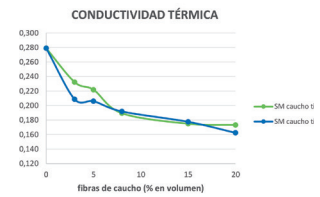


Influencia de la incorporación de fibras de caucho procedente de neumáticos fuera de uso (NFU) en morteros de yeso. Estudio de las propiedades mecánicas, térmicas y acústicas



Influence of the addition of rubber fibers from end-of-life tires on plaster mortars. Study of mechanical, thermal and acoustic properties



Rafael-Vicente Lozano-Díez¹, Oscar López-Zaldívar¹, Sofía Herrero-del-Cura¹, Pablo Mayor-Lobo¹ y Francisco Hernández-Olivares²

Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Edificación¹. Dpto. de Tecnología de la Edificación y Escuela Técnica Superior de Arquitectura². Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas. Avenida Juan de Herrera, 6 - 28040 Madrid (España).

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/9020> | Recibido: 29/10/2018 • Inicio Evaluación: 06/11/2018 • Aceptado: 24/01/2019

ABSTRACT

- In this paper, results about an experimental study performed on plaster compounds with the incorporation of rubber in the form of fibers from end of life tires are reported and analyzed. Test samples of plaster are prepared adding different volumetric fractions of rubber fibers that had been previously classified into two different sizes. The same consistency is fixed for every compound studied. Physical and mechanical properties are analyzed. Thermal behavior is also studied comparing thermal conductivity values and relating them with the bulk density of the resulting material. The results show an improvement in the thermal behavior proportional to the reduction of the density and the mechanical properties, as the proportion of rubber increases. It is also observed that there are no significant differences depending on the size of the fibers. These results confirm that the new material obtained is comparable to other materials of lightweight plaster with improved thermal properties and therefore with the same possibilities of use as these materials. The new material could be used for slabs and compression layers in building rehabilitation.
- **Keywords:** Plaster, rubber fibers, mechanical properties, thermal conductivity, acoustic insulation.

RESUMEN

En este trabajo se presentan los resultados del estudio experimental realizado sobre compuestos de yeso que incorpora residuos de caucho de neumáticos fuera de uso en forma de fibras. Se preparan mezclas de yeso con diferentes fracciones volumétricas de fibras de caucho que previamente se clasifican en dos tamaños diferentes. Se fija una consistencia para todos los compuestos y se estudian sus propiedades físicas y mecánicas. El comportamiento térmico se estudia comparando sus valores de conductividad térmica y relacionándolos posteriormente con la densidad aparente del material obtenido.

Los resultados muestran una mejora en el comportamiento térmico, proporcional a la reducción de la densidad y las propiedades mecánicas, a medida que se incrementa la proporción de caucho, no observándose diferencias significativas en función del tamaño de las fibras. Estos resultados confirman que el nuevo material obtenido es comparable a otros materiales de yeso ligero,

con propiedades térmicas mejoradas y por tanto con las mismas posibilidades de uso de otros materiales convencionales de yeso ligero. Se propone su aplicación para soleras y capas de compresión sobre forjados en rehabilitación de edificios.

Palabras clave: Yeso, fibras caucho, propiedades mecánicas, conductividad térmica, aislamiento acústico.

1. INTRODUCCIÓN

La reutilización de materiales de desecho se ha convertido en un objetivo preferente en los últimos años. Los neumáticos fuera de uso (NFU), son uno de los residuos de difícil eliminación para los que se han buscado diferentes procedimientos de valorización. Las industrias de reciclaje Trituran los neumáticos obteniendo fibras textiles y metálicas y especialmente polvo de caucho de diferentes granulometrías.

Los residuos de polvo de caucho se han incorporado a diferentes conglomerantes hidráulicos, especialmente en morteros de cemento y hormigones no estructurales y en menor medida a compuestos de yeso, observándose pérdidas de resistencia mecánica tanto a flexión, como a compresión y tracción, y menores módulos de elasticidad [1-8]. Por el contrario, se consigue una disminución de la densidad, obteniéndose productos más ligeros y con una disminución de la rigidez que permite reducir las fisuraciones [9,10]. Se observan también mejoras en el comportamiento térmico y acústico [11-18], en el rendimiento frente al fuego [19], una menor porosidad y absorción de agua [15] y la aparición de microporos en torno a los agregados de caucho [20, 21].

Las fibras textiles se han incorporado, en cantidades no superiores al 3%, a compuestos de yeso en combinación con corcho granulado (5-7%), lo cual ha sido estudiado en paneles prefabricados de yeso para tabiquería, aportando este tipo de fibras una mayor ductilidad, aumentando linealmente la energía de fractura con el porcentaje de fibras textiles recicladas [22]. Se han estudiado también hormigones que sustituyen diferentes fracciones volumétricas de árido por fibras textiles y metálicas en combinación con caucho granulado, todos ellos procedentes del reciclado de neumáticos, obteniéndose mejoras como en su comportamiento térmico y acústico [23].

Sin embargo no se han encontrado estudios sobre las posibilidades de valorización del caucho de NFU en forma de fibras

procedente del recauchutado de neumáticos. Se trata de un material heterogéneo con fibras de diferente grosor y longitud. El objetivo es obtener un material compuesto que mejore uno de los conglomerantes más utilizados en construcción aprovechando las propiedades elásticas del caucho, su baja densidad, conductividad térmica y estabilidad química, así como la capacidad de amortiguación de ruido de impacto. Para ello se realizarán los siguientes ensayos: Densidad, dureza, resistencia a flexión y a compresión, conductividad térmica y ruido de impacto.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. MATERIALES

Para la confección de los morteros, se ha utilizado un único tipo de escayola E-35, perteneciente a la empresa Algiss Uralita.

El caucho empleado en la elaboración de las muestras es caucho vulcanizado de NFU en forma de fibras, procedentes del recauchutado de neumáticos fuera de uso, proporcionados por la planta de tratamiento de NFU que la empresa valoriza servicios medioambientales, tiene en Chiloeches (Guadalajara).

Las propiedades físicas y el análisis químico, según se indica en la ficha técnica de los productos son las siguientes:

ANÁLISIS QUÍMICO:	MÍNIMO (%)	MÁXIMO (%)
Extracto cetónico	10	20
Polímeros NR/SR	40	55
Caucho natural NR	21	42
Negro de carbono	30	38
Cenizas	3	7
Azufre	-	5

PROPIEDADES FÍSICAS	
Densidad aparente	0,5±0,05 gr/cm ³
Humedad	< 0,75 % en peso
Contenido en materiales ferromagnéticos	<0,01 % en peso
Contenido en materiales textiles	< 0,25 % en peso
Contenido en otras impurezas	< 0,25 % en peso

2.1.1. Determinación de la distribución granulométrica de las fibras de caucho empleadas mediante el método del tamizado

A través este proceso se pretende dividir y separar, mediante la utilización de una serie de tamices normalizados, las fibras de caucho recauchutado empleadas en la fabricación de las probetas de yeso-caucho. Para el tamizado se ha seguido lo establecido en la Norma EN 933-2 y los requisitos de las Normas ISO 3310-1 y 3310-2. Los tamices se han colocado en la máquina tamizadora de arriba abajo, en orden decreciente de tamaños de abertura, agitando de manera mecánica durante 3 minutos.

Para el desarrollo de las distintas series de probetas de yeso-caucho se han utilizado las fracciones granulométricas retenidas en los tamices de 1mm y 2mm, las cuales se han denominado a lo largo de la investigación: caucho tipo 1 y caucho tipo 2, respectivamente. Se seleccionaron estas dos granulometrías con el objetivo de eliminar impurezas y fibras de tamaños excesivos que dificultaran el amasado.

2.2.2. Caracterización de las longitudes de las fibras de caucho

Para la caracterización de las longitudes de las fibras de caucho recauchutado, se pesaron 5 gramos de cada uno de los dos tipos de caucho analizados, tipo 1 y tipo 2, y se esparcieron sobre una superficie milimetrada. Se tomaron dos fotografías que fueron importadas como imágenes tipo ráster en un programa de CAD con la intención de dibujar polilíneas de acuerdo a la forma y dimensiones de cada una de las fibras analizadas. Se ha analizado una media de 400 fibras de ambos tipos (figuras 1 y 2).

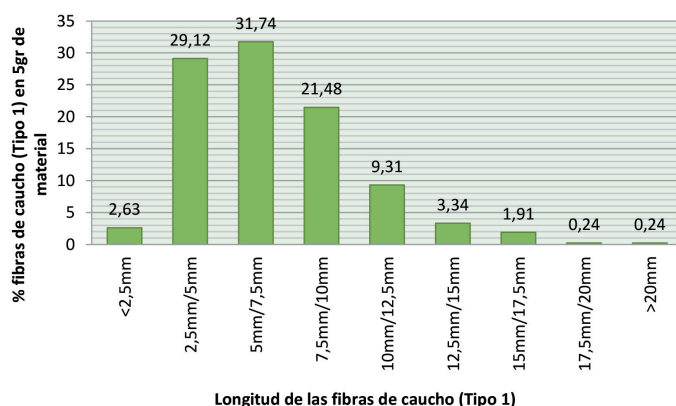


Fig. 1: Caracterización de las longitudes de las fibras de caucho recauchutado Tipo 1

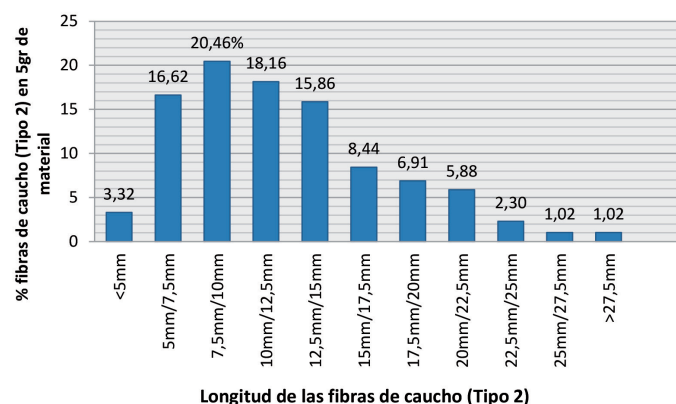


Fig. 2: Caracterización de las longitudes de las fibras de caucho recauchutado Tipo 2

2.2. METODOLOGÍA

Para analizar la influencia de la dosificación se ha modificado el porcentaje en volumen de las fibras de caucho respecto al volumen del yeso en valores del 3%, 5%, 8%, 15% y 20%. Los trabajos anteriores con polvo de caucho no recomiendan valores superiores al 20% por la elevada pérdida de resistencia [4,23]. Mediante el manejo de esta variable y el tipo de caucho de acuerdo a lo explicado en el apartado anterior (tipo 1 y tipo 2), se elaboran 10 series diferentes. Al inicio de la investigación se amplió el número de series hasta 20 al incorporar una tercera variable: orientación de las fibras. Se trata de analizar la influencia de la distribución y orientación de las fibras en la respuesta estructural del material. La orientación de las fibras se ve influenciada por: la geometría de los moldes, el efecto pared, la vibración de las muestras, etc. Y por el procedimiento de elaboración mediante el uso de una herramienta flexible de forma cónica, que oriente las fibras al pasar por la boquilla más estrecha. En adelante, teniendo en cuenta, esta variable se denominan con SM las muestras sin orientación y con CM las muestras con orientación. Cuando se obtuvieron los

primeros resultados de resistencias mecánicas se decidió eliminar estas series porque no se obtenían diferencias destacables.

Se han preparado dos tipos de probetas hechas con el mismo procedimiento de amasado (UNE EN 13279-2), mezclándose previamente en seco el yeso y las fibras de caucho, unas de dimensiones normalizadas para los ensayos mecánicos 4 x 4 x 16 cm³ (tres probetas por serie) y otras de dimensiones adaptadas a las herramientas utilizadas para los ensayos térmicos y acústicos, placas de 25 x 25 x 2 cm³, (2 placas por serie). Se decide realizar el amasado manteniendo fija la relación agua/yeso en un valor de 0.6 recomendado por el fabricante de yeso.

Se determinan para cada una de ellas las principales propiedades físicas y mecánicas, comparándolas entre si y con las de referencia sin fibras de caucho. Se incluyen también medidas experimentales de la conductividad térmica y del ruido de impacto teniendo en cuenta las variables propuestas.

2.3. ENSAYOS

Los ensayos físicos y mecánicos se han realizado de acuerdo con lo especificado en las correspondientes normas UNE sobre yesos y escayolas. Determinándose: densidad seca, dureza Shore C, resistencia a flexión y resistencia a compresión (UNE EN 13279-2 y UNE 102039:1985).

Para la determinación de la conductividad térmica, se ha utilizado una herramienta compuesta por un cubo aislado térmicamente con cuatro caras laterales que tienen aberturas cuadradas de 21 x 21 cm. En su cara interior se colocan los materiales a ensayar y en la exterior se adosan placas de material aislante de 21 x 21 cm (de conductividad conocida). En el interior como fuente de calor una bombilla de 100W y una sonda térmica interior conectada con un termostato regulador térmico.

Se colocan cinco sondas térmicas para medir la temperatura en el interior de la caja: en la cara interior de la placa a ensayar, en la superficie de contacto placa-aislante, en la cara exterior del aislante y en de la sala.

Una vez alcanzado el "régimen estacionario", se registran las temperaturas con una frecuencia de un minuto durante un pe-

riodo de 30 minutos. A continuación se calcula la conductividad térmica, en base a la Ley de Fourier.

La medida del aislamiento acústico se ha realizado mediante un ensayo propio para mediciones a pequeña escala [16].

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1 se refleja la denominación de las muestras, la fracción volumétrica de residuo utilizada en cada serie, la relación a/y, y los resultados de densidad y dureza Shore C.

3.1. DENSIDAD Y DUREZA SHORE C

Las mezclas obtenidas eran homogéneas y fácilmente trabajables tanto para el caucho tipo 1 como para el tipo 2 para adiciones del 3%, 5% y 8%, disminuyendo para el 15 y 20% en el caucho tipo 1. En los compuestos de caucho tipo 2, con fibras más gruesas y largas, con el incremento en la proporción de caucho hasta el 15% y 20%, las fibras se enredaban y apelmazaban, dificultando el amasado. Dando como resultado una mayor dispersión y por tanto mezclas menos homogéneas.

Se observa una reducción en la densidad y en la dureza Shore C (tabla 1) a medida que se aumenta la proporción de caucho, tanto para el tipo 1 como para el tipo 2, independientemente de la orientación o no de las fibras de caucho. Las reducciones de densidad se encuentran entre el 3% y el 15%, siendo muy similares los valores para el tipo 1 y tipo 2 y los mismos porcentajes de adición.

3.2. PROPIEDADES MECÁNICAS

Los resultados de las probetas ensayadas a compresión (Fig. 3) muestran que las series correspondiente a compuestos de yeso-caucho, para todas las fibras analizadas, tiene destacables pérdidas de resistencia en relación a la serie de referencia. La de yeso sin caucho alcanza resistencias de 21,51 N/mm² (tabla 1) reduciéndose casi a la mitad para adiciones del 8%, con variaciones mínimas tanto para el tipo 1 como para el tipo 2, apreciándose también pequeñas diferencias en función de la orientación de las fibras. Este descenso se incrementa en las muestras que contienen

Tipo Fibras	Orientación fibras	% Caucho (volumen)	Denominación	Rel. A/Y	Densidad (Kg/m ³)	Dureza ShoreC	Resistencia A Flexión (N/mm ²)	Resistencia a Compresión (N/mm ²)
Referencia	0	0	R	0.6	1277.3	88.6	8,036	21,51
Tipo 1	NO	3	SM-1-3	0.6	1235.9	89.8	7,167	16,05
	NO	5	SM-1-5	0.6	1212.2	87.4	5,863	13,76
	NO	8	SM-1-8	0.6	1191.9	85.0	5,535	11,11
	NO	15	SM-1-15	0.6	1130.7	78.4	3,921	8,29
	NO	20	SM-1-20	0.6	1097.4	78.6	3,547	5,68
Tipo 2	NO	3	SM-1-3	0.6	1229.2	89.7	6,555	17,11
	NO	5	SM-1-5	0.6	1199.6	88.7	6,060	14,30
	NO	8	SM-1-8	0.6	1196.8	88.3	5,087	12,02
	NO	15	SM-1-15	0.6	1103.7	82.6	3,955	7,83
	NO	20	SM-1-20	0.6	1103.4	80.9	3,299	5,16
Tipo 1	SI	3	CM-1-3	0.6	1255.3	89.5	6,474	17,25
	SI	5	CM-1-5	0.6	1229.8	90.0	5,690	15,47
	SI	8	CM-1-8	0.6	1182.6	87.2	4,652	12,07
Tipo 2	SI	3	CM-1-3	0.6	1229.8	89.3	5,522	15,97
	SI	5	CM-1-5	0.6	1200.2	90.0	6,021	14,72
	SI	8	CM-1-8	0.6	1154.8	88.1	4,687	10,74

Tabla 1: Denominación, densidad aparente y dureza superficial Shore C. Resistencia a flexión y compresión

fibras no orientadas con contenidos de caucho del 15 y 20 %, obteniéndose valores muy bajos aunque dentro de los admisibles según la norma UNE.

Teniendo en cuenta el descenso que se produce tanto a flexión como a compresión en las muestras con contenido de caucho del 15% y 20% con fibras sin orientar, se decide eliminar las series con fibras orientadas.

Los resultados de las probetas ensayadas a flexión (Fig. 4) muestran descensos de resistencia en relación a la serie de referencia, pero menos acusados que en compresión. La de referencia alcanza resistencias de 9,0 N/mm² (tabla 1), descendiendo a valores que oscilan, dependiendo del tipo de caucho y orientación, entre 5,53 N/mm² y 4,65 N/mm² para adiciones de fibras de caucho del 8%.

Hay que destacar el diferente comportamiento de las probetas con y sin fibra cuando se alcanza la carga de rotura. En las probetas sin caucho se produce una rotura catastrófica, mientras que las que contienen caucho se fisuran sin separación de los bordes, quedando cosidas por el caucho, en mayor medida que cuando se utiliza caucho granulado [16].

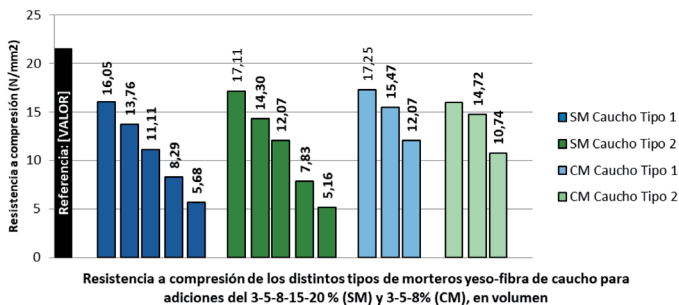


Fig. 3: Resistencia a compresión

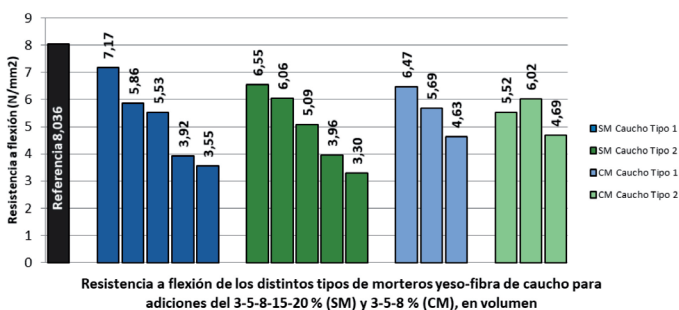


Fig. 4: Resistencia a flexión

3.3. CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

En todos los compuestos estudiados se produce una disminución de la conductividad térmica en relación a las placas de referencia sin adición de caucho.

Si comparamos por tipo de fibra de caucho (Fig. 5) observamos que los valores son muy similares, casi coincidentes para adiciones del 8% y 15%. Sin embargo para las tres series restantes el valor de la conductividad térmica es inferior para el caucho tipo 2, con diferencias más destacadas para adiciones del 3% y 5%. Estas fibras son de mayor espesor y sus longitudes, de media, también son mayores. Si consideramos los resultados obtenidos en anteriores investigaciones con polvo de caucho [16], los menores valores de conductividad térmica se daban en los de menor granulometría, es decir justo al contrario de los que se produce con las fibras de caucho. Por tanto parece que la morfología del material, no sólo el tamaño, influye en las propiedades térmicas de los compuestos.

CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

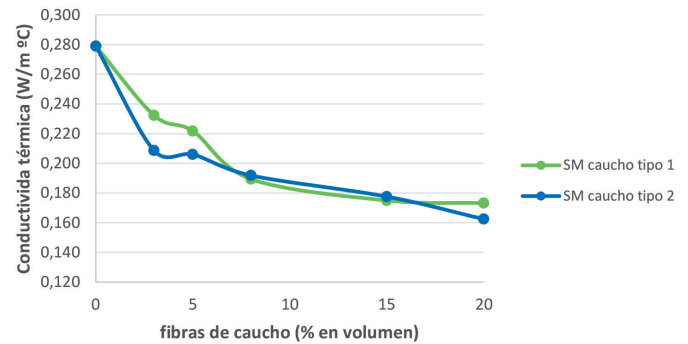


Fig. 5: Conductividad térmica experimental del composite

Por otro lado la microestructura del material también puede verse afectada por la morfología, produciendo modificaciones en la porosidad como se ha comprobado en trabajos anteriores con adiciones de polvo de caucho [21]. En concreto se comprobaba un incremento de la porosidad y la generación de microporos en torno a los agregados de caucho, debido a la apolaridad de este, que favorece la disminución de la conductividad térmica.

Teniendo en cuenta que la densidad de los materiales constructivos es un factor determinante de la capacidad térmica de los mismos, se han elaborado dos gráficas, una para cada tipo de caucho, en la que se relaciona la conductividad térmica con la densidad de los compuestos (figuras 6 y 7). Existe una correlación entre ambos parámetros en los dos tipos de caucho estudiados, para adiciones del 3%, 5% y 8%. Para el 15% y el 20%, la densidad disminuye en mayor proporción y sin embargo la conductividad térmica lo hace en menor medida, no manteniendo la misma tendencia.

FIBRAS DE CAUCHO tipo 1

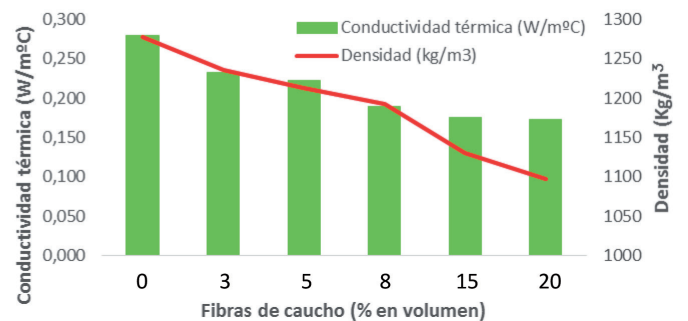


Fig. 6: Conductividad térmica y densidad para caucho tipo 1

FIBRAS DE CAUCHO tipo 2

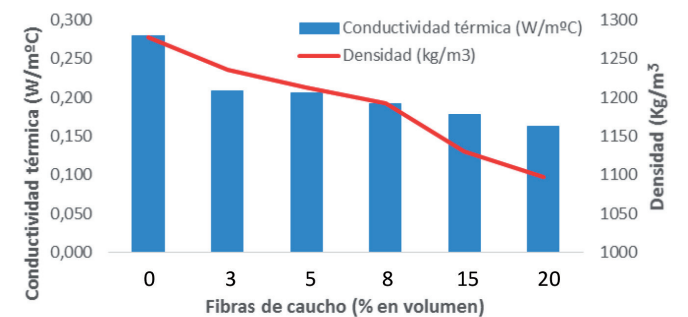


Fig. 7: Conductividad térmica y densidad para caucho tipo 2

4. CONCLUSIONES

Se comprueba la reducción de la densidad en todas las series realizadas. Esta reducción es proporcional al incremento de carga añadida. No se observan diferencias destacables en función del tipo de caucho.

La adición de fibras de caucho NFU disminuye la resistencia a flexión y a compresión, pero la forma de rotura sugiere una mejora en la tenacidad del compuesto para los dos tipos de caucho, que requeriría un estudio detallado de la tenacidad.

La adición de fibras de caucho NFU, tanto tipo 1 como tipo 2, mejora la capacidad de aislamiento térmico en todas las series realizadas, llegando a valores en torno a 0,17 W/m²C para adiciones del 20%. La disminución de la conductividad térmica se produce por la baja conductividad térmica del caucho y la modificación de la estructura porosa.

Las series que tienen una relación óptima entre disminución de densidad y conductividad térmica, son en ambos tipos de caucho aquellas con un contenido de hasta el ocho por ciento.

Estos resultados confirman que el nuevo material obtenido tiene las mismas posibilidades de uso de otros materiales convencionales de yeso ligero con propiedades térmicas mejoradas. Si además de estas propiedades consideramos la reducción a ruido de impacto resultaría adecuada su aplicación constructiva para soleras y capas de compresión sobre forjados en rehabilitación de edificios.

Dado que la morfología del material, no sólo el tamaño, influye en las propiedades térmicas de los compuestos estudiados, sería interesante analizarla de una manera más profunda en futuras investigaciones, tanto en las fibras de caucho tipo 1, como en las de tipo 2, para poder afinar las conclusiones.

Desde el punto de vista de la sostenibilidad medioambiental se consigue la reutilización de un material de difícil eliminación mediante su inclusión como una adición en la elaboración de conglomerantes utilizados en los materiales de construcción, mejorando algunas de sus propiedades.

REFERENCIAS

[1] Eldin, N. and Senouci, A.. "Rubber-Tire Particles as Concrete Aggregate." *J. Mater. Civ. Eng.*, (1993) 5(4), 478-496.

[2] Toutanji, H. A.. "The use of rubber tire particles in concrete to replace mineral aggregates". *Cement and Concrete Composites*, (1996). 18(2), 135-139.

[3] Fedroff, D., Ahmed S., Savas D.Z. "Mechanical properties of concrete with ground waste tire rubber". *Trans. Res. Rec.*, (1996). 1532, p. 66-72. [4] Khatib Z.K., Bayomy F.M.. "Rubberized Portland cement concrete". *Journal of materials in civil engineering*. (1999). Vol 11, 3, pp. 206-213.

[5] Khaloo, A. R., Dehestani, M., & Rahmatabadi, P. "Mechanical properties of concrete containing a high volume of tire-rubber particles". *Waste Management*, (2008), 28(12), 2472-2482.

[6] Segre, N., & Joekes, I. (2000). "Use of tire rubber particles as addition to cement paste". *Cement and Concrete Research*, 30(9), 1421-1425.

[7] Kunal Bisht, P.V. Ramana (2017). "Evaluation of mechanical and durability properties of crumb rubber concrete". *Construction and Building Materials* 155 (2017) 811-817.

[8] Giedrius Girskas a, Dz'igita Nagrockiene' (2017). "Crushed rubber waste impact of concrete basic properties". *Construction and Building Materials* 140 (2017) 36-42.

[9] Hernandez Olivares, F., Barluenga, G., Bollati, M., & Witoszek, B. (2002). "Static and dynamic behaviour of recycled tyre rubber-filled concrete". *Cement and Concrete Research*, 32(10), 1587-1596.

[10] Turatsinze, A., Bonnet, S., Granju, J.-L. (2005) "Mechanical characterisation of cement-based mortar incorporating rubber aggregates from recycled worn tyres" *Building and Environment*, 40

(2), 221-226.

[11] Benazzouk, A., Douzane, O., Mezreb, K., Laidoudi, B., Quéneudec, M., (2007). "Thermal conductivity of cement composites containing rubber waste particles: Experimental study and modelling". *Construction and Building Materials*, 22, 573-579.

[12] Meshgin, P., Xi, Y., & Li, Y. (2012). "Utilization of phase change materials and rubber particles to improve thermal and mechanical properties of mortar". *Construction and Building Materials*, 28(1), 713-721.

[13] Turgut, P., & Yeşilata, B. (2009). "Investigation of thermo-mechanical behaviors of scrap rubber added mortar plate and bricks. [Atik lastik katkili harç plak ve briketleri'nin termo-mekani'k davranışlarının araştırılması]" *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 24(4), 651-658.

[14] Sukontasukkul, P. (2009). "Use of crumb rubber to improve thermal and sound properties of pre-cast concrete panel". *Construction and Building Materials*, 23(2), 1084-1092.

[15] Flores Medina, D., Flores Medina, N. y Hernández-Olivares, F. (2013). "Static mechanical properties of waste rests of recycled rubber and high quality recycled rubber from crumbed tyres used as aggregate in dry consistency concretes". *Materials and Structure (MAAS)*, 47, p. 1185-1193.

[16] S. Herrero, P. Mayor, F. Hernández-Olivares. (2013). "Influence of proportion and particle size gradation of rubber from end-of-life tires on mechanical, thermal and acoustic properties of plaster-rubber mortars". *Materials and Design* 47(2013), 633-642.

[17] Garcia-Barruetabeña, J., Cortes-Martinez, F., Isasa-Gabilondo, I. (2014). study of the acoustic absorption properties made from ground tire rubbers. *DYNA*, 89(2). 236-242. DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/5710>

[18] Zeno Ghizda~vet, Bianca-Maria Stefan, Daniela Nastac, Ovidiu Vasile, Mihai Bratu (2016). "Sound absorbing materials made by embedding crumb rubber waste in a concrete matrix". *Construction and Building Materials* 124 (2016) 755-763.

[19] Hernandez Olivares, F., & Barluenga, G. (2004). "Fire performance of recycled rubber-filled high-strength concrete". *Cement and Concrete Research*, 34(1), 109-117.

[20] Turki, M., Bretagne, E., Rouis, M. J., & Quéneudec, M. (2009). "Microstructure, physical and mechanical properties of mortar-rubber aggregates mixtures". *Construction and Building Materials*, 23(7), 2715-2722.

[21] López-Zaldívar, O., Lozano-Díez, R., Herrero del Cura, S., Mayor-Lobo, P., Hernández-Olivares, F. (2017). "Effects of water absorption on the microstructure of plaster with end-of-life tire rubber mortars". *Construction and Building Materials*, 150, Pages 558-567.

[22] Vasconcelos, G., Lourenço, P.B., Camões, A., Martin, A., Cunha, S. (2015). "Evaluation of the performance of recycled textile fibres in the mechanical behaviour of a gypsum and cork composite material". *Cement & Concrete Composites* 58 (2015) 29-39.

[23] Flores Medina, N., Flores Medina, D., Hernández-Olivares, F., Navacerrada, M.A. (2017). "Mechanical and thermal properties of concrete incorporating rubber and fibres from tyre recycling". *Construction and Building Materials* 144 (2017) 563-573.