

# Caracterización acústica de materiales no tejidos basados en fibras naturales para el acondicionamiento de espacios laborales y académicos

---

## **Tomás-Simón Gómez**

Facultad de Ingenierías, Universidad de San Buenaventura, Medellín, Colombia,

## **Camila Rozo-Restrepo**

Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia.

## **Reynel Ramírez-Castrillón**

Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia.

## **Patricia Fernández-Morales\***

Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia.

## Resumen

---

Se realizó la caracterización de las propiedades acústicas de no tejidos fabricados a partir de fibras de coco, fique y fique-coco, siguiendo el método de función de transferencia bajo norma ISO 10534-2. Se encontró en una primera etapa que los no tejidos evaluados tienen una buena absorción en alta frecuencia, presentando el mejor resultado de las muestras de fique. Queda pendiente hacer una comparación de los resultados obtenidos con nuevas mediciones utilizando equipos de medición disponibles en el ámbito local. Los valores obtenidos serán comparados con materiales comerciales y se propondrá entonces su potencial uso para acondicionamiento acústico en espacios laborales y académicos.

## Palabras clave

Ergonomía, ruido, fibras naturales, propiedades acústicas.

Acoustic characterization of non woven materials based on natural fibers for workplace and academic spaces conditioning

## Abstract

---

The characterization of the acoustic properties of non-woven fabrics made from coconut fibers, fique and fique-coconut was performed, following the method of transfer function under ISO 10534-2 standard. In a first stage, it was found that the nonwoven evaluated have a good absorption in high frequency, presenting the best result the fique samples. The next step consists in to compare the obtained results with new measurements using equipment available locally. The values obtained will be compared with commercial materials and then it will propose the potential use for acoustic conditioning in work and academic spaces.

## Keywords

Ergonomics, Noise, Natural Fibers, Acoustic properties.

## Introducción

La ergonomía es la ciencia que se encarga de la adaptación y adecuación de los entornos y lugares de trabajo con los que una persona está en contacto, sea trabajador o usuario. Se enfoca en aspectos que pueden afectar la salud de la persona involucrada y de esta manera prevenir posibles efectos de las acciones que se llevan a cabo, ya sea dentro de una empresa o en cualquier espacio. Desde un punto de vista ergonómico, los espacios deben tener la mayor adaptabilidad con las características físicas y psicológicas de las personas, brindando así, las condiciones necesarias para garantizar una buena productividad y, principalmente, la seguridad del individuo. El ruido es uno de los aspectos con mayor relevancia a la hora de diseñar un puesto de trabajo, tomando en cuenta la inteligibilidad de la palabra dentro de los recintos y la exposición a ruido a la que puede estar sujeta una persona, basado en las tareas que él mismo realiza o que se ejecutan a su alrededor.

En la actualidad, la contaminación auditiva es un fenómeno en crecimiento, se ha convertido en una carga dentro y fuera de la industria. La OMS (Organización mundial de la salud) en el 2012 reportó que anualmente en Europa se pierden más de 1 millón de años de vida saludable a causa del ruido, por inhabilidad o muerte temprana (WHO Regional Office for Europe 2012). Se ha comprobado que el ruido está asociado a diferentes condiciones adversas en la salud de las personas y la reducción de la productividad, dificultando el desarrollo de diferentes tareas. Por otro lado, las condiciones acústicas desfavorables pueden poner en riesgo la integridad de los trabajadores, al enmascarar posibles señales de alerta e instrucciones que se les den a las personas.

De lo anterior, surge la necesidad de obtener espacios con condiciones acústicas favorables. Actualmente existen materiales comerciales que brindan propiedades de absorción del sonido como la fibra de vidrio, espumas de poliestireno, entre otros. Estos a pesar de ser muy efectivos resultan costosos, además no son reciclables. En este trabajo se propone implementar materiales provenientes de fibras naturales y consideradas comúnmente desechos agroindustriales, como elementos para el acondicionamiento acústico, y así hacer un reaprovechamiento de residuos, implementando el uso de los nuevos materiales para mejorar las condiciones acústicas/ergonómicas de un espacio. Se busca caracterizar las propiedades acústicas de materiales compuestos por fibras naturales, específicamente fique, coco y fique-coco, comparar los datos obtenidos

con las propiedades de materiales comerciales empleados actualmente en aplicaciones acústicas y evaluar su aplicabilidad para mejorar las condiciones ergonómicas de la industria en el ámbito acústico.

Con el tiempo ha surgido una tendencia de caracterizar fibras naturales, para determinar su aplicabilidad en el acondicionamiento acústico y térmico de espacios. Se les ha dado especial atención a causa del bajo impacto ambiental que implica el uso de dichos materiales y el bajo costo que tiene la implementación de estos. En las investigaciones enfocadas en la caracterización acústica de fibras naturales se distingue la gran variedad de materiales. En los últimos años se pueden ver el estudio de: fibras de cáñamo, coco, fique, bambú, yute, lana de oveja, relleno de celulosa, cascarilla de arroz, kenaf, fibras textiles recicladas, paño de lana derivado de la planta *Antiaris Toxicaria*, palma *Datilera* y fibras de retama (Berardi & Iannace 2015; Berardi et al. 2017; Arenas et al. 2014; Rwawiire et al. 2016; Mohanty & Fatima 2015).

El método para obtener el coeficiente de absorción generalmente ha sido el especificado por el estándar ISO 10534-2: Medición de coeficiente de absorción en incidencia normal con tubo de impedancia. Sin embargo, también se ha implementado la medición de tiempo de reverberación en salas, antes y después de situar los elementos fabricados y el uso de cámaras reverberantes a escala (Del Rey et al. 2015). Entre las investigaciones complementarias se han hecho predicciones de la absorción de los materiales utilizando modelos matemáticos y la comparación de las mismas con resultados experimentales, el análisis de estructura interna de las fibras, ensayos de conducción térmica y de resistencia a la llama, variando la concentración de las fibras utilizadas en diferentes compuestos (Rwawiire et al. 2017; Salih et al. 2015).

## Fibras Naturales

Las fibras naturales son materiales cuya estructura celular está constituida principalmente por una gran cantidad de filamentos alargados (Arenas & Crocker 2010), estos pueden ser de origen animal o vegetal, la fabricación de no tejidos basados en estos se ve reducida a un proceso simple en el que se modifican algunas de sus propiedades, principalmente físicas, basadas en su materia prima, para darle así una mayor facilidad de manejo. Estos materiales se caracterizan por ser asequibles y biodegradables, además sus aplicaciones actuales los caracterizan como desechos o en algunos casos son usados para el desarrollo de artículos artesanales. Entre algunas de las fibras naturales más conocidas se encuentran el yute, cáñamo, coco, kenaf y el algodón.

## Propiedades acústicas y métodos de obtención y tiempo de reverberación

Cuando una onda sonora choca contra un objeto la energía que porta se transforma, parte de esta se refleja, otra fracción es absorbida o disipada y el resto se transmite a través del material (Long, 2014). La absorción en materiales porosos y fibrosos se da cuando la onda empieza a propagarse dentro de la malla de canales interconectados de estos, al desplazarse el sonido por pequeñas cavidades se da una disipación de la energía acústica en calor, a causa de la fricción con las paredes de los poros, los cambios en el flujo en poros irregulares, resistencias viscosas y efectos térmicos.

Existen diferentes métodos para medir la absorción del sonido de los materiales, amparados en estándares técnicos que especifican la metodología a seguir para la medición de dicho parámetro. La medición, siguiendo el estándar ISO 10534-1, se basa en la generación de tonos puros de un extremo del tubo, al otro extremo está montada la muestra. Al chocar las ondas con el material hay una reflexión del sonido, a partir de la superposición de las ondas incidentes y reflejadas se genera un patrón de onda estacionaria, midiendo la presión en puntos máximos y mínimos de dicha onda se calcula el coeficiente de absorción del material (*International Organization for Standardization, 2001*).

## Efectos auditivos y no auditivos de la exposición al ruido en las personas

La OMS mediante múltiples publicaciones ha actualizado los efectos conocidos de la exposición a ruido en las personas (OMS 1980; Berglund et al. 1995; WHO Regional Office for Europe, 2009; WHO Regional Office for Europe, 2012), clasificándolos en diferentes categorías: pérdida auditiva inducida por el ruido y tinnitus, interferencia en la comunicación verbal, perturbaciones en el sueño, efectos físicos no auditivos y cardiovasculares y efectos del ruido en la productividad.

En la tabla 1 se exponen los valores guía y objetivos intermedios de ruido planteados por la OMS, a pesar de que existan efectos en la salud documentados en las categorías anteriormente mencionadas, no se ha establecido un valor umbral para todos ellos.

Tabla 1. Objetivos intermedios y valores guía – ruido comunitario y ruido nocturno.

<b>Efectos negativos en la salud Basados en guías para ruido comunitario por la OMS (1999)</b>	<b>Comentarios</b>	<b><math>L_{A,eq}</math> [dB(A)]</b>
Pérdida de la escucha	Se puede dar por exposición en la vida cotidiana, en la jornada de trabajo o exposición a niveles picos de ruido.	75 en 8 horas 70 en 24 horas 130 Nivel pico
Perturbaciones en el sueño	Puede ser mayor o menor según las características del ruido y del ruido de fondo.	30 45 Nivel pico
Interferencia en la comunicación	Inteligibilidad del 100 %.	
Grupos sensibles requieren al menos 10 dB (A) de diferencia entre ruido de fondo y mensaje.	Se entiende medianamente bien el mensaje.  Se requiere esfuerzo vocal para comunicar el mensaje correctamente.	45 55 65
<b>Inclusión de valores guía para la noche por la OMS en: Guías para el ruido nocturno (2009)</b>	<b>Comentarios</b>	<b><math>L_{Noche}</math> Fuera de la vivienda [dB]</b>
Perturbaciones en el sueño reportadas por la población, insomnio y aumento en el uso de sedantes y somníferos.	Valor guía de ruido nocturno.	$L < 40$
Efectos cardiovasculares se vuelven un problema más severo de salud pública.	Valor intermedio, en caso de no lograrse el valor guía.	$L < 55$

## Metodología

El proyecto consta de cuatro etapas, la primera culminada y la segunda en desarrollo. En la primera se llevaron a cabo ensayos acústicos en la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), estos datos son la referencia para los próximos resultados que se obtendrán. En una segunda etapa se realizarán las mediciones de absorción en incidencia normal siguiendo la metodología establecida por el estándar ISO 10534-1

en un equipo ubicado en la Universidad San Buenaventura. Dado que el laboratorio de acústica de la UPM es certificado, se pretende determinar el nivel de confiabilidad de los experimentos realizados en el contexto local. Una vez obtenidos y comparados los resultados se procederá con una tercera etapa, en la cual se hará la caracterización de materiales comerciales usados para acondicionamiento acústico de espacios (lana de vidrio y espuma de poliestireno). Finalmente, se harán mediciones complementarias de resistencia a la llama, conducción térmica y pruebas mecánicas, para determinar la aplicabilidad de dichos materiales en el acondicionamiento ergonómico de espacios laborales y académicos. En este artículo se presentan los resultados preliminares obtenidos en la primera etapa y que hacen vislumbrar un potencial uso de las fibras naturales en acondicionamiento acústico.

## Método de caracterización acústico

Para obtener las propiedades acústicas de las muestras de fique, coco y fique-coco se usó el método establecido por el estándar UNE-ISO 10534-2, mediante el uso de un tubo de impedancia ubicado en el laboratorio de acústica de la UPM. Se realizaron mediciones a tres muestras de 100 mm de diámetro, en un rango en frecuencia de 100 Hz a 1,6 kHz. Se obtuvo el coeficiente de absorción de 15 muestras con un diámetro de 29 mm entre 1,6 kHz y 6,4 kHz; adicionalmente, se realizaron mediciones con varias capas superpuestas para obtener la caracterización acústicas de muestras con espesor variable.

## Resultados

### Figuras y tablas

En la figura 1 se presenta la gráfica del coeficiente de absorción contra la frecuencia para el no-tejido de coco con respecto al espesor. Se evidencia que el coeficiente de absorción es proporcional al aumento del espesor. Adicionalmente, se puede observar un pico de coeficiente de absorción máximo de 0,70 aproximadamente, para la muestra de 2,5 cm de espesor en 2,5 kHz.

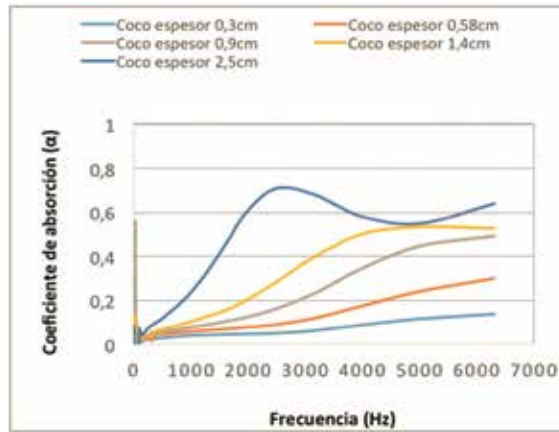


Fig. 1. Resultados de coeficiente de absorción para no-tejidos de coco en función de la frecuencia para los diferentes espesores.

La Figura 2 reporta la gráfica del coeficiente de absorción en función de la frecuencia para el no-tejido de fique en diferentes espesores. En términos generales, el promedio de los valores del coeficiente de absorción obtenidos es mayor al reportado para el coco, llegando a valores mayores o cercanos a la unidad.

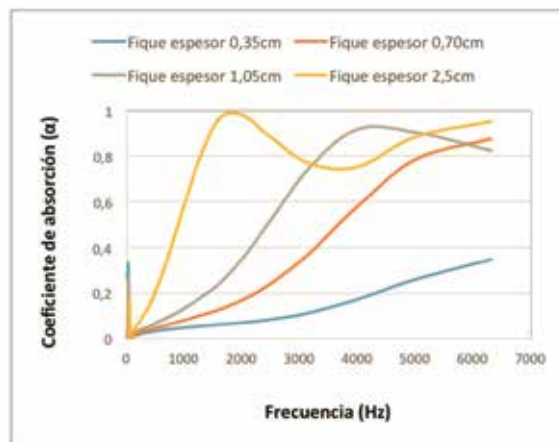


Fig. 2. Resultados de coeficiente de absorción para no-tejidos de fique en función de la frecuencia para los diferentes espesores.



La gráfica de coeficiente de absorción en función de la frecuencia para el no-tejido de fique-coco es presentada en la Figura 3. Es posible observar que a pesar de que está compuesta de 13% de coco y 87% de fique, el comportamiento se asemeja al reportado para el coco, presenta un valor máximo de coeficiente de absorción de 0,65.

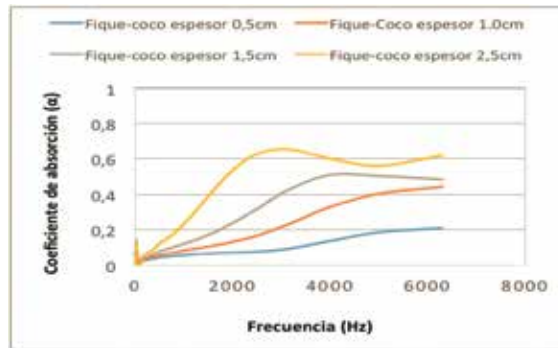


Fig. 3. Resultados de coeficiente de absorción para no-tejidos de Figue-Coco en función de la frecuencia para los diferentes espesores.

La Figura 4 presenta la comparación en los coeficientes de absorción acústica de las tres muestras evaluadas con un espesor de 2,5 cm. Se reafirma que el material con mayor absorción es el fique; el coco y el fique-coco tienen un comportamiento muy similar, la diferencia radica en que el pico de absorción del fique-coco es mayor. Se puede notar que después de los picos de absorción se ve una caída en el coeficiente de, aproximadamente, 0,2 para todos los materiales. Este fenómeno puede causarse por efectos resonantes dentro de la muestra al ser medido, en consecuencia de la forma en la que las muestras de mayor grosor fueron fabricadas, es decir, superponiendo varias capas del material. Se observa que a medida que aumenta el espesor de las muestras, la absorción del material presenta valles más pronunciados después de llegar a un punto pico. Se puede ver que los materiales probados muestran un mejor desempeño a medida que aumenta la frecuencia.

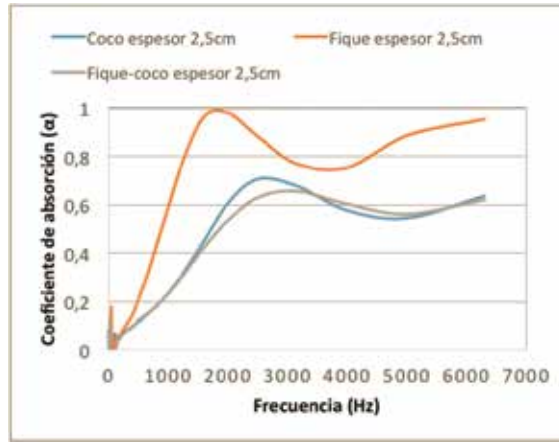


Fig. 4. Resultados de coeficiente de absorción para diferentes no-tejidos en función de la frecuencia para muestras con espesor de 2,5 cm.

## Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos en esta primera etapa, se puede vislumbrar que las fibras naturales tienen potencial para llegar a ser una alternativa para el acondicionamiento acústico de espacios, especialmente en altas frecuencias, dada su estructura interna. Estos materiales tienen la capacidad de absorber, en gran medida, la energía sonora incidente. Entre los materiales fibrosos medidos se ha encontrado que el fique es el más eficiente de todos, presentando una absorción mucho mayor a la del coco y del compuesto fique-coco. Este material tiene gran aplicabilidad en el acondicionamiento de espacios, ya que sus altos valores de absorción se encuentran en frecuencias donde la voz humana tiene gran cantidad de información, entre 1.000 y 4.000 Hz. Se ha encontrado que el espesor tiene una influencia en el comportamiento acústico de las muestras de fibras naturales, siendo directamente proporcional a la absorción del sonido.

Aunque se ha hecho énfasis en la correcta adecuación acústica y de la necesidad de silencio dentro de los espacios laborales y académicos se ha comprobado, en la literatura revisada, que para trabajos monótonos y repetitivos la inclusión de música puede aumentar tanto la productividad como la eficiencia. Por otro lado, para trabajos que requieren mucha concentración es indispensable que los espacios tengan las

condiciones acústicas adecuadas para evitar que los trabajadores incurran en errores y puedan estar en riesgo de accidentes.

## Agradecimiento

Los autores quieren agradecer a la Dra. María Ángeles Navacerrada, por permitir la realización de los ensayos acústicos en el laboratorio de acústica de la UPM.

## Referencias

1. (Arenas et al. 2014; Berardi & Iannace 2015; Berardi et al. 2017) Arenas, J.P. et al., 2014. Sound absorption properties of unbleached cellulose loose-fill insulation material. *BioResources*, 9(4), pp.6227–6240.
2. Arenas, J.P. & Crocker, M.J., 2010. Recent Trends in Porous Sound-Absorbing Materials. *Sound and Vibration*, pp.12–17. Available at: <http://www.sandv.com/downloads/1007croc.pdf>.
3. Berardi, U. & Iannace, G., 2015. Acoustic characterization of natural fibers for sound absorption applications. *Building and Environment*, 94(December), pp.840–852. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.05.029>.
4. Berardi, U., Iannace, G. & Di Gabriele, M., 2017. The Acoustic Characterization of Broom Fibers. *Journal of Natural Fibers*, (March), pp.1–6. Available at: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15440478.2017.1279995>.
5. Berglund, B. et al., 1995. *Community noise*, Center for Sensory Research, Stockholm University and Karolinska Institute.
6. International Organization for Standardization, 2001. ISO 10534-1, Acoustics- Determination of Sound Absorption Coefficient and Impedance in Impedance Tubes. *International Standard*. Available at: [http://www.iso.org/iso/iso\\_catalogue/catalogue\\_tc/catalogue\\_detail.htm?csnumber=18603](http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=18603).
7. Long, M., 2014. *Architectural Acoustics*, Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123982582000210%5Cnhttp://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123982582000222>.

8. Mohanty, A.R. & Fatima, S., 2015. Noise control using green materials. *Sound and Vibration*, 49(2).
9. OMS. (1980). *Noise*, Geneva 1980: WHO.
10. Del Rey, R. et al., 2015. Acoustic characterization of recycled textile materials used as core elements in noise barriers. *Noise Control Engineering Journal*, 63(5), pp.439–447. Available at: <http://openurl.ingenta.com/content/xref?genre=article&issn=0736-2501&volume=63&issue=5&spage=439>.
11. Rwawiire, S. et al., 2017. Acoustic and thermal properties of a cellulose nonwoven natural fabric (barkcloth). *Applied Acoustics*, 116, pp.177–183. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apacoust.2016.09.027>.
12. Rwawiire, S. et al., 2016. Empirical Modeling of Sound Absorption Properties of Natural Nonwoven Fabric (Antiaris toxicaria Barkcloth). *Materials Science*, 866, pp.201–205. Available at: <http://www.scientific.net/MSF.866.201>.
13. Salih, S.I., Jasim, A.S. & Hasan, A.M., 2015. Investigation on Mechanical Properties of Hybrid Polymer Composite Reinforced by Rice Husks and Date Palm Fibers as a Construction Material. *Journal of Al-Nahrain University*, 18(3), pp.89–97.
14. WHO Regional Office for Europe, 2012. *Burden of disease from environmental noise Quantification of healthy life years lost in Europe*,
15. WHO Regional Office for Europe, 2009. *Night noise guidelines for Europe*, Available at: [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0017/43316/E92845.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0017/43316/E92845.pdf) [Accessed February 23, 2017].