

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ACÚSTICO DE MATERIALES COMPUESTOS DE MATRIZ CEMENTICIA CON VERMICULITA

PACS 43.58.Bh

Esquerdo-Lloret, T. V.¹; Maderuelo-Sanz, R.²; Meneses-Rodríguez, J. M.²; Nadal-Gisbert, A. V.³; Denia, F.D.⁴; Martín-Castizo, M.²

¹Instituto de Diseño para la Fabricación y Producción Automatizada, Escuela Politécnica Superior de Alcoy, Universitat Politècnica de València, Pl. Ferrándiz Carbonell s/n, 03801 Alcoy. toesllo1@mcm.upv.es

²Intromac, Instituto Tecnológico de Rocas Ornamentales y Materiales de Construcción Campus Universidad de Extremadura Carretera de Trujillo s/n 10071 Cáceres. rmaderuelo@intromac.com

³Instituto de Tecnología de Materiales, Escuela Politécnica Superior de Alcoy, Universitat Politècnica de València, Pl. Ferrándiz Carbonell s/n, 03801 Alcoy. anadal@mcm.upv.es

⁴Centro de Investigación de Tecnología de Vehículos, Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n, 46022 Valencia. fdenia@mcm.upv.es

ABSTRACT

Vermiculite is a lightweight material that presents very good thermal and acoustic properties that make it capable of being used in the field of building acoustics. The work shows the results obtained to characterize acoustically the absorbent material made with vermiculite and Portland cement, the latter acting as binder. The composite material obtained is made by using grains of vermiculite of different sizes, obtaining a matrix of cement mortar using different proportions of V(vermiculite), A(water) and C(cement). The acoustic characterization is carried out by using the impedance tube and also a porosimeter. Several experimental measurements are presented in the current investigation, including the absorption coefficient, steady flow resistivity, porosity and tortuosity.

RESUMEN

La vermiculita es un material ultraligero que presenta muy buenas propiedades térmicas y acústicas, por lo que es susceptible de ser utilizada en el ámbito de la acústica de la edificación. En el presente trabajo se muestran los resultados obtenidos al caracterizar acústicamente materiales absorbentes constituidos por vermiculita granular, de diferentes granulometrías, y una matriz obtenida con mortero de cemento, usando diferentes proporciones de V (vermiculita), A (agua) y C (cemento). La caracterización acústica se ha llevado a cabo mediante un tubo de impedancia y un porosímetro. Se han medido los coeficientes de absorción, la resistencia al flujo, la porosidad y la tortuosidad de las diferentes muestras elaboradas.

INTRODUCCION

El uso de aligerantes en el sector de la construcción permite reducir el peso pero a su vez deben ofrecer características resistentes aceptables, así como otras propiedades estéticas y buenas condiciones de confort (acústicas y térmicas). Pueden encontrarse referencias bibliográficas con triturados de neumáticos [1], biomasa [2], poliestireno expandido [3] y desechos de altos hornos [4]. El mortero de cemento que se emplea en la construcción se aligera con agentes gasificantes durante el amasado [5], y también puede aligerarse con diferentes materiales procedentes de reciclado [6]. Debido a la gran cantidad de residuos generados, existen numerosas referencias sobre el empleo de plásticos [7]. Otros materiales reciclados que también pueden aligerar el cemento en obras de edificación son: neumáticos reciclados [8],[9], fibras de vidrio [10] y arenas volcánicas [11]. Resulta interesante el empleo de materiales aligerantes que no impliquen una carga mediambiental, como es el caso de materiales procedentes de arenas y sus derivados. Entre los materiales cerámicos se encuentran aquellos que se pueden exfoliar con facilidad incrementando su relación superficie/volumen al ser calentados a temperaturas elevadas (alrededor de 1000°C). La gasificación de las partículas de agua insertas en el material cerámico genera la exfoliación del material. El resultado de este proceso es la aparición de granos muy ligeros con una estructura estratificada que ofrecen características interesantes desde el punto de vista de la obtención de bajas densidades y valores elevados de aislamiento térmico y acústico. Materiales como la perlita, arlita y vermiculita se obtienen a partir de este proceso. La baja densidad y la resistencia a altas temperaturas los ubica como materiales en el ámbito industrial. En el sector de la construcción estos materiales presentan la ventaja de reducir el peso y al mismo tiempo ofrecen buen comportamiento como aislante, tanto térmico [12] [13] como acústico. Por otro lado, su uso como material para silenciadores es una posibilidad evidente. Es frecuente disponer de morteros de cemento con áridos exfoliados (arlita) en construcciones [14].

Este trabajo analiza la respuesta acústica del material empleado (vermiculita con cemento como material ligante en distintas proporciones) y su relación con la porosidad, tortuosidad y resistencia al flujo, y sirve de complemento a estudios previos.

MATERIALES Y PROCEDIMIENTOS

La vermiculita se comercializa en distintos tamaños de grano. En este trabajo se han estudiado dos granulometrías: vermiculita V2 (grano fino) y V3 (grano grueso). En la Figura 1 se puede observar la estratificación en capas provocada por la exfoliación de la roca virgen. Se ha empleado cemento blanco de alta resistencia Portland BL I 52.5 R como elemento ligante. La distribución granulométrica del material base empleado muestra que el mayor porcentaje acumulado para la vermiculita V3 corresponde al tamiz de 2 mm, con el 55.2%, mientras que en la V2 corresponde con el tamiz de 1 mm con el 53.6%.



Figura 1.- Vermiculita tipo 2 tomada en lupa (x2 aumentos)

La preparación de las muestras se ha iniciado disolviendo el cemento en el agua hasta tener una mezcla homogénea. A continuación la mezcla se vierte en un molde de silicona para el fraguado del cemento. El fraguado se ha realizado a temperatura ambiente de 23°C y una humedad del 34%. Finalmente las muestras han sido extraídas de los moldes después de 48 h para facilitar el fraguado interno de las mismas. El tiempo de fraguado depende de la morfología de la muestra (granulometría) y nivel de compactación, relacionados con el tipo de vermiculita, la relación V-C-A y el tiempo de mezclado. Se han realizado muestras con vermiculita V2 y V3. Las cantidades en gramos de vermiculita, cemento y agua se muestran en la Tabla 1.

	Proporciones en peso de V-C-A		
	V/C	V/A	C/A
20-100-60	0.2	0.33	1.66
20-70-56	0.28	0.36	1.25
20-80-48	0.25	0.42	1.66
20-80-64	0.25	0.31	1.25
20-70-49	0.29	0.40	1.43
20-60-48	0.33	0.42	1.25

Tabla 1. Relación en peso de materia prima.

RESULTADOS Y DISCUSION

Con el fin de analizar el comportamiento acústico de cada composición, se ha determinado experimentalmente el coeficiente de absorción en el rango de frecuencias de 100 a 6400 Hz en un tubo de impedancia [15]. También se ha determinado experimentalmente la porosidad [16], tortuosidad y resistencia al flujo [19]. El comportamiento acústico del material poroso depende, entre otras cosas, de la porosidad, tortuosidad y espesor de la muestra. Los resultados del coeficiente de absorción para la vermiculita tipo 2 y tipo 3 se muestran en las Figura 2 y 3.

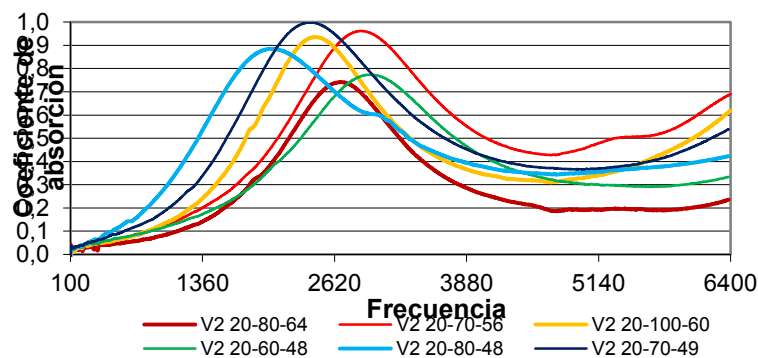


Figura 2.- Coeficiente de absorción en V2.

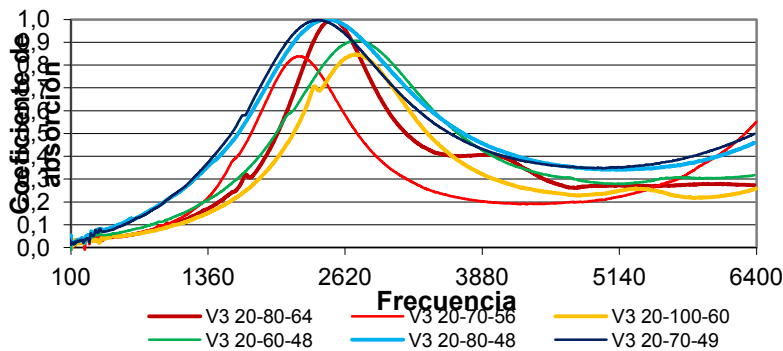


Figura 3.- Coeficiente de absorción en V3.

Muestra	Porosidad (%)	Resistencia al flujo (rayl/m)	Tortuosidad
20-70-49 V2	0,755	7612	1,337
20-80-64 V2	0,817	2154	1,561
20-70-56 V2	0,777	4736	1,633
20-100-60 V2	0,724	5433	1,590
20-80-48 V2	0,735	8923	1,788
20-60-48 V2	0,868	2630	2,214
20-70-49 V3	0,768	7944	1,720
20-80-64 V3	0,793	3117	1,477
20-70-56 V3	0,803	3241	1,687
20-100-60 V3	0,777	2924	1,652
20-80-48 V3	0,733	7760	1,429
20-60-48 V3	0,832	3706	1,860

Tabla 2. Valores experimentales de porosidad, resistencia al flujo y tortuosidad.

La porosidad se ha obtenido en un ensayo de estereopícnometría de Helio. Se ha utilizado el equipo Quantachrome SPY-3, con una celda calibrada con un volumen de 153.59 cm³ [16]. Con esta técnica es posible evaluar, de forma muy precisa, la densidad real de las muestras y determinar la porosidad conectada o abierta mediante la siguiente expresión:

$$\Omega = 1 - \frac{\rho_m}{\rho_s}$$

donde ρ_m es la densidad aparente de la muestra y ρ_s es la densidad real de la muestra.

Para cada una de las muestras se han realizado cinco medidas de ambas densidades obteniendo el promedio. Para eliminar posibles burbujas de aire o humedad en el interior de las muestras, antes de realizar las medidas, las muestras se introducen en una estufa durante 15 días a 65 °C. Este método presenta valores más precisos que los obtenidos con el método de saturación de agua, que emplean algunos autores para materiales granulares [17] debido a las pequeñas dimensiones atómicas del helio, que le permiten acceder al interior de poros donde el aire o el agua no pueden llegar, aumentando de esta forma el valor obtenido para la porosidad conectada o abierta de la muestra.

La medida de la tortuosidad se ha determinado mediante el procedimiento especificado por Brown [18] y la expresión empleada para su cálculo ha sido:

$$T = \frac{\rho_c}{\rho_f} \cdot \Omega$$

siendo ρ_c y ρ_f las resistividades eléctricas medidas para el electrolito con y sin el material poroso, respectivamente

La resistencia al flujo se ha obtenido por el método de medida basado en el tubo de ondas estacionarias con dos micrófonos [19] a partir de la función de transferencia. Este método parte de la hipótesis de que la caída de presión en el interior del tubo es lo suficientemente pequeña como para considerar que la velocidad del aire es la misma en las caras anterior y posterior de la muestra. También se supone que el espesor de la muestra es mucho menor que la longitud de onda, para que la velocidad pueda considerarse constante a través del material.

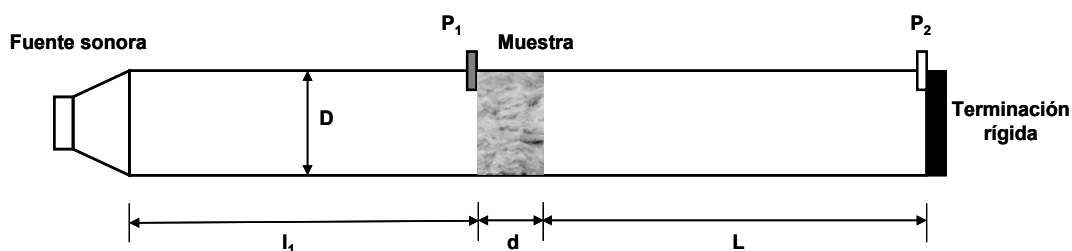


Figura 4.- Esquema de montaje experimental descrito por Ingard y Dear (1985).

No parece existir una relación directa entre el valor de los coeficientes de absorción y su distribución en el margen de frecuencias analizado con las relaciones C/A , V/A y V/C , al menos para los valores considerados en el presente trabajo. Los valores de la resistencia al flujo y el comportamiento acústico (coeficiente de absorción) son similares tanto para $V3$ como para $V2$ en las muestras $V3$ (20-70-49 y 20-80-48) y en la $V2$ (20-70-49 y 20-80-48). La resistencia al flujo de las muestras analizadas de $V2$ y $V3$ indicadas anteriormente, muestra una mayor resistencia al flujo en las muestras de $V2$ que en las $V3$. Parece haber una compensación en el balance tortuosidad/porosidad.

CONCLUSIONES

- No existe una relación directa de los valores C/A , V/A y V/C con los parámetros acústicos, debido a que en la formación del material compuesto de matriz cementicia existe una competencia entre la vermiculita y el cemento con el agua: en el caso de la vermiculita, material altamente poroso por disminuir su energía superficial y en el caso del cemento para reaccionar con el agua y formar los compuestos típicos de los morteros de cemento como la porlandita y la etringita principalmente. Y fruto de esta competencia es la obtención de la fase matriz.
- El proceso de mezclado somete a la mezcla a un esfuerzo de fricción y cizallado que acaba dirimiendo la formación de gránulos iniciales, que pueden contener más de una partícula de vermiculita. Este efecto junto a las condiciones de fraguado son los que configuran parámetros como la densidad real y aparente, así como la tortuosidad y la porosidad.
- Los valores obtenidos de porosidad indican la presencia de un material altamente poroso. Las resistencias al flujo elevadas para los dos tipos de vermiculita muestran una correlación con la absorción acústica.
- La relación entre porosidad y tortuosidad parece indicar que en el caso de ambos tipos de muestras ($V2$, $V3$) el incremento de la porosidad va acompañado de un incremento de la tortuosidad. Parece en principio haber una relación cuasi constante entre la densidad real y aparente, fruto de las relaciones C , A , y V y el proceso de elaboración y fraguado, hecho este que se podría confirmar observando que los valores medios de la resistencia al flujo son similares para ambos tipos de vermiculita.

BIBLIOGRAFIA

- [1] R. Maderuelo, R., J. Morillas, M. Martín, V. Escobar, G. Gonzalo Acoustical performance of porous absorber made from recycled rubber and polyurethane resin. Proceedings of Meetings on Acoustics, 19: 15013 - 15013, 2013
- [2] X. Zhu, B. Kim, Q. Wang, Q. Wu. Recent advances in the sound insulation properties of bio-based materials. BioResources, 9 (1), 1764 -1786, 2014
- [3] Y. Xu, L. Jiang, J. Xu, Y. Li. Mechanical properties of expanded polystyrene lightweight aggregate concrete and brick. Construction and Building Materials, 27 (1), 32 -38, 2012
- [4] S. Malhotra, S. Tehri. Development of bricks from granulated blast furnace slag. Construction and Building Materials, 10 (3), 191-192, 1996
- [5] H. Kim, J. Jeon, H. Lee. Workability, and mechanical, acoustic and thermal properties of lightweight aggregate concrete with a high volume of entrained air. Construction and Building Materials, 29, 193-200, 2012
- [6] M. Uysal, M. Sumer. Performance of self-compacting concrete containing different mineral admixtures. Construction and Building Materials, 25 (11), 4112-4120, 2011
- [7] L. Nguyen, A. Beaucour, S. Ortola, A. Noumowé. Influence of the volume fraction and the nature of fine lightweight aggregates on the thermal and mechanical properties of structural concrete. Construction and Building Materials, 51, 121-132, 2014
- [8] A. Marques, J. Correia, J. de Brito. Post-fire residual mechanical properties of concrete made with recycled rubber aggregate. Fire Safety Journal, 58, 49-57, 2013
- [9] A. Nadal; J. Gadea, F. Parres, E. Juliá, J. Crespo , J. Segura, F. Salas. Analysis behaviour of static and dynamic properties of Ethylene-Propylene-Diene-Methylene crumb rubber mortar. Construction and Building Materials, 50, 671-682. 2014
- [10] K. Hwee, H. Du. Use of waste glass as sand in mortar: part i – fresh, mechanical and durability properties. Cement and Concrete Composites, 35 (1), 109-117, 2013
- [11] M. Khandaker, H. Anwar. Properties of volcanic pumice based cement and lightweight concrete. Cement and Concrete Research, 34, 283–291, 2004
- [12] M. Otávio, L. Bueno, A.Coutinho, V. Sousa, N. Perazzo. Energy efficiency in building installations using thermal insulating materials in northeast Brazil. Energy and Buildings, 47, 35–43, 2012
- [13] I. Bekir, B. Is-Ikdag. Manufacture of high heat conductivity resistant clay bricks containing perlite. Building and Environment, 42, 3540-3546, 2007
- [14] R. Santos, M. del Río, M. González. Yeso aligerado con agregados procedentes de residuos de construcción, demolición o industria. Workshop on Environmental Impact of Buildings, 37-44, 2013
- [15] Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia. Parte 2: Método de la función de transferencia. UNE-EN ISO 10534-2.

[16] N. Voronina, K. Horoshenkov. A new empirical model for the acoustic properties of loose granular media. *Applied Acoustics*, 64 (4), 415-432, 2003

[17] M. Vasina, D. Hughes, K. Horoshenkov, L. Lapcik Jr. The acoustical properties of consolidated expanded clay granulates. *Applied Acoustics*, 67, 787–796, 2006

[18] R. Brown Connection between formation factor for electrical resistivity and fluid–solid coupling factor in Biot’s equations for acoustic waves in fluid-filled media. *Geophysics*, 45, 1269–75, 1980

[19] K. Ingard. Measurement of acoustic flow resistance. *Journal of Sound and Vibration*, 103 (24), 567-572, 1985