ligante y una prensa y mediante el uso de una punzonadora que a través de un mecanismo de agujas permite enlazar las fibras entre sí. En este trabajo, para los no-tejidos se muestran los resultados de las medidas del coeficiente de absorción sonora a incidencia normal, de la resistencia al flujo de aire, de la conductividad térmica y de la rigidez dinámica.

**Palabras-clave:** absorción, materiales porosos, conductividad térmica

### Abstract

An absorbent material between two parallel partitions improves the sound insulation that would provide such partitions. Synthetic porous materials, such as rock wool or glass wool, are common solutions. However, they are expensive to produce and are generally based on petrochemicals. An alternative can be absorbent materials made by natural fibers. The threads obtained with the fibers, may be woven or cake to produce a non-woven. The development of non-woven materials by natural fibers, may be a promising and environmentally friendly option.

In order to use such materials as absorbent materials the acoustic and thermal properties of non-woven made by fibers of coconut, fique - coconut and fique have been characterized. The methods used for the production of the non-wovens were two: the manual method that requires the use of a binder and a press and by means a mechanism of needles that allows linking the fibers together. In this work, we show the results of the measurements of the sound absorption coefficient at normal incidence, the air flow resistance, the thermal conductivity and the dynamic stiffness is shown for the non-wovens fabricated.

**Keywords:** absorption, porous materials, thermal conductivity

**PACS no. 43.55. Ev**



## 1 Introducción

La contaminación acústica es un problema medioambiental importante cada vez más presente en la sociedad moderna y que viene dado por el desarrollo de actividades industriales, el transporte, la construcción y las actividades lúdicas o recreativas. Los efectos que produce la contaminación acústica están en función del tipo de fuente de ruido, de sus niveles sonoros de emisión y el tiempo de exposición al que nos sometamos. Esto se ha de tener en cuenta a la hora de construir viviendas para protegerlas en lo posible de las agresiones debidas al ruido. Un procedimiento para conseguir valores elevados del aislamiento acústico a ruido aéreo de la envolvente del edificio, o entre los elementos de separación vertical entre recintos, es la mediante sistemas constructivos de dos hojas con materiales absorbentes acústicos en su cámara. Estos materiales son generalmente materiales sintéticos porosos, tales como lana de roca, lana de vidrio, poliuretano o poliéster, que son caros de producir y se basan generalmente en productos petroquímicos. Es por esto que el desarrollo de materiales a partir de fibras naturales, se ha convertido en una opción prometedora y ecológica a esta problemática. Debido a su capacidad de actuar como aislantes térmicos y acústicos, y a su biodegradabilidad en los últimos años los materiales basados en fibras naturales han recibido mucha atención ya que se consideran buenos materiales para producir paneles absorbentes sonoros a coste reducidos [1 – 3]. Estas fibras no son perjudiciales para la salud y estas disponibles en grandes cantidades, muchas veces como productos de deshecho de otros ciclos de producción. En este sentido, en algunos países su uso representa un gran interés económico para el sector agrícola, al fomentar el uso de las fibras naturales se favorece el crecimiento de la demanda y por tanto, el aumento de los ingresos de los productores y los países que producen estas fibras.

En este trabajo se analizan las propiedades acústicas y térmicas de materiales fabricados a partir de fibras naturales de fique y de coco como una alternativa para dar salida a estos productos. La clasificación de las fibras naturales está relacionada con la parte de la planta que se aprovecha. La fibra de fique es una fibra procedente de las hojas, de las que se obtiene una fibra fuerte, duradera y relativamente flexible. A la fibra de coco, se le denomina fibra de semilla porque se obtiene como residuo de las fibras de la cáscara del coco. Estas fibras pueden tejerse para producir un tejido o apelmazarse para producir un no tejido. Se han caracterizado no tejidos elaborados a partir de fibras de coco fabricados por la empresa Sustratos Ecológicos (Colombia), no tejidos de fique-coco elaborados por la empresa TEXTEC (Colombia) y no tejidos de fique fabricados en la Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín. Para los tres tipos de no tejidos fabricados se ha medido el coeficiente de absorción sonora a incidencia normal, la resistencia al flujo del aire, la rigidez dinámica y la conductividad térmica. Todas las mediciones fueron llevadas a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Acústica y Vibraciones de la Universidad Politécnica de Madrid durante la estancia de investigación de Marllory Isaza Ruiz del programa Joven Investigador Colciencias 2015 de Colombia en el marco del proyecto “Ecofibras para uso en aplicaciones acústicas” del grupo de investigación GINUMA de la Universidad Pontificia Bolivariana.

## 2 Materiales y Métodos

### 2.1 Fabricación de las muestras no tejidas

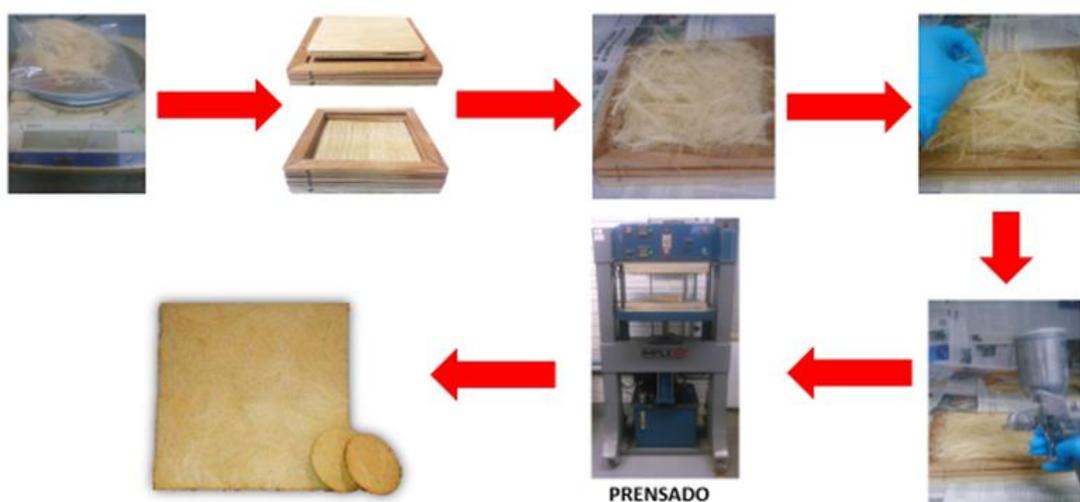
Para la fabricación de las muestras no tejidas se usaron fibras de coco y fique. Algunas características de estas fibras naturales se recogen en la Tabla I.

**Tabla 1.** Propiedades de las fibras de coco y fique

Propiedades	Coco	Fique
<i>Diámetro equivalente (mm)</i>	1	1,6
<i>pH</i>	5,5-6,5	4
<i>Absorción de Agua (%)</i>	62	60
<i>Temperatura de degradación (°C)</i>	240	220

Para la fabricación de los no tejidos se han empleado dos métodos: el método manual y el método de fabricación mediante el uso de una punzonadora. Ambos métodos se describen a continuación y se ilustran con imágenes:

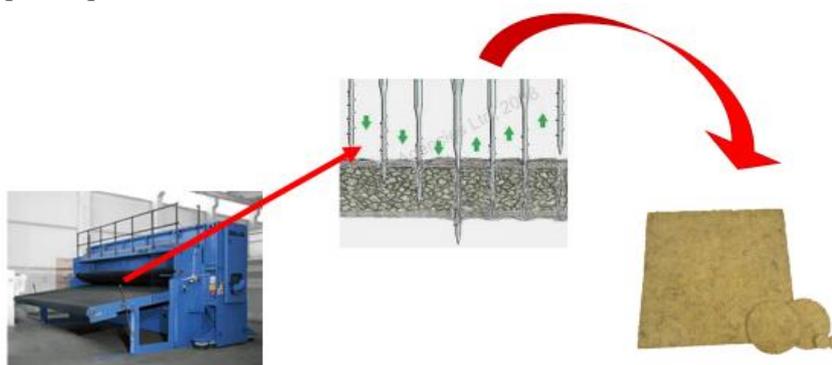
**Método manual:** este método requiere el uso de un ligante, como por ejemplo látex antural, un marco de madera y una prensa. A continuación se describen los pasos seguidos para la obtención de las muestras y se muestra en las imágenes en la Figura 1:

**Figura 1.** Proceso de obtención de los no tejidos mediante el método manual.

1. Se pesa la fibra con el fin de controlar la densidad que se quiere obtener.
2. Se alinean los marcos de madera elaborados para la fabricación del no tejido y se envuelven en papel de teflón para evitar que las fibras se peguen.
3. De manera manual se esparcen y se separan las fibras, distribuyéndolas de forma homogénea dentro del marco.
4. Una vez se tienen las fibras dispuestas en la forma requerida se rocían con látex natural.
5. Repitiendo de nuevo los pasos 3 y 4, se van colocando capas con igual cantidad de fibra cuidando de cubrir todos los espacios vacíos para conseguir una muestra homogénea hasta tener la cantidad de fibra necesaria para conseguir la densidad deseada.

6. Finalmente se prensa, usando una prensa neumática con presión máxima de 500 psi para obtener un panel plano y homogéneo
7. Una vez elaborado el no-tejido se corta dependiendo de la forma que se requiera según el tipo de ensayo a realizar.

**Método de fabricación mediante el uso de una punzonadora:** En la Figura 2 se muestran imágenes del método de fabricación mediante este método. Este proceso de fabricación consiste en pasar las fibras a través de un mecanismo de agujas, que se introducen en medio de las fibras y gracias al movimiento alternado de las agujas que poseen pequeños ganchos salientes, las fibras se entrelazan entre sí. El tipo de aguja es un elemento fundamental en este proceso, y depende de las características del no tejido que se quiera obtener.



**Figura 2.** Proceso de obtención de las muestras no tejidas mediante el uso de una punzonadora.

En la Tabla 2 se indica la composición y densidad de las muestras fabricadas así como el método empleado en su fabricación. Una foto de los tres tipos de muestras fabricados se muestra también en la Figura 3.

**Tabla 2.** Muestras fabricadas.

Muestra	Método de fabricación	Origen	Gramaje g/cm <sup>2</sup>
Fique (87%)-coco (13%)	Punzonadora	Empresa Textec (Colombia)	525 ± 41
Coco	Manual	Empresa Sustratos Ecológicos (Colombia)	519 ± 74
Fique	Manual	Universidad Pontificia Bolivariana Medellín (Colombia)	710 ± 81



**Figura 3.** Muestras fabricadas (en sentido ascendente): no tejido de fique, no tejido de coco y muestra en la que se combinan ambas fibras, fique y coco.

## 2.2 Métodos experimentales de caracterización

### 2.2.1 Tubo de impedancia

El coeficiente de absorción sonora a incidencia normal de las muestras se ha medido en un tubo de impedancia Modelo 4206 con dos micrófonos Modelo 4186 de Bruel&Kjaer según la norma ISO 10534-2: 1988 [4]. Para medir el coeficiente de absorción acústica en todo el rango de frecuencias son necesarias dos configuraciones de medida. En la primera el tubo se cierra con una muestra de 100 mm de diámetro y permite la medida del coeficiente de absorción sonora en un rango de frecuencias comprendido entre 50 y 1660 Hz. En la segunda configuración, el tubo se cierra con una muestra de 29 mm de diámetro y permite la medida del coeficiente de absorción entre 500 y 6400 Hz. Las muestras deben prepararse con el diámetro exacto del tubo para no dejar cámaras de aire que puedan alterar la medida. Para evitar este problema y ajustar las muestras en el tubo se han usado unos anillos poliméricos con el diámetro del tubo que ajustan las muestras contra el émbolo rígido del tubo y evitan la existencia de espacios vacíos entre el émbolo y la muestra. Se han caracterizado entre dos y tres muestras y se ha calculado el coeficiente de absorción como un promedio de todas las medidas realizadas.

### 2.2.2 Resistividad al flujo del aire

Uno de los parámetros que determinan el comportamiento acústico de un material poroso o fibroso, es la resistencia al flujo del aire  $R$  que se define como:

$$R = \frac{\Delta P}{F} \quad (1)$$

donde  $\Delta P$  es la caída de presión y  $F$  es el flujo de aire a través de la muestra. La resistividad al flujo de aire  $\sigma$  es la resistencia al flujo del aire por unidad de espesor  $d$  en la dirección del flujo de aire:

$$\sigma = \frac{\Delta P}{F} \frac{S}{d} \quad (2)$$

Este parámetro es apropiado como descriptor del comportamiento acústico de materiales homogéneos. La resistividad al flujo del aire  $\sigma$  de las muestras fabricadas ha sido medida con un dispositivo diseñado en nuestro laboratorio siguiendo las especificaciones de la norma [5]. El dispositivo básicamente consiste en un compresor de aire, un medidor de flujo y un manómetro. El manómetro digital tiene una resolución de 0.1 Pascal y se usa para medir la caída de presión a través de la muestra



cuando se ha alcanzado el estado estacionario y régimen laminar. En el cálculo, el cociente  $\frac{\Delta P}{F}$  se ha obtenido como la pendiente de la caída de presión  $\Delta P$  frente a  $F$  para diferentes valores del flujo del aire.

### 2.2.3 Conductividad térmica

La conductividad térmica  $k$  de las muestras fabricadas se midió a 20 ° C por medio de un medidor de flujo de calor modelo HFM 436 *Lambda* de Nescht. El método medidor de flujo de calor o la técnica de placa caliente guardada es una técnica de ensayo normalizado [6]. La muestra se coloca entre dos placas calentadas a diferentes temperaturas. La temperatura de las placas y la temperatura media de la muestra son definidas por el usuario. El flujo de calor  $q$  a través de la muestra se mide mediante un transductor calibrado de flujo de calor. La medida se realiza una vez que se ha alcanzado el equilibrio térmico. Las temperaturas de las placas están controlados por sistemas bidireccionales de calentamiento/enfriamiento Peltier, integrados en un intercambiador de calor de aire forzado que genera un flujo de bucle cerrado.

### 2.2.4 Rigidez Dinámica

Las medidas se realizaron de acuerdo a la norma UNE EN 29052-1:1994 [7] que describe el procedimiento para determinar la rigidez dinámica para materiales con superficies lisas. El procedimiento de medida está basado en la medida de la frecuencia de resonancia de un sistema masa-muelle donde el muelle es el material objeto de estudio y la masa una placa de acero cuadrada de dimensiones 200 x 200 mm<sup>2</sup> y unos 8 kg de peso. Durante los ensayos la muestra se colocó entre el suelo del laboratorio y las placas de acero. Las superficies entre las que se coloca la muestra deben ser lo suficientemente rígidas para evitar ondas de flexión en el intervalo de frecuencias de interés. Conocida la frecuencia de resonancia del sistema, la rigidez dinámica aparente por unidad de superficie de la muestra  $s'_t$  (N/m<sup>3</sup>) se calcula mediante la expresión:

$$s'_t = 4\pi^2 m'_t f_r^2$$

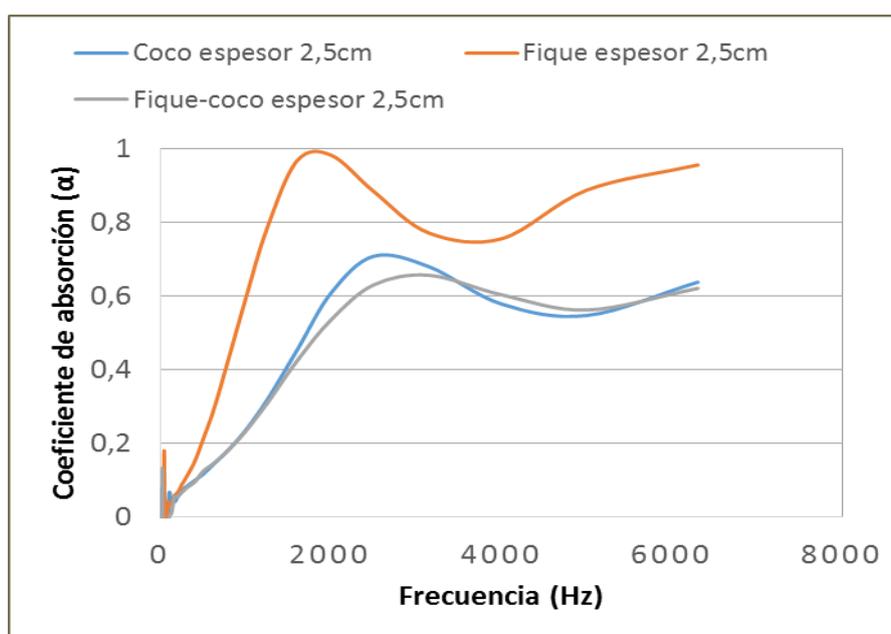
donde  $m'_t$  es a masa total por unidad de superficie del sistema ensayado en kg/m<sup>2</sup> y  $f_r$  es la frecuencia de resonancia. La frecuencia de resonancia de la vibración vertical del sistema muestra y placa de carga se determinó utilizando una señal impulsiva aplicada a la muestra mediante un seeker. Se ensayaron tres muestras de cada no tejido fabricado de 2,5 y 5 cm de espesor.

## 3 Resultados y Discusión

### 3.1 Coeficiente de absorción a incidencia normal y resistencia al flujo del aire

En la Figura 4 se muestra el coeficiente de absorción sonora a incidencia normal para los tres tipos de muestras fabricadas. Se ha escogido como espesor de los no tejidos fabricados 2,5 cm por ser un espesor habitual para los materiales absorbentes acústicos usados en construcción. En este tipo de no tejidos la energía acústica incidente se transforma en energía calorífica debido al rozamiento interno del aire que pasa a través de las fibras. Dado que no hay grandes diferencias morfológicas significativas entre las fibras de fique y coco la densidad de la muestra fabricada es la que fija su comportamiento acústico. El no tejido de fique es la muestra de mayor densidad. No obstante, en las curvas se distingue un pico de absorción máxima indicando también la presencia de un mecanismo de

resonancia. La posición de este pico es dependiente de la densidad de la muestra. Según la Tabla 2 la densidad mayor corresponde a la muestra de fique, mientras que los no tejidos de coco y coco y fique presentan densidades similares. Cuanto mayor es la densidad, mayor es el empaquetamiento y menor el tamaño de los espacios vacíos existentes en el material, lo que equivaldría a una menor sección del cuello de un resonador de Helmholtz [8] y a un valor menor de la frecuencia de resonancia. No obstante, la anchura del pico de resonancia está probablemente asociado a la existencia de un amplio número de resonadores de dimensiones diferentes.



**Figura 4.** Coeficiente de absorción sonora a incidencia normal en función de la frecuencia para las muestras fabricadas. El espesor de las muestras es 2,5 cm.

La otra propiedad acústica a tener en cuenta en estas muestras es la resistividad al flujo del aire. El valor de este parámetro debe estar entre 5 y 10  $\text{kN}\cdot\text{s}/\text{m}^4$ . Por debajo de 5  $\text{kN}\cdot\text{s}/\text{m}^4$  el aislante no proporcionaría amortiguación acústica suficiente, y por encima de 10  $\text{kPa}\cdot\text{s}/\text{m}^2$  la transmisión del ruido sería preponderantemente por vía sólida por tratarse de material demasiado compacto. Para los productos aislantes acústicos destinados a rellenar cavidades se recomienda una resistividad específica al paso del aire superior a 5  $\text{kN}\cdot\text{s}/\text{m}^4$ . En la Tabla 3 se recogen los valores de la resistividad al flujo del aire medidos para los no tejidos fabricados, siendo de nuevo la densidad el parámetro que fija su valor.

**Tabla 3.** Resistividad al flujo del aire de las muestras fabricadas

Muestra	$\sigma$ ( $\text{kNm}^{-4} \text{s}$ )
<i>Fique</i>	11,2
<i>Coco</i>	5,6
<i>Fique-Coco</i>	6,7

### 3.2 Conductividad térmica del material

En la Tabla 4 se indican los valores de la conductividad térmica medida a una temperatura de 20 °C para los tres no tejidos fabricados. La conductividad térmica medida es una combinación de la conductividad térmica de la fibra y del aire. Parecería razonable que la conductividad térmica aumentase con la densidad del no tejido debido a que aumenta la fracción de sólido, sin embargo la muestra de fique de mayor densidad es la que presenta el menor valor de la conductividad térmica  $k$ . Esto indica que la forma y tamaño de los espacios vacíos es un parámetro también a tener en cuenta ya que los resultados apuntan a que a mayor grado de empaquetamiento, menor es el tamaño de los espacios vacíos y mayor la resistencia térmica.

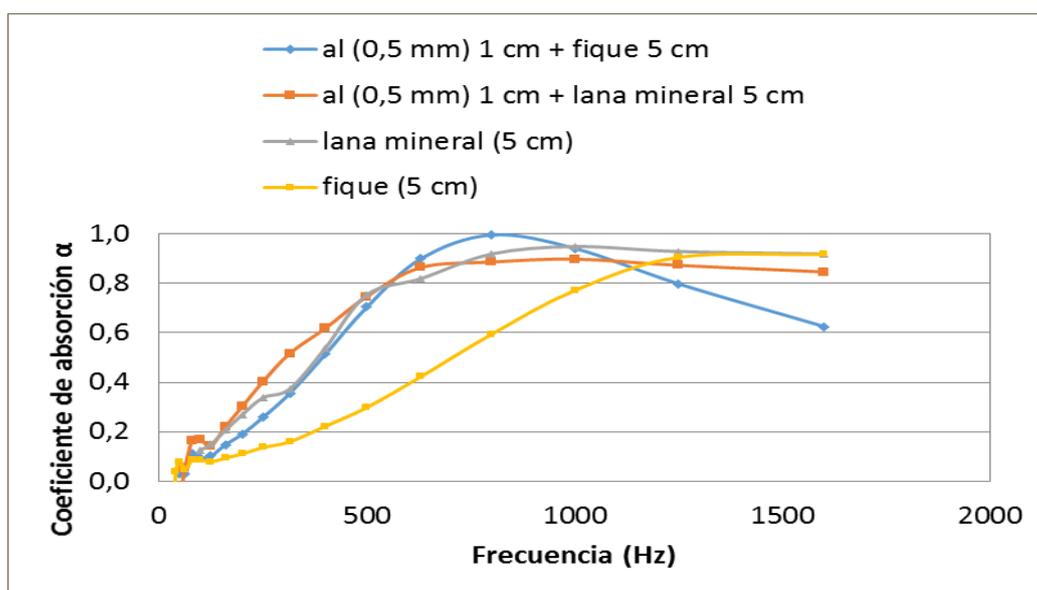
**Tabla 4.** Conductividad térmica a una temperatura de 20°C de las muestras fabricadas.

Muestra	$k$ (20°C) (W · m <sup>2</sup> /K)
<i>Fique</i>	0,037
<i>Coco</i>	0,041
<i>Fique-Coco</i>	0,040

### 3.3 Usos posibles de los no tejidos en construcción

#### 3.3.1 Control del ruido

Los no tejidos fabricados presentan propiedades acústicas y térmicas comparables a una lana de vidrio o lana de roca, materiales habitualmente utilizados en el aislamiento y acondicionamiento acústico y térmico. Estos productos se usan habitualmente en control del ruido, para reducir el tiempo de reverberación en recintos y en aislamiento a ruido aéreo como componentes de un sistema multicapa. Dado que presentan una baja resistencia mecánica es una práctica habitual combinarlos con un panel o tablero perforado que aporta una superficie rígida, duradera y de buen aspecto y a su vez puede contribuir a mejorar el comportamiento acústico de la estructura. La rigidez a la estructura podría ser proporcionada por una espuma de aluminio de 10 mm de espesor que actuaría como panel perforado, materiales novedosos que han sido previamente estudiadas en nuestro grupo [9-10]. Por otro lado, la baja corrosión del aluminio podría hacer muy adecuado el uso de estas espumas como paneles en ambientes exteriores. Como ejemplo en la Figura 5 se muestran las curvas del coeficiente de absorción sonora a incidencia normal medidas para la combinación de una espuma de aluminio de poro abierto fabricada mediante la técnica de infiltración de 0,5 mm de diámetro medio de poro y 1 cm de espesor con una lana mineral y con un no tejido de fique de 5 cm de espesor. Los resultados de estas combinaciones son comparables para el no tejido de fique y la lana mineral.



**Figura 5.** Coeficiente de absorción incidencia normal de una lana mineral y una muestra de no tejido de fique de 5 cm de espesor. Se muestra también el resultado de combinar estos dos materiales con una espuma de aluminio de poro abierto fabricada mediante la técnica de infiltración de 1 cm de espesor y 0,5 mm de diámetro medio de poro.

### 3.3.2 Revestimiento de suelos

Se ha medido la rigidez de los no tejidos fabricados con el objetivo de explorar las posibilidades de uso de estos materiales como recubrimiento de suelos para disminuir el ruido de impactos.

**Tabla 8.** Valores medidos para la rigidez dinámica para muestras de 2,5 y 5 cm de espesor.

Muestra	Espesor (cm)	Frecuencia de resonancia (Hz)	Rigidez dinámica (MN/m <sup>3</sup> )
Fique	1,5	33	8,7 ± 0,7
Fique	2,5	13	1,4 ± 0,5
Coco	1,5	30	7,2 ± 1,1
Coco	2,5	14	1,7 ± 0,1
Fique-Coco	1,5	61	30,3 ± 2,3
Fique-Coco	2,5	37	11,0 ± 1,13



La utilización de materiales elásticos como recubrimiento de pavimentos o como parte de un suelo flotante es una práctica muy común para reducir las vibraciones o disminuir el ruido de impacto. En esta línea, la rigidez dinámica de un material indica la capacidad del mismo para actuar como atenuador acústico. En el Documento Básico de Protección contra el Ruido (DB-HR) del Código Técnico de la Edificación [11] se proponen soluciones constructivas para forjados en las que es necesaria la adecuada colocación de una lámina flotante para reducir los niveles de ruido de impacto, vibraciones y la transmisión del ruido a través de flancos. En diversos documentos técnicos y catálogos se recomienda en los productos destinados a ser usados como suelo flotante limitar la rigidez dinámica a un valor inferior a  $10 \text{ MN/m}^3$ . En las soluciones propuestas por el Código Técnico aparecen materiales con valores de rigidez dinámica aparente entre 9 y  $30 \text{ MN/m}^3$  dependiendo del espesor del material. Los no tejidos fabricados a partir de las fibras de fique y coco presentan valores de rigidez dinámica aparente entre 1,5 y  $30 \text{ MN/m}^3$  siendo en principio materiales candidatos a ser utilizados como revestimiento de suelos.

## Referencias

- [1] Zhu, X.; Kim, B. J.; Wang, Q. And Wu, Q. Recent advances in the sound insulation properties of bio-based materials. *Bioresources*, 9(1), 2014, 1764-1786.
- [2] Navacerrada, M. A.; Díaz, C. and Fernández, P. Characterization of a material based on short natural fique fibers. *Bioresources*, 9(2), 2014, 3480-3496.
- [3] Berardi, U. and Lannace, G. Acoustic characterizatin of natural fibers for sound absorption applications. *Building and Environment*, 94(2), 840-852, 2015.
- [4] 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.
- [5] UNE- EN 29053: 1994: Acústica. Materiales para aplicaciones acústicas. Determinación de la resistencia al flujo de aire.
- [6] UNE –EN 12667: 2002. Materiales de construcción. Determinación de la resistencia térmica por el método de la placa caliente guardada y el método del medidor de flujo de calor. Productos de alta y media resistencia térmica.
- [7] UNE-EN 29052: 1994: Acústica. Determinación de la rigidez dinámica. Parte 1: materiales utilizados bajo suelos flotantes en viviendas.
- [8] Ingard, U. On the theory and design of acoustics resonators. *J. Acoustt. Soc. Am.* 25, 1037-1061, 1953.
- [9] Navacerrada, M. A.; Díaz, C.; Pedrero y García, L.E. Absorción acústica de espumas de aluminio. *Materiales de Construcción*, 58(291), 85-98, 2008.
- [10] Navacerrada, M. A.; Fernández, P.; Díaz, C. y Pedrero, A. Thermal and acoustic properties of aluminium foams manufactured by the infiltration process. *Applied Acoustics*, 74(4), 496-501, 2013.
- [11] DB-HR. Protección frente al ruido. Código Técnico de la Edificación. Real Decreto 1371/2007.