

# MEDICIÓN DE PARÁMETROS MECÁNICOS DE NUEVOS ECO-MATERIALES PARA MODELOS DE PREDICCIÓN DE AISLAMIENTO ACÚSTICO A RUIDO AÉREO

Romina del Rey Tormos<sup>\*1</sup>

Jesús Alba Fernández<sup>1</sup>

Víctor Atienza Soler<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Escola Politècnica Superior de Gandía. Centro de Tecnologías Físicas. Universitat Politècnica de València. c/Paranimf, 1. 46730, Grao de Gandía, España.

## RESUMEN

En este trabajo se propone un procedimiento experimental basado en métodos resonantes para la caracterización mecánica de nuevos eco-materiales. La necesidad de incorporar nuevos materiales ecológicos en la ingeniería de la construcción es cada día más urgente, siguiendo el camino marcado por la Unión Europea H2030. La normativa vigente para determinar parámetros mecánicos de materiales, está pensada para materiales homogéneos e isotrópicos, características que no suelen poseer los nuevos eco-materiales, por su propia naturaleza. Es necesario conocer los parámetros mecánicos para poder evaluar modelos de predicción de aislamiento acústico en la edificación. En este trabajo se muestran resultados comparativos de parámetros mecánicos obtenidos a partir de métodos normativos (ISO) y obtenidos a partir de un procedimiento experimental basado en métodos resonantes. Se presentan también valores del aislamiento acústico a ruido aéreo de estos nuevos eco-materiales, en función de los parámetros mecánicos obtenidos.

## ABSTRACT

This work proposes an experimental procedure based on resonant methods for the mechanical characterization of new eco-materials. The need to incorporate new ecological materials in construction engineering is becoming increasingly urgent, following the path set by the European Union H2030. The current regulations for determining mechanical parameters of materials are designed for homogeneous and isotropic materials, characteristics that are not typically found in new eco-materials due to their nature. It is necessary to know the mechanical parameters in order to evaluate predictive models for sound insulation in buildings. This work presents comparative results of mechanical parameters obtained from normative methods (ISO) and obtained from an experimental procedure based on resonant methods. It also presents values of airborne sound insulation of these new eco-materials, based on the determined mechanical parameters.

**Palabras Clave**— eco-materiales, frecuencia de resonancia, módulo de young, aislamiento acústico.

## 1. INTRODUCCIÓN

La necesidad de incorporar nuevos materiales ecológicos en la ingeniería de la construcción es cada día más urgente, siguiendo el camino marcado por la Unión Europea [1]. En los laboratorios de acústica del Centro de Tecnologías Físicas del Campus de Gandía, de la Universitat Politècnica de València, se busca trabajar por una economía verde y un desarrollo sostenible, de forma que nuevos eco-materiales puedan ser introducidos en el ámbito de la ingeniería civil, aportando beneficios sociales y medioambientales. Ya existen estudios previos de nuevos materiales obtenidos a partir de reciclado de productos o de fibras naturales [2-8]. De esta forma, a través de la transformación ecológica es posible llegar a una economía verde y circular. Con el desarrollo de estas nuevas soluciones es posible ayudar a acabar o disminuir la pobreza (ODS1): Existen algunas zonas del planeta, donde plantas consideradas como maleza o especies invasivas pueden ser una opción de crecimiento económico sostenible y trabajo decente (ODS 8), algunos ejemplos son la planta *Eryngium paniculatum* en gran parte de Chile, o en la Comunidad Valenciana, la gestión sostenible de los residuos de la recolección del cultivo de arroz, evitando generar toneladas de CO a la atmósfera (ODS 3, ODS 13). El poder validar estos nuevos materiales como parte de soluciones acústicas, además reduciría desigualdades entre países o regiones (ODS 10). Las soluciones elaboradas a partir de fibras naturales, o de residuos (base reciclada) servirán para combatir problemas de ruido en edificación o ingeniería civil (ODS3), así como también contemplarán aspectos térmicos (ODS 7), fomentarán la innovación (ODS 9), con una producción sostenible (ODS 12) hacia el diseño de ciudades sostenibles (ODS 11).

Todas estas soluciones deberán cumplir con las normativas de construcción en vigor. A nivel estatal es el Código Técnico de la Edificación (CTE) [9], desarrollado por disposición de la Ley 38/1999 de Ordenación de la Edificación (LOE) a través de los Documentos Básicos la que regula las exigencias básicas de calidad que deben cumplir los edificios y sus instalaciones. Es necesario pues un re-enfoque de soluciones tecnológicas, normativa y modelado, ya que, la mayoría de modelos, de prototipos tecnológicos y de normativa vigente, al menos en el ámbito de la construcción, están pensados para el uso de materiales

<sup>\*</sup> **Autor de contacto:** roderey@fis.upv.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.

“tradicionales”. Los materiales tradicionales suelen ser homogéneos e isotrópicos, características que no presentan los nuevos eco-materiales, por su propia naturaleza. Son muchos los autores que han evaluado los parámetros mecánicos de nuevos materiales sostenibles mediante normativas “clásicas” (ISOS) [10,11], con éxito [12-19], estos ensayos suelen ser destructivos. En los laboratorios de acústica del Campus de Gandia de la Universitat Politècnica de València, con el desarrollo de nuevos materiales, en muchas ocasiones, ni se cuenta con suficiente cantidad de muestra, ni se pueden conseguir las probetas de las dimensiones marcadas por la normativa [10,11]. En este trabajo se propone un procedimiento experimental basado en métodos resonantes para la caracterización mecánica de nuevos eco-materiales. Todas las probetas utilizadas son muestras circulares de 80mm de diámetro. Se obtiene el módulo de Young a partir de curvas de resonancia en función de la frecuencia de algunas muestras eco-sostenibles y de otras muestras de materiales clásicos, que se toma como referencia. A partir del valor del módulo de Young, se obtiene el factor de pérdidas y es posible, a partir de modelados de aislamiento acústico a ruido aéreo obtener el índice de reducción sonora R (dB).

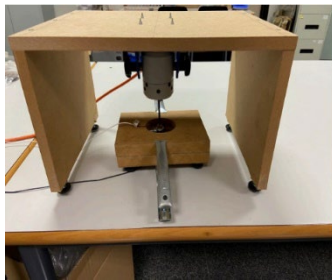
## 2. MÉTODO RESONANTE

El procedimiento experimental utilizado se basa en el cálculo de la función de transferencia en función de la frecuencia  $H(f)$  entre desplazamiento, y fuerza:

$$H(f) = \frac{X(f)}{F(f)} \quad (1)$$

Siendo:  $X(f)$  el desplazamiento en función de la frecuencia (m) y  $F(f)$  la fuerza en función de la frecuencia (N).

Se excita con un shaker la muestra (fuerza) sometida a estudio y se registra con un acelerómetro la aceleración. A partir de las medidas de aceleración, se obtienen valores de desplazamiento, con dos pasos de integración. Las posiciones tanto de shaker como de acelerómetro han sido estudiadas con detalle para ver en que posiciones de excitación/registro se obtenía menor dispersión de las medidas. En la Figura 1 se muestra el dispositivo de ensayo, en la Figura 2 se muestra en detalle una de las muestras utilizadas para la puesta a punto de este procedimiento de ensayo.



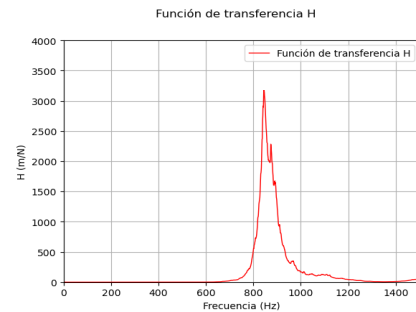
**Figura 1.** Dispositivo (plataforma) de ensayo para la obtención de parámetros mecánicos.



**Figura 2.** Detalle de una de las muestras de ensayo. Ejemplo de matriz de divisiones en una muestra para evaluación de la dispersión de los ensayos.

En la Figura 3 se muestra una curva experimental como ejemplo. En la ecuación (2) se muestra la relación entre la frecuencia de resonancia y la rigidez dinámica,  $k$ :

$$w_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2)$$



**Figura 3.** Función de transferencia experimental.

Reescribimos la ecuación en función de la frecuencia de resonancia,  $f_0$  (Hz) como, (siendo  $m$  la masa de la muestra en Kg):

$$k = 4 \cdot m \cdot \pi^2 \cdot f_0^2 \quad (3)$$

A partir de la  $f_0$  y de la caída en (+/-) 3 dB ( $\Delta f_{3dB}$ ) también es posible conocer el valor del factor de pérdidas,  $\eta$ , adimensional:

$$\eta = \frac{\Delta f_{3dB}}{f_0} \quad (4)$$

Es posible conocer el valor del Módulo de Young,  $E$  (Pa) a partir de la ecuación (5):

$$E = \frac{0.99 \cdot a^4 \cdot f_n^2 \cdot \rho}{c^2 \cdot n^4 \cdot e_0^2} \quad (5)$$

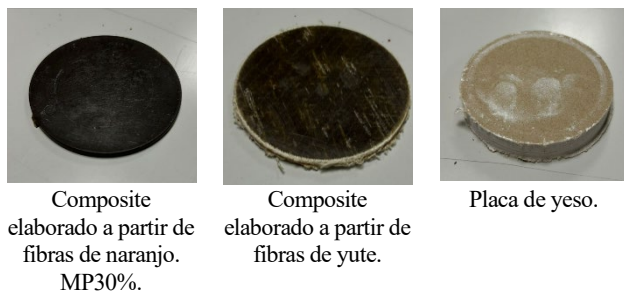
Siendo:  $a$  el radio de la placa (m),  $f_n$  es la frecuencia de resonancia del material en las condiciones de ensayo,  $\rho$  la densidad del material ( $\text{Kg/m}^3$ ),  $c$  un coeficiente que depende de las condiciones de

contorno (0.172) [20],  $n$  el número de modo de la placa con valor 1 y  $e_0$  el espesor de la placa (m).

### 3. RESULTADOS MECÁNICOS

#### 3.1. Materiales utilizados.

Se muestran en este trabajo los resultados de valores de parámetros mecánicos obtenidos mediante el método resonante expuesto en el apartado anterior de 3 materiales; dos de estos materiales son eco-materiales elaborados a partir de fibras naturales (fibras de naranjo y fibras de yute) y un tercer material elaborado de yeso común. Se ha decidido utilizar también en el estudio un material comúnmente utilizado en la edificación para poder tener sus valores como referencia. En la Figura 5 se muestran las probetas de estos materiales utilizadas en los ensayos de parámetros mecánicos.



**Figura 5.** Muestras utilizadas en el estudio de la obtención de parámetros mecánicos a partir del método resonante.

Algunas características de estas muestras se detallan a continuación.

- Composite elaborado a partir de fibras de naranjo (MP30%): composite elaborado a partir de una matriz polimérica, un 30% de fibras naturales de naranjo y un 6% de pasta mecánica con un compuesto orgánico. La placa sometida a ensayo es una probeta circular de 80 mm de diámetro, 4 mm de espesor y 2323 kg/m<sup>3</sup> de densidad.
- Composite elaborado a partir de fibras vegetales de yute: composite elaborado a partir de fibras de yute (densidad de fibras de 0.70%) y resina epoxy para laminación comercial. La placa sometida a ensayo es una probeta circular de 80mm de diámetro, 5 mm de espesor y 2293 kg/m<sup>3</sup> de densidad.
- Placa de yeso: placa de yeso comercial de 13mm de espesor y 80 mm de diámetro, con dos capas de celulosa para ofrecer un mejor acabado en la instalación habitual. Tiene una densidad de 1128 kg/m<sup>3</sup>.

#### 3.2. Parámetros mecánicos obtenidos mediante el método resonante.

Para obtener los parámetros mecánicos a partir del método resonante de los 3 materiales elegidos, se realiza un promedio de 6401 registros de acelerómetro/shaker por probeta. Se ha seguido un mapeado de posiciones siguiendo la matriz de divisiones que se observa en la Figura 2. Al menos, se han utilizado 3 probetas por cada material, y los ensayos se han realizado en distintas

disposiciones de la plataforma de ensayo, determinando que los ensayos con menor dispersión han sido los elaborados con la plataforma en el suelo (y no sobre una mesa), evitando así posibles transmisiones de la vibración o la aparición de ondas transversales por los efectos de borde de las mesas de trabajo.

En la Tabla 1 se muestran los resultados experimentales del módulo de Young y del factor de pérdidas. En la misma tabla se muestran los valores del módulo de Young de referencia. El error asociado a los valores experimentales se ha obtenido a partir de la teoría básica de errores.

**Tabla 1.** Tabla comparativa de resultados experimentales y valores de referencia de los parámetros mecánicos.

| Material                                  | E<br>Referencia<br>[GPa] | E<br>Experimental.<br>[GPa] | Loss Factor |
|-------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------|-------------|
| Composite<br>Fibras<br>Naranjo<br>(MP30%) | 3,7                      | 4 ± 0,5                     | 0,106       |
| Composite<br>Fibras<br>Yute               | 2,5 ± 0,1                | 3,2 ± 0,3                   | 0,040       |
| Placa<br>Yeso                             | 0,35 ±<br>0,07           | 0,34 ± 0,02                 | 0,022       |

Los valores del módulo de Young (E) de referencia que se muestran en la segunda columna de la Tabla 1, se han obtenido de las siguientes fuentes:

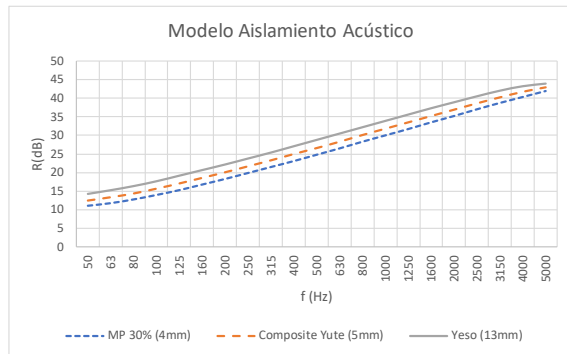
- Valor del módulo de Young de referencia de la placa de composite de fibras de naranjo (MP30%): Estudio detallado en [7] donde se realizó el ensayo mecánico destructivo siguiendo la norma americana ASTM D638 standard.
- Valor del módulo de Young de referencia de la placa de fibras de yute: ensayos realizados en la Escuela Politécnica Superior de Alcoy-Universitat Politècnica de València, según [11].
- Valor del módulo de Young de la placa de yeso: [21]

### 4. ESTIMACIÓN DEL AISLAMIENTO ACÚSTICO A RUIDO AÉREO

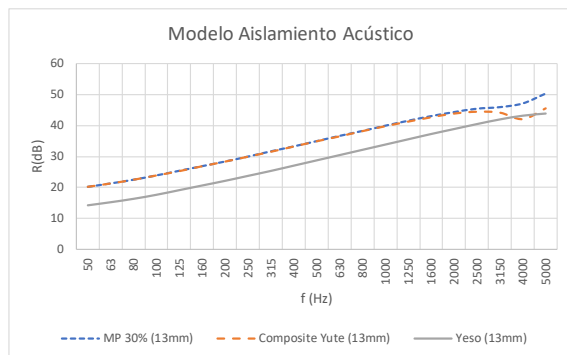
Es posible conocer el índice de reducción sonora,  $R$  (dB), a partir del coeficiente de transmisión,  $\tau(\theta)$ . Este coeficiente representa la relación entre la energía transmitida y la energía incidente, y presenta una dependencia con el ángulo de incidencia.

Siguiendo las directrices marcadas en otros autores [7,22 ,23] y el procedimiento detallado en [24], se obtiene la predicción al aislamiento acústico de las placas de fibra de naranjo, de fibras de yute y de yeso. En la Figura 6 se muestran estos resultados. En la Figura 7 se muestran los resultados de los valores de aislamiento a ruido aéreo, de las simulaciones considerando las 3 placas del

mismo espesor, 13mm, valor típico de las placas de yeso comúnmente utilizadas en edificación.



**Figura 6.** Estimación del aislamiento acústico a ruido aéreo, R (dB) de las 3 placas estudiadas en este trabajo.



**Figura 7.** Estimación del aislamiento acústico a ruido aéreo, R (dB) de las 3 placas estudiadas en este trabajo, considerando todas las placas de 13mm de espesor.

## 5. CONCLUSIONES

En este trabajo se propone un procedimiento experimental basado en métodos resonantes para la caracterización mecánica de nuevos eco-materiales. A partir del método propuesto se han podido obtener valores del módulo de Young de tres materiales distintos bastante similares a los valores que se tenían de referencia obtenidos por distintos métodos. Este trabajo ha servido para poner en marcha un nuevo método resonante no destructivo y adaptado a la geometría de las probetas que suelen llegar a nuestros laboratorios. A partir de los valores experimentales, además, podemos obtener el factor de pérdidas que, junto a parámetros mecánicos, nos permite estimar el valor del aislamiento acústico a ruido aéreo, R(dB). Estas predicciones han demostrado que, con un mismo espesor, las placas de eco-composites (en concreto de fibras de naranjo y fibras de yute) pueden presentar valores de aislamiento acústico comparables, e incluso superiores a los valores de aislamiento que presentan las placas de yeso, tradicionalmente utilizadas en acústica de la edificación, como parte de soluciones acústicas. Se abre de esta forma un abanico de posibilidades de nuevas soluciones acústicas sostenibles, apostando por una economía circular y en línea con la estrategia de la Unión Europea (H2030).

## 12. REFERENCIAS

- [1] Naciones Unidas, “Transformar nuestro mundo: La agenda 2030 para Desarrollo Sostenible”, 2015, <<https://sdgs.un.org/es/2030agenda>> [Consulta: 12 de septiembre de 2013].
- [2] J. Ramis, R. del Rey, J. Alba, L. Godinho, J. Carbajo. “A model for acoustic absorbent materials derived from coconut fiber”. *Materiales de Construcción*, vol. 313, no.64, pp. 1 – 7, 2014.
- [3] R. del Rey, J. Alba, V. Sanchis. “An empirical modeling of porous sound absorbing materials made of recycled foam”, *Applied Acoustics*, vol. 73, pp. 604 – 609, 2012.
- [4] R. del Rey, J. Alba, J. Ramis, V. Sanchis, “Nuevos materiales absorbentes acústicos obtenidos a partir de restos de botellas de plástico”. *Materiales de Construcción*, vol. 61, no. 304, pp. 547 – 558, 2011.
- [5] J. Ramis, J. Alba, R. del Rey, E. Escuder, V.J. Sanchis. Nuevos materiales absorbentes acústicos basados en fibra de kenaf, *Materiales de Construcción*, vol. 60, no. 299, pp. 133 – 143, 2010.
- [6] R. Reixach, R. del Rey, J. Alba, G. Arbat, F.X. Espinach, “Acoustic properties of agroforestry waste orange pruning fibers reinforced polypropylene composites as an alternative to laminated gypsum boards”, *Construction and Building Materials*, vol. 77, pp. 124 – 129, 2015.
- [7] J. Jorge, R. del Rey, J. Alba, R. Oltra, “Sound-Absorption Properties of Materials Made of Esparto Grass Fibers”. *Sustainability*, vol. 12, no. 14, pp. 5533, 2020.
- [8] R. del Rey; A. Uris; J. Alba; P. Candelas, “Characterization of Sheep Wool as a Sustainable Material for Acoustic Applications”, *Materials*, vol. 10, no. 11, pp. 1277, 2017.
- [9] Documento Básico de Protección Frente al Ruido del Código Técnico de la Edificación (DB-HR del CTE)
- [10] AENOR (2020). “Materiales metálicos, Ensayo de tracción, Parte 1: Método de ensayo a temperatura ambiente.”. UNE-EN ISO 6892-1:2020. Madrid: AENOR.
- [11] AENOR (2022). “Plásticos, Determinación de las propiedades en tracción, Parte 4: Condiciones de ensayo para plásticos compuestos isotrópicos y ortotrópicos reforzados con fibras.”, UNE-0EN ISO 527-4:2022. Madrid: AENOR.
- [12] M. Peydró, F. Parres, J. Crespo, R. Navarro, “Recuperación de plásticos reciclados mediante adicción de elastómeros termoplásticos. Caracterización mecánica y térmica”, *Tecnología de materiales*, vol. 87, no. 5, pp. 526-532, 2012.
- [13] J. Gomez-Caturla, R. Balart, J. Ivorra, D. Garcia, F. Dominici, D. Puglia and T. Luigi, “Biopolypropylene-Based Wood Plastic Composites Reinforced with Mango Peel Flour and Compatibilized with an Environmentally Friendly Copolymer from Itaconic Acid,” *ACS applied polymer materials*, vol. 4, no. 6, pp. 4398–4410, 2022.

- [14] J. Gomez-Caturla, D. Lascano, N. Montanes, R. Balart, F. Dominici, D. Puglia and L. Torre, "Manufacturing and characterization of highly environmentally-friendly composites with polylactide matrix /and mango kernel seed flour", *Express polymer letters*, vol. 17, no. 3, pp. 334–351, 2023.
- [15] D. García García, A. Carbonell Verdú, A. Jorda-Vilaplana, R. A. Balart Gimeno, and D. García Sanoguera, "Development and characterization of green composites from bio-based polyethylene and peanut shell", *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 133, no.37, 2016.
- [16] C. Dolça, E. Fages, E. Gonga, D. Garcia-Sanoguera, R. Balart, and L. Quiles-Carrillo, "The Effect of Varying the Amount of Short Hemp Fibers on Mechanical and Thermal Properties of Wood-Plastic Composites from Biobased Polyethylene Processed by Injection Molding", *Polymers*, vol. 14, no. 1, pp. 138, 2021.
- [17] Á. Agüero, E. Corral, S. Abarca, D. Lascano, M. de la Fuente, M. Peltzer, R. Balart and M. Arrieta, "Plasticized Mechanical Recycled PLA Films Reinforced with Microbial Cellulose Particles Obtained from Kombucha Fermented in Yerba Mate Waste", *Polymers*, vol. 15, no. 2, pp. 285–, 2023.
- [18] M. D. Samper Madrigal, R. Petrucci, L. Sánchez Nacher, R. A. Balart Gimeno, and J. M. Kenny, "Properties of composite laminates based on basalt fibers with epoxidized vegetable oils", *Materials & Design*, vol. 72, pp. 9-15, 2015.
- [19] D. S. Lascano-Aimacaña, R. Balart, D. Garcia-Sanoguera, Á. Agüero-Rodríguez, T. Boronat, and N. Montanes, "Manufacturing and Characterization of Hybrid Composites with Basalt and Flax Fabrics and a Partially Bio-based Epoxy Resin", *Fibers and Polymers*, vol. 22, no.3, pp. 751-763, 2021.
- [20] M. Recuero Lopez, "Ingeniería Acústica", *Ediciones Paraninfo*, S.A, Madrid, septiembre de 1991.
- [21] Alonso Vera, Juan Antonio; Reyes Pozo, Encarnación; Gálvez Ruiz, Jaime. (2011) Caracterización del comportamiento en fractura de paneles sándwich de placas de yeso laminado y lana de roca, En: "XXVIII Encuentro del Grupo Español de Fractura", 06/04/2011 - 08/04/2011, Gijón, España.  
<<https://gef.es/images/publicaciones/28/Anales28-011.pdf>>  
[Consulta: 11 de septiembre de 2023].
- [22] T.E. Vigran, "Predicting the sound reduction index of finite size specimen by a simplified spatial windowing technique", *Journal of Sound and Vibration*, vol. 325, no. 3, pp. 507-512, 2009.
- [23] S. Schoenwald, E. Gerretsen, and H. J. Martin, "Prediction of the Sound Transmission Loss of Multi-layered Small Sized Elements", *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 123, no. 5\_Supplement, pp. 3500–, 2008.
- [24] J. Sanchis, Ernesto; R. Rey; L. Bertó; J. G. Segura; J. Gadea; J. Alba. Preliminary Results of the Research Project Entitled "Development of New Eco-materials and Sustainable Solutions based on the Use of Waste and Renewable Raw Materials in Building Acoustics". *EN 22nd International Congress on Sound and Vibration, Acoustical Society of Italy*, (Florenca, Italia), vol. 1 – 8, 2015.