

PROPIEDADES TÉRMICAS, ACÚSTICAS Y MECÁNICAS DE PLACAS DE MORTEROS YESO-CAUCHO

Mayor, P.* (1); Bustamante, R. (2); Rangel, C. (2); Hernández-Olivares, F. (2)

(1) Departamento de Construcciones. EUAT de la Universidad Politécnica de Madrid

(2) Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas – ETS de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Madrid.

* pablomayor@upm.es

Abstract

This paper presents the main results of an investigation on composites plates of particulates crumbed rubber – plaster. Increasing volume fraction of rubber is added to the hemihydrated gypsum until 60%. The rubber-plaster composition is described. The physical and mechanical properties of the composite plates are measured in laboratory and compared with those of similar plates without rubber. Experimental measurements of the thermal conductivity and acoustic reduction coefficients –air sound and impact noise- of the plates are included too, in relation with their rubber content.

Keywords: Rubber-Plaster; thermal conductivity; acoustic reduction; air sound; impact noise; mechanical properties; physical properties.

Resumen

Se presentan los principales resultados de una investigación sobre la fabricación de losas de escayola, que incorporan crecientes fracciones volumétricas de polvo de caucho triturado procedente de neumáticos fuera de uso (NFU), hasta superar el 50% en volumen del producto final. Se describen las dosificaciones y las principales propiedades físicas y mecánicas de los productos obtenidos, comparándolas entre sí y con las de losas similares sin polvo de caucho. Se incluyen también medidas experimentales en laboratorio de la conductividad térmica y de la reducción del ruido aéreo y a impacto de estas losas, en función de su contenido en caucho.

Palabras clave: Escayola-caucho, propiedades acústicas, propiedades térmicas, propiedades mecánicas

1. Introducción

Esta investigación se elabora dentro de una línea general desarrollada por alguno de los autores sobre aplicaciones del polvo de caucho procedente de neumáticos fuera de uso (NFU) para la obtención de nuevos productos de construcción con propiedades mejoradas. Se aprovechan las características elásticas, baja densidad, compatibilidad con el cemento y estabilidad química del caucho de NFU, para explorar mejoras en morteros de cemento respecto de su capacidad de aislamiento acústico y térmico, disminuyendo al mismo tiempo la densidad y reduciendo la necesidad de utilizar otros componentes. Además, el uso del polvo de caucho en estos materiales incrementa su valorización.

Los trabajos publicados en esta línea de investigación sobre hormigones con partículas de caucho de NFU se refieren a las propiedades mecánicas de hormigones con partículas de caucho, sometidos a acciones estáticas y dinámicas, para diferentes temperaturas y frecuencias [1]; mejoras del comportamiento al fuego de hormigones de alta resistencia con fibras cortas de caucho reciclado de NFU [2], y diseño en fatiga de firmes de rodadura de hormigón-caucho [3].

Los resultados que aquí se presentan amplían las posibilidades del empleo del caucho reciclado de NFU al incorporarlo a placas de escayola que pudieran ser empleados como material de revestimiento, de nivelación, albañilería o prefabricación de placas y losas para particiones verticales y falsos techos, en obra nueva como en rehabilitación. La compatibilidad ya demostrada entre los conglomerantes inorgánicos y el caucho [1] asegura la durabilidad de estas nuevas aplicaciones.

La investigación se ha realizado en laboratorio, fabricando pequeñas losas de 50x25x2 cm³ y probetas de 4x4x16 cm³ para obtener las principales propiedades físicas, mecánicas, térmicas y acústicas. La elaboración de estas probetas es sencilla en laboratorio y versátil, de tal modo que permite comparar propiedades variando los contenidos de caucho mientras se mantiene constante el resto de componentes.

En lo que sigue se describe la composición de las muestras, los ensayos realizados y los detalles de un simple dispositivo experimental que ha permitido hacer una evaluación ajustada de la conductividad térmica y de la resistencia al ruido de impacto y aéreo, sobre las mismas placas que se emplearon posteriormente para medir propiedades mecánicas y físicas.

2. Materiales

En la confección de los morteros se ha usado solamente Escayola E-30, La Maruxiña (Alameda de la Sagra), polvo de caucho 0-1 mm nominal, fabricado por RENEAL (Guardo (Palencia)) procedente de NFU y cuya granulometría se indica en la tabla 1, y agua para el amasado.

Tabla 1: Granulometría del polvo de caucho reciclado.

Tamiz	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063	finos
Retenido (g)	0	0	0,30	294,38	122,45	32,34	4,04	0,38
%			0,06	64,50	26,83	7,08	0,88	0,08

Se han preparado dos tipos de probetas hechas con el mismo procedimiento de amasado, prismáticas de 4x4x16 cm³ para someterlas a ensayos físicos y mecánicos, y placas de 50x25x2 cm³, estas últimas hechas en moldes de tablero de melamina, para las mediciones térmicas y acústicas. Se desmoldaron al día siguiente, conservándose las probetas en condiciones de laboratorio a 20° C, antes de ser sometidas a ensayos 30 días después.

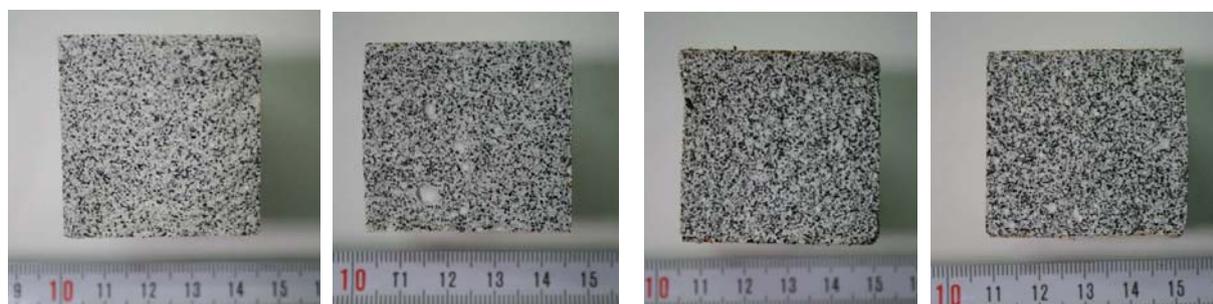


Figura 1.- Sección de las probetas según el porcentaje en peso del caucho en las pastas de escayola (20%, 30%, 40% y 50% de izquierda a derecha).

El porcentaje en peso del caucho respecto al peso de la escayola se fue incrementado, desde 0% hasta 50%, es decir que las probetas E-50 se componen de la mitad de escayola y la mitad de caucho. La relación agua/escayola para una consistencia plástica del amasado se encuentra dentro de los límites usuales del amasado de una pasta sin caucho. Cabe indicar que el exceso de agua que no necesita la escayola para su hidratación es retenido por el caucho, lo cual origina un secado lento de las placas.

Tabla 2: Materiales componentes en peso de los morteros de escayola-caucho

Componentes	EC0	EC20	EC30	EC40	EC50
% Escayola	100	80	70	60	50
% Caucho	0	20	30	40	50
Relación a/E	0,53	0,60	0,53	0,61	0,77

3. Ensayos

Los ensayos físicos y mecánicos se han realizado con los procedimientos habituales, de acuerdo a las normas UNE EN correspondientes, mientras que para los ensayos térmicos, a ruido aéreo y a impacto, se ha diseñado un ensayo propio para mediciones a pequeña escala, como se aprecia en la Figura 2. La caja de 35 cm de ancho x 70 cm de largo y 60 cm de alto, está forrada con Poliestireno extrusionado (XPS) de 5 cm, mas una placa interior de yeso laminado de 10 mm para evitar que se queme el XPS. Tiene dos recintos, separados por la placa a ensayar que se coloca al centro, embutida en unas acanaladuras hechas en las partes superior e inferior; con el recinto emisor y el recinto receptor a cada lado de la placa.

En el recinto emisor se coloca una fuente térmica de 60 W y un termómetro de bulbo seco y de bulbo húmedo, o un emisor de ruido rosa. El recinto receptor contiene un termómetro de bulbo seco y de bulbo húmedo, y un receptor de presión acústica, respectivamente, según los ensayos a realizar.

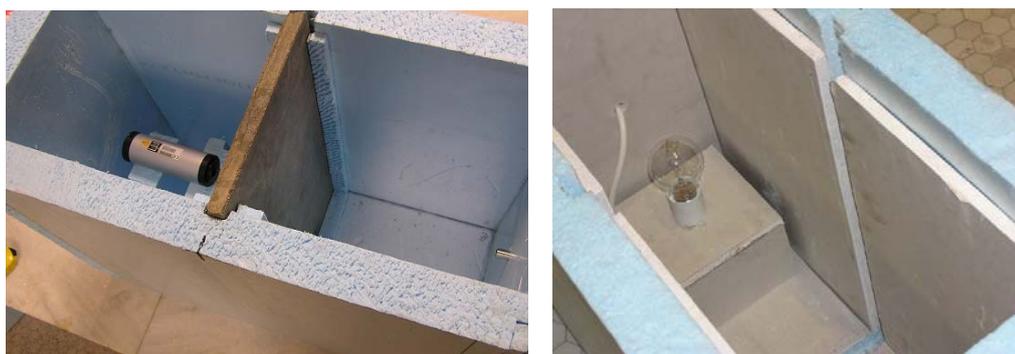


Figura 2.- Equipo para el ensayo de reducción de la presión sonora, aislamiento Térmico y atenuación a impacto. Para el aislamiento térmico se recubre el interior con placas de yeso laminado.

4. Resultados y discusión

4.1. Propiedades físicas

Se ha comprobado una reducción del 14% de la densidad a mayor adición de polvo de caucho, y una menor dureza superficial, cuyos resultados se indican en la tabla 3. Por otro lado, como se aprecia en la Figura 1, la adición de caucho origina una textura rugosa y ennegrece la pasta.

Tabla 3: Densidad aparente y dureza superficial Shore C

Placas según % de caucho en la mezcla	Densidad kg/m ³	Unidades Shore C
EC 0	1 145, 20	80
EC20	1 022, 40	63
EC30	1 134,00	75
EC40	1 110, 40	67
EC50	985,20	47

4.2. Aislamiento térmico

En este ensayo se empleó como fuente de calor una lámpara incandescente de 60 W colocada en el recinto emisor, cuyas mediciones se realizaron en intervalos de 30, 60 y 90 min. Se han medido las temperaturas seca y húmeda en los recintos emisor y receptor, transcurridos los tiempos indicados. El balance energético realizado en base a estas medidas incluye la disipación de energía térmica a través del cerramiento, la absorción de calor por los materiales del dispositivo experimental y el flujo resultante a través de las diferentes placas ensayadas.

En la Figura 3 se presentan los datos obtenidos tras elaborar las medidas para obtener las conductividades térmicas de las diferentes placas, en función de las diversas fracciones volumétricas de caucho resultantes de las dosificaciones indicadas. En cualquier caso se puede concluir que las placas de caucho aíslan térmicamente en una proporción de aproximadamente 4°C respecto a las placas que no tenían adición de caucho como se indica en la tabla 4. Por otro lado, se aprecia que aunque el salto térmico es mayor en el recinto emisor, hasta 13°C, en el recinto receptor varía de 1,5 °C a 4°C.

Tabla 4: Mediciones de T seca a 30, 60 y 90 min

Placa (% caucho)	Tiempo (min)	Recinto fuente de calor (°C)	Recinto receptor (°C)	Diferencia (°C)
EC 0%	30	34	22	12
	60	40	23	17
	90	43	24,5	18,5
EC 20%	30	35	23,5	11,5
	60	42	24,5	17,5
	90	46,5	27	19,5
EC 30%	30	34	21	13
	60	41	24	17
	90	47	25	22
EC 40%	30	31	20	11
	60	38	21,5	16,5
	90	42	23	19
EC 50%	30	37	24	13
	60	43	26	17
	90	50	28	22

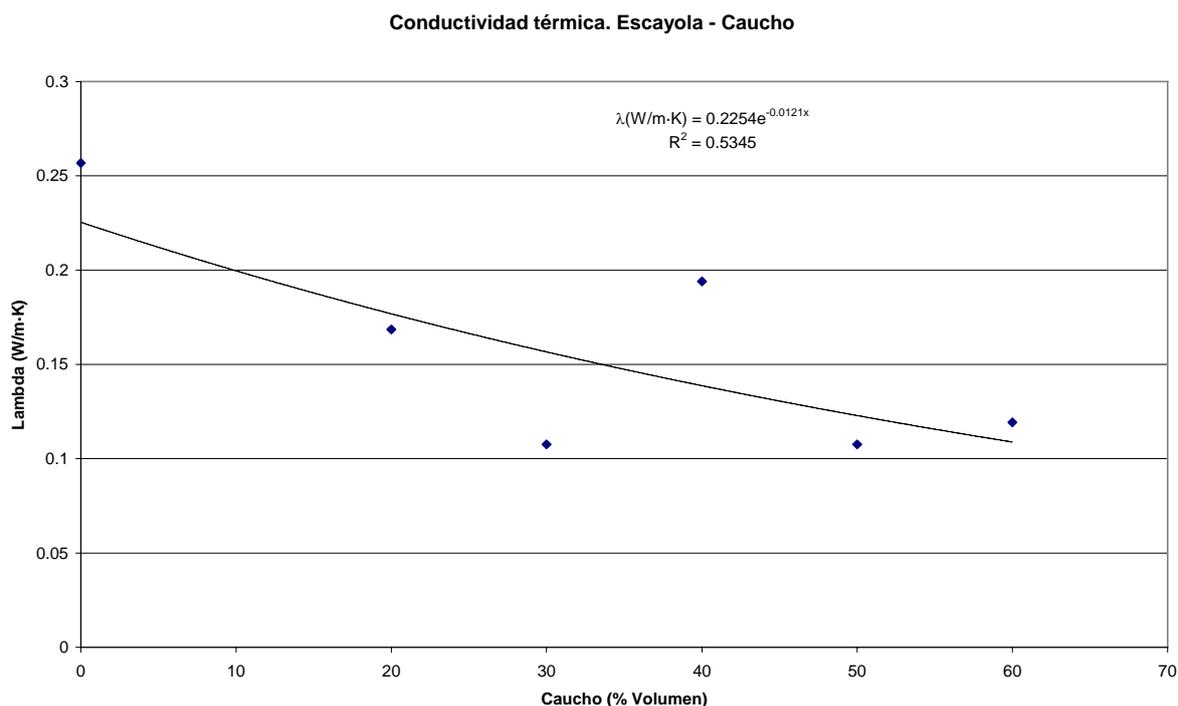


Figura 3.- Conductividad térmica de las placas de escayola-caucho, en función de la fracción volumétrica de escayola.

La tendencia exponencial sigue una ley que se ajusta con un valor de R^2 aceptable para este tipo de ensayos de estimación experimental de propiedades. La conductividad, en efecto, disminuye exponencialmente con el contenido en caucho, desde un valor máximo de 0.23 W/m·K de la placa de escayola sin caucho. Se adelanta una conclusión de que la adición de polvo de caucho hace disminuir la conductividad térmica de las placas de escayola, convirtiéndolas en aislantes térmicos para fracciones volumétricas de caucho del orden del 50% en volumen sobre el total de la placa.

4.3. Aislamiento acústico

4.3.1. Ruido aéreo

Los ensayos a ruido aéreo se realizaron con un sonómetro CESVA-Sc-2c, con las placas de 20x25 cm y de 2 cm de espesor. Teniendo en cuenta que la escayola es totalmente reflectiva, se puede apreciar que el caucho no ha contribuido a reducir el aislamiento al ruido aéreo como se aprecia en la tabla 5.

Tabla 5: Mediciones del nivel de presión sonora en de la placas escayola-caucho (emisión de salida 104 dBA a 1 Khz)

Prueba	Placa	Resultados (dBA)*							
		Medición 1		Medición 2		Medición 3		Promedio	
		Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
EC0	#11	68,8	68,3	68,3	68,3	68,3	68,4	68,47	68,33
EC20	#10	67,3	66,2	66,2	66,2	66,2	66,2	66,57	66,20
EC20	#1	65,8	65,8	66,0	65,5	65,7	65,4	68,50	65,83
EC30	#12	68,5	68,5	68,5	68,4	68,5	68,5	68,50	68,46
EC40	13	66,5	66,3	66,3	66,2	66,6	66,2	66,47	66,23
EC50	#14	53,0	52,8	53,2	53,1	53,3	53,2	53,17	53,03

Es decir, se cumple aproximadamente una ley de masas y debe concluirse que, en general, la adición de polvo de caucho a la escayola no aumenta su capacidad de reducción del ruido aéreo, sino que se mantiene una presión sonora similar a la recibida cuando la placa no contiene caucho.

Sin embargo, para valores muy altos de contenido en caucho, la reducción de la presión sónica medida es importante.

4.3.2. Ruido a impacto

El ensayo de ruido al impacto se realizó mediante una bola de acero de 113 g envuelta en una red, colocada a una altura de 23 cm y dejada caer por gravedad, por efecto pendular, desde el tabique opuesto a la placa de escayola. Los resultados se describen en la tabla 6, y se puede concluir que contrariamente a lo que se describe anteriormente en relación al ruido aéreo, las placas de escayola con caucho mejoran la capacidad de aislamiento frente a impacto. En particular, a partir de placas con adición del 40% y 50% en peso de caucho mejora notablemente el aislamiento a impacto en relación a la placa sin adición de caucho.

Tabla 6: Resultados del ruido a impacto mediante bola de acero

Prueba	Losa	Mediciones (dBA)*			Promedio
EC0	#11	113,7	114,1	113,2	113,67
EC20	#10	114,7	113,8	114,8	114,43
EC20	#1	109,2	113,1	111,6	111,30
EC30	#12	110,7	110,0	111,8	110,83
EC40	#13	108,8	107,3	107,1	107,73
EC50	#14	106,8	106,9	106,0	106,57

4.4. Propiedades mecánicas

La determinación del módulo de elasticidad dinámico se realizó mediante un equipo de ultrasonido (TICO), tanto en las probetas prismáticas como en las placas. Los resultados obtenidos en las probetas que se indican en la tabla 7, demuestran que el módulo de elasticidad y por consiguiente las resistencias a flexión y a compresión, disminuyeron a medida que aumentó la proporción de polvo de caucho en la masa.

Tabla 7: Módulo de elasticidad dinámico, resistencia a flexión y a compresión

Pruebas % de caucho en la mezcla	Módulo de elásticidad E(Gpa)	Resistencia a flexión N/mm2	Resistencia a compresión N/mm2
EC0	7,88	7,13	16,12
EC20	4,77	3,56	7,88
EC30	4,05	2,61	6,25
EC40	2,57	1,66	3,88
EC50	1,45	0,77	1,73

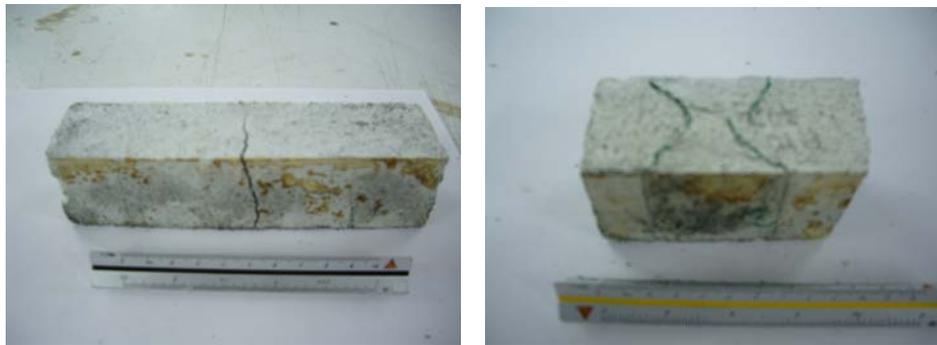


Figura 4.- Agrietamiento de las probetas de escayola-caucho EC20 después de los ensayos mecánicos a flexión y a compresión.

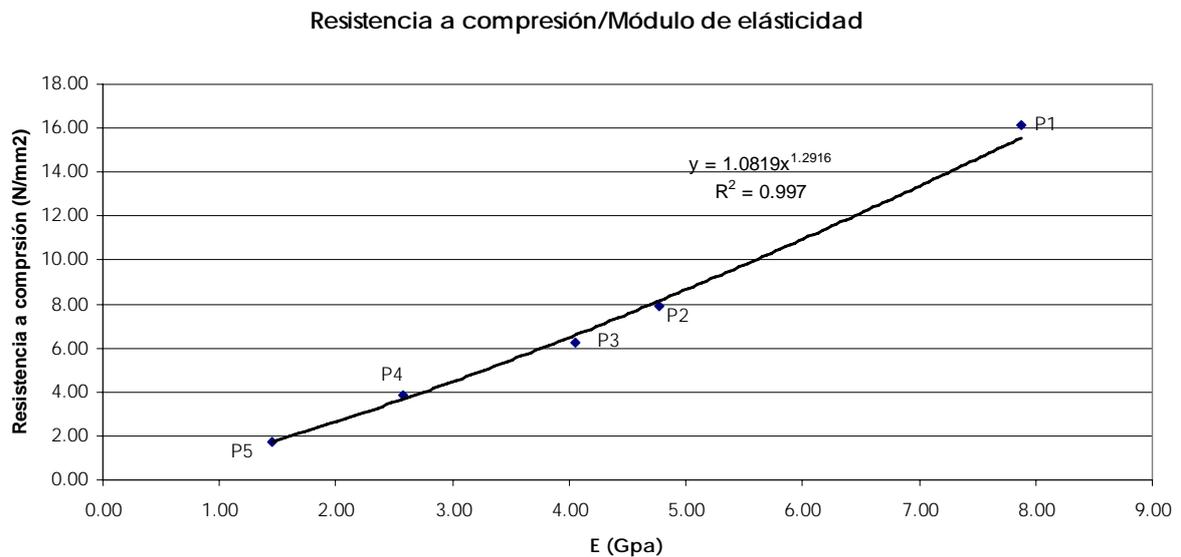


Figura 5.- Resistencia a compresión en relación al módulo de Young según las diversas cantidades de polvo de caucho añadido. P5 (EC50), P4 (EC40), P3 (EC30), P2 (EC20), P1 (EC0).

5. Conclusiones

- 5.1. El método de ensayo a pequeña escala ha demostrado que aporta suficiente información para determinar el comportamiento térmico y acústico de las placas diseñadas.
- 5.2. La adición de caucho a las placas de escayola no mejora su capacidad de reducción del ruido aéreo, sino que al contrario, las hace algo más permeables sónicas, para fracciones volumétricas de hasta un 50% de caucho en la placa.
- 5.3. Sin embargo, para fracciones volumétricas superiores al 60% de caucho en la placa, se produce un importante aumento de la capacidad de aislamiento al ruido aéreo de la placa de escayola-caucho.
- 5.4. Las placas de escayola con caucho son más resistentes a la transmisión de ruido procedente de impactos, lo que los hace adecuados para soleras y capas de compresión sobre forjados en particiones horizontales en rehabilitación de edificios.
- 5.5. La adición de polvo de caucho de NFU mejora la capacidad de aislamiento térmico de las placas de escayola, lo que los hace idóneos como materiales de revestimiento y pastas de agarre para mejorar el aislamiento térmico y a impacto.
- 5.6. La conductividad térmica de las placas de escayola disminuye exponencialmente si se adiciona polvo de caucho de NFU.

6. Referencias

- [1] F. Hernández-Olivares, G. Barluenga, M. R. Bollati, B. Witoszek, "Static and dynamic behaviour of recycled tyre rubber-filled concrete". **Cement and Concrete Research**, **32(10)** (2002) 1587-1596.
- [2] F. Hernández-Olivares, G. Barluenga. "Fire performance of recycled rubber-filled high-strength concrete" **Cement and Concrete Research**, **34(1)** (2004) 109-117.
- [3] F. Hernández-Olivares, G. Barluenga, B. Parga-Landa, M. Bollati, B. Witoszek. "*Fatigue Behaviour of Recycled Tyre Rubber-Filled Concrete and its implications in the Design of Rigid Pavements*" **Construction and Building Materials**, **21(10)** (2007), 1918-1927.
- [4] Benazzouk et al, *Physico-mechanical properties of aereated cement composites containing shredded rubber waste*. **Cement & Concrete Composites**, **28** (2006) 650-657.