

## COMPORTAMIENTO ACÚSTICO DE COMPUESTOS A PARTIR DE PARTÍCULAS PROCEDENTES DE NEUMATICOS FUERA DE USO Y MATERIALES LIGNOCELULÓSICOS

REFERENCIA PACS: 43.55 Ev

J. E. Crespo<sup>(1)</sup>, S. Espinosa<sup>(1)</sup>, F. José López<sup>(1)</sup>, A.V. Nadal<sup>(1)</sup>, F. Parres<sup>(1)</sup>, E. Juliá<sup>(2)</sup>, J. Segura<sup>(2)</sup>

(1) Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales.  
Escuela Politécnica Superior de Alcoy (EPSA), Universitat Politècnica de València (UPV)  
Plaza Ferrándiz y Carbonell, s/n 03801 - Alcoy (Alicante)  
e-mail: [jocream@dimmm.upv.es](mailto:jocream@dimmm.upv.es)

(2) Departamento Mecánica de los Medios Continuos y Teoría de Estructuras.  
Escuela Politécnica Superior de Alcoy (EPSA), Universitat Politècnica de València (UPV)  
Plaza Ferrándiz y Carbonell, s/n 03801 - Alcoy (Alicante)  
e-mail: [erjusan@mes.upv.es](mailto:erjusan@mes.upv.es)

### RESUMEN

La búsqueda de alternativas a los materiales tradicionales más utilizados para la absorción acústica, lleva a realizar diferentes investigaciones en compuestos multicapa formados por diferentes tipos de residuos o materiales de desecho de sectores muy dispares. El objetivo principal es reducir la contaminación acústica por medio de materiales absorbentes como alternativa a los actuales.

**Palabras clave:** fibras recicladas, multicapas, coeficiente de absorción.

### ABSTRACT

The search for alternatives to more traditional materials used for sound absorption, leads us to research in performing multilayer composites. These composites are formed using different kind of residues coming from different industrial uses. The main objective of our investigation is to obtain products coming from this kind of residues for reduce noise and environmental pollution generating new products like alternative to absorbent materials used in the nowadays market.

**Keywords:** recycled fibers, multilayer, absorption coefficient.

## 1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, la contaminación producida por los ruidos y las vibraciones es un problema de gran interés para resolver. Esta contaminación es creciente en las sociedades desarrolladas, en las que cada vez más se demandan leyes y normativas para controlar el ruido, tanto en el interior como en el exterior de las áreas residenciales. Por otro lado, el reciclado de productos como los neumáticos fuera de uso es un asunto pendiente, particularmente importante en los países en vías de crecimiento.

La recuperación de los neumáticos es un problema medioambiental que afecta al mundo desarrollado, ya que cerca de 700 millones de vehículos circulan en nuestro planeta y se calcula que estos vehículos cambian sus neumáticos como media tres veces a lo largo de su vida útil. La cantidad de residuos generados incita a buscar una forma eficaz y eficiente de eliminar este exceso de residuos que cada vez es mayor.

La problemática ambiental generada por el depósito controlado o no, de los neumáticos fuera de uso (NFU's), ha llegado a ser de tal magnitud, que las administraciones públicas han ido sensibilizándose, para proveer de una legislación adecuada para el control del vertido y su posible recuperación, reciclado y valorización.

Es por ello que en la actualidad la recuperación de neumáticos usados es un tema al que se le están dedicando grandes esfuerzos por parte de grupos de investigación, tanto públicos como privados (principalmente), dado el alto contenido (aprox. 50%) de caucho y elastómero que contienen. Las propuestas de recuperación son variadas, y entre las que destacan:

- Recuperación energética.
- Recuperación como carga en materiales de construcción y obras públicas.
- Cargas en otros materiales plásticos.
- Fabricación de materiales cuya base es el material recuperado.

## 2. MÉTODO EXPERIMENTAL

### 2.1. Materiales

Los materiales proceden del triturado de neumáticos de vehículos pesados una vez finalizado su ciclo de vida. Este producto está compuesto por residuos de naturaleza elastomérica denominados GTR (Ground Tire Rubber), que se adhieren a las fibras textiles (denominadas "Fluf") y metálicas. Los residuos empleados de GTR en este estudio son partículas de caucho de hasta 0,7 mm y partículas comprendidas entre 2,2-4 mm.

Las cargas lignocelulósicas empleadas es triturado de cáscara de almendra proveniente de las partidoras donde se obtiene una vez obtenido el fruto de la almendra o gallón. Las granulometrías empleadas en este estudio son partículas de 150 µm y 1000 µm.

Se han elaborado las muestras mediante el sinterizado de fibras y de GTR de diferentes tamaños de partícula y con distintos porcentajes de cargas celulósicas de tamaño 175x250 mm y con un espesor constante de 40 mm en todas las muestras. En la Tabla 1 muestra la composición de los materiales utilizados en el estudio así como el tamaño de grano de las partículas de GTR y de la carga celulósica, porcentaje de carga y densidades.

Tabla 1. Propiedades de las muestras utilizadas en el estudio.

Material	Tamaño de partícula de GTR (μm)	Tamaño de partícula lignocelulósica (μm)	Peso sin carga (gr)	Carga lignocelulósica (%)	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )
C 1	Hasta 0,7	150	900	40	0,72
C 2	Hasta 0,7	1000	900	40	0,72
C 3	Hasta 0,7	150	900	60	0,82
C 4	Hasta 0,7	1000	900	60	0,82
C 5	Entre 2,2-4	150	1000	40	0,80
C 6	Entre 2,2-4	1000	1000	40	0,80
C 7	Entre 2,2-4	150	1000	60	0,91
C 8	Entre 2,2-4	1000	1000	60	0,91

## 2.2. Caracterización

Para la medida de la impedancia acústica superficial se seguirán las recomendaciones de la norma UNE-EN 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".

El método descrito en esta norma se aplicará para la determinación del coeficiente de absorción acústica a incidencia normal de materiales absorbentes del sonido mediante un tubo de impedancia acústica, dos micrófonos y un sistema de análisis de señal.

El cálculo del coeficiente de absorción acústica para incidencia difusa,  $\alpha_{st}$ , no es más que el cálculo del coeficiente entre la energía acústica absorbida por la superficie  $d$  la muestra de ensayo (sin retorno) y la energía acústica incidente para el caso de una onda plana con incidencia normal.

$$\alpha_{st} = 8 \frac{z'}{z'^2 + z''^2} \left[ 1 - \frac{z'}{z'^2 + z''^2} \cdot \ln(1 + 2z' + z'^2 + z''^2) + \frac{1}{z''} \cdot \frac{z'^2 - z''^2}{z'^2 + z''^2} \cdot \arctan \frac{z''}{1 + z'} \right]$$

donde:

$z = Z / \rho c_0$  la impedancia normalizada.

$z' = R / \rho c_0$  la parte real de la impedancia normalizada.

$z'' = X / \rho c_0$  la parte imaginaria de la impedancia normalizada.

La muestra de ensayo se situará en uno de los extremos de un tubo de impedancia acústica que debe ser recto, rígido, liso y estanco. Se generarán ondas planas en el tubo mediante una fuente sonora y se miden las presiones acústicas en dos posiciones de micrófono cercanas a la muestra.

Se determinará la función de transferencia acústica compleja a partir de las señales de los dos micrófonos para obtener el coeficiente de reflexión complejo a incidencia normal,  $r$ , el coeficiente de absorción a incidencia normal,  $\alpha$ , y la impedancia normalizada del material,  $Z$ .

El rango de frecuencia útil dependerá del ancho del tubo y de la distancia entre las posiciones de micrófono.

Las mediciones pueden realizarse con el método de los dos micrófonos (utilizado en este proyecto) o con el método de un micrófono (en este caso se va situando sucesivamente el micrófono en las dos posiciones).

### 3. RESULTADOS

La señal de salida se procesa mediante una serie funciones de Matlab. Los siguientes gráficos muestran las señales de respuesta en frecuencia frente al coeficiente de absorción acústica de las muestras ensayadas en función de su composición. En la Figura 1 se muestra la comparativa de partículas de GTR hasta 0,7 mm en función del tamaño de partícula y de su porcentaje de carga.

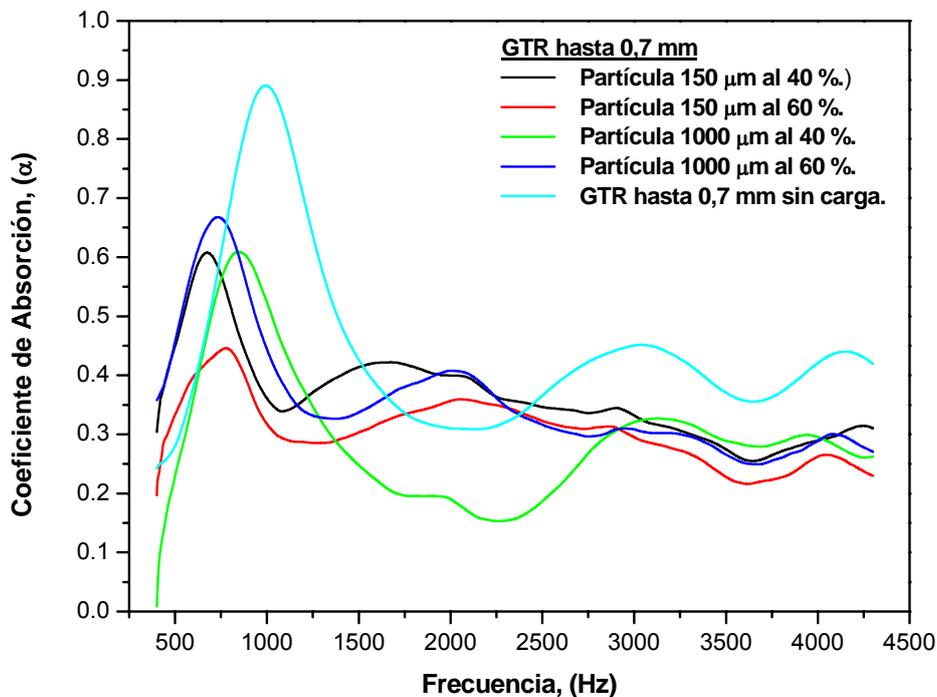


Figura 1. Coeficiente de absorción de las partículas de hasta 0,7 mm cargadas con partículas lignocelulósicas.

Como se puede observar en la Figura 1, podemos comprobar como para todas las composiciones de la partícula de GTR de hasta 0,7 mm existe una zona máxima comprendida entre 500-1000 Hz. Si analizamos la gráfica desde el punto de vista del tamaño de partícula, podemos observar como para la partícula de 150 μm se obtienen resultados mayores en todo el rango de frecuencia para la carga al 40 %. Este comportamiento se invierte para la partícula de 1000 μm, donde los resultados del coeficiente de absorción son mayores para la carga al 60%.

En la Figura 2 se muestra la comparativa de partículas de GTR de 2,2-4 mm en función del tamaño de partícula y de su porcentaje de carga.

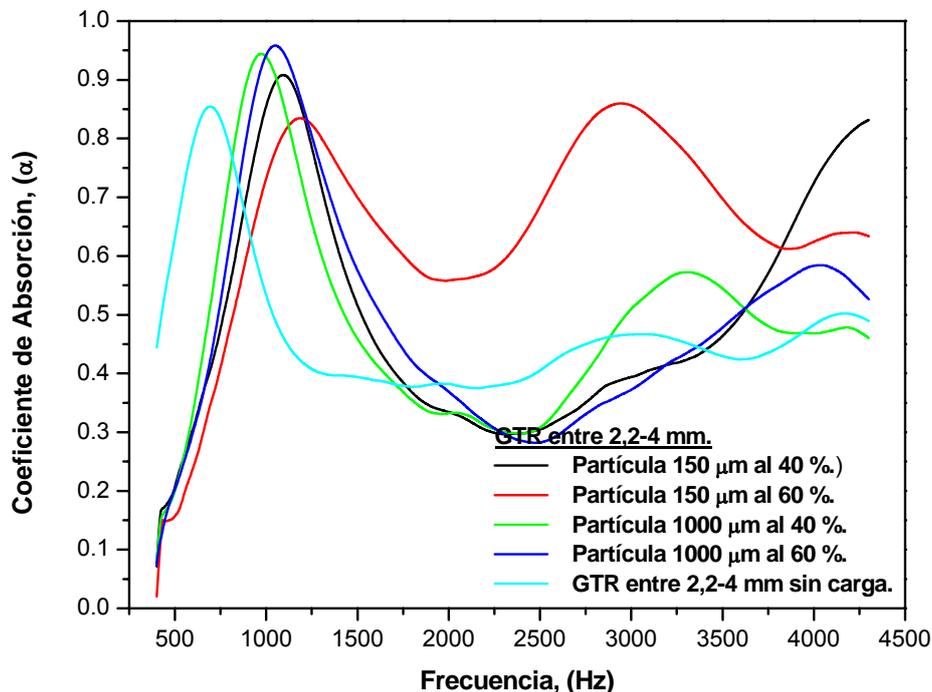


Figura 2. Coeficiente de absorción de las partículas de 2,2-4 mm cargadas con partículas lignocelulósicas.

En la Figura 2, podemos comprobar como para todas las composiciones de la partícula de GTR de 2,2-4 mm existe una zona máxima ahora comprendida entre 750-1250 Hz. Si analizamos la gráfica desde el punto de vista del tamaño de partícula, podemos observar como para la partícula de 1000  $\mu\text{m}$  se obtienen resultados mayores de absorción acústica en los rangos iniciales de frecuencias con valores muy similares para las cargas de 40 y 60 % de aproximadamente el 95 % de absorción. En cambio, se observa como para la partícula de 150  $\mu\text{m}$  el comportamiento es muy similar al de la partícula de 1000  $\mu\text{m}$  para la carga del 40 %, en cambio para la carga del 60 % a partir de los 1250 Hz la respuesta obtenida esta siempre por encima de las demas muestras y existiendo nuevamente una zona de máxima absorción para las región de frecuencias comprendidas entre 2500-3500 Hz con valores muy similares a los obtenidos inicialmente.

#### 4. CONCLUSIONES

Los valores obtenidos en la combinación de triturado de GTR con cáscara de almendra muestran unos resultados muy satisfactorios. Los resultados obtenidos para el triturado de 0,7 mm de GTR no son superiores a la muestra sin carga, aunque los valores de absorción son muy similares a partir de los 1500 Hz. En cambio, para la granulometría entre 2,2-4 mm los valores obtenidos son mayores para las mezclas cargadas, teniendo en cuenta que la partícula de 150  $\mu\text{m}$  cargada al 60 % tiene una respuesta completamente superior en todo el rango de frecuencias. Hay que entender que la partícula de 150  $\mu\text{m}$  mantiene una estructura porosa por un lado y su inserción en la matriz de GTR mantiene aún una estructura porosa del conjunto, y esta puede ser la justificación de que en conjunto su comportamiento acústico es mejor que la muestra de GTR de la misma granulometría pero sin carga.

Por otro lado, la realización de medidas de tortuosidad y porosidad nos ayudaran a comprender y justificar los diferentes comportamientos acústicos. Lo cual nos permitirá refinar el análisis de propiedades y proceder a generar modelos que dependan tan solo o predominantemente de la estructura del material.

Queda pendiente en el proceso el análisis de los valores de propiedades como el damping y la caracterización mecánica de los materiales compuestos así obtenidos.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por la Universidad Politécnica de Valencia, dentro del programa de Apoyo a la Investigación y Desarrollo (UPV PAID-05-2012) para proyectos de nuevas Líneas de Investigación Multidisciplinares (Ref.: SP20120370).

A las empresas Insaturbo y Recipneu por su colaboración en el suministro de materiales.

## 6. REFERENCIAS

- [1] Hyun J., Sung C., Yong S., Woo K., Status of recycling end-of-life vehicles and efforts to reduce automobile shredder residues in Korea, *J. Mat. Cycl. Waste Manag.*, (2007) 159-166.
- [2] Nadal A., Ferrer C., Monzó M., López J., Étude des mécanismes de recyclage des caoutchoucs provenant des déchets de pneus, *Ann. Chim.Sci.Mat.* 33 (2008) 179-188
- [3] Anthony, W. S., "Technology to separate rubber crumb from fiber", *Applied Engineering in Agriculture*, 22, (2006), 563.
- [4] Zhang, X. X.; Lu, C. H.; Liang, M., "Preparation of rubber composites from ground tire rubber reinforced with waste-tire fiber through mechanical milling", *J. Appl. Polym. Sci.*, 103, (2007),
- [5] R. Maderuelo-Sanz, A.V. Nadal-Gisbert, J.E. Crespo-Amoros, F. Parres-García, A novel sound absorber with recycled fibers coming from end of life tires (ELTs), *Applied Acoustics*, 73 (2012) 402-408.
- [7] J.E. Crespo, A. Nadal, F. Parres, Research into the influence of ground tire rubber (GTR) in the mechanical and thermal properties of recycled thermoplastic materials, *Materialwissenschaft Und Werkstofftechnik*, 41 (2010) 293-299.
- [8] F. Parres, J.E. Crespo, A. Nadal, Characterization of fibers obtained from shredded tires, *Journal of Applied Polymer Science*, 113 (2009) 2136-2142.
- [9] F. Parres, J.E. Crespo, A. Nadal, Mechanical properties analysis of plaster reinforced with fiber and microfiber obtained from shredded tires, *Constructi. Build. Mater.*, 23 (2009) 3182.
- [10] J. E. Crespo, F. Parres, A. Nadal, Mechanical behavior analysis of sintered products of natural rubber crumb rubber (NRCR) using adhesives, *Materialwissenschaft Und Werkstofftechnik*, 40 (2009) 211-217.
- [11] Sobral, M.; Samagaio, A. J. B.; Ferreira, J. M. F.; Labrincha, J., "Mechanical and acoustical characteristics of bound rubber granulate", *J. Mater. Process. Techn.*, 142, (2003), 427.