

MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN LIGERO FABRICADO CON YESO Y RESIDUO DE POLIESTIRENO EXTRUIDO

¹*San-Antonio-Gonzalez, A.; ¹Del Rio Merino, M.; ¹Viñas Arrebola, M.; ¹Villoria Sáez, P.

¹Escuela Técnica Superior de Edificación, Universidad Politécnica de Madrid

Av. Juan de Herrera, 6 28040 Madrid, Spain

e-mail: *alicia.sanantonio@upm.es

RESUMEN

En España se consumen aproximadamente 3,2 millones de toneladas de polímeros sintéticos, de los cuales un 14,4% corresponde al sector de la construcción y de los residuos generados de este tipo de material un 55% es llevado directamente a vertedero, un 17% se redirige a valorización energética y sólo un 28% se recicla. El poliestireno extruido (XPS) es uno de los polímeros sintéticos más utilizados y en el sector de la construcción se emplea comúnmente como material aislante térmico, del cual en obra se genera un 5% de residuo en peso del total del material producido, lo que supone un elevado volumen de residuo dada su baja densidad. Este residuo no es biodegradable y por tanto su correcta gestión es imprescindible para reducir su impacto en el medio ambiente. Sin embargo, a pesar de existir técnicas de reciclado para el XPS, únicamente el 30% de sus residuos son reciclados en la actualidad, debido principalmente al elevado coste que tiene este proceso.

Por tanto, el objetivo de este estudio es analizar la viabilidad de reutilizar residuo de XPS, obtenido de planchas de aislamiento térmico, como agregado ligero en compuestos de yeso. Para ello se han confeccionado probetas con diferentes porcentajes de residuo y diferentes granulometrías, fijándose la relación agua/yeso en función de una trabajabilidad adecuada y se han analizado en función de su densidad, su dureza superficial, su resistencia mecánica a flexión y a compresión y su comportamiento térmico. Los resultados obtenidos muestran que es posible utilizar el residuo de XPS para aligerar compuestos de yeso, consiguiéndose reducir la densidad hasta en un 25,5% y mejorar la conductividad térmica en un 30%, valores acompañados de una significativa disminución de resistencia mecánica, pero manteniendo los requerimientos mínimos exigidos para este tipo de materiales.

Keywords: compuesto de yeso; material aligerado; residuo de poliestireno extruido; residuo de construcción y demolición; XPS.

1.- Introducción

Los polímeros sintéticos son una parte esencial de la sociedad moderna y su consumo no ha dejado de crecer en los últimos años, lo que ha conllevado a que el flujo de residuos procedente del uso de estos materiales sea cada vez mayor.

El poliestireno extruido (XPS) es uno de los polímeros sintéticos más utilizados en el sector de la construcción y su uso más común es como material aislante térmico. El uso de XPS en estas aplicaciones genera aproximadamente un 5% de residuos en peso sobre su producción total, lo que representa un gran volumen de material, dada su baja densidad.

Actualmente se reciclan menos del 30% de los residuos de XPS generados, debido principalmente al elevado coste de este proceso. Por tanto, el diseño de nuevas estrategias para conseguir elevar la tasa de reciclaje de este residuo es imprescindible. Existen investigaciones recientes que evalúan la posibilidad de incorporar residuos de diferentes tipos de polímeros sintéticos en materiales compuestos de construcción, destacando los estudios de:

- Karaman et al. [1] que estudiaron la viabilidad de incorporar residuos de PET procedentes de botellas de plástico en una matriz de yeso.
- Abdulkadir and Ramazan [2] que analizaron los efectos producidos al utilizar residuo de espuma de poliuretano como posible agregado ligero para el hormigón.
- Junco et al. [3], que determinaron las propiedades de diferentes mezclas de polvo de residuo de poliuretano con arena y cemento.
- Ge et al. [4], que investigaron la influencia del tamaño del árido, el ratio arena/PET y las condiciones de curado sobre las propiedades físicas y mecánicas de morteros de cemento con residuos de PET.

Sin embargo, después de un análisis profundo de los antecedentes existentes, no se ha encontrado ningún documento que haga referencia al uso de residuo de XPS en ningún tipo de material compuesto de construcción. Por tanto, en vista de todo lo anterior, el principal objetivo de esta investigación es el estudio de la viabilidad de incorporar residuo de XPS en una matriz de yeso para producir un nuevo material ligero de acuerdo con la normativa aplicable, que sirva como sustituto a los producidos con agregados como la perlita o la vermiculita que, además de ser caros, su producción consume gran cantidad de energía.

2.- Metodología

Para analizar la viabilidad de incorporar residuo de XPS en una matriz de yeso, se utilizaron los siguientes materiales:

Yeso Iberplast de Placo Saint Gobain, un yeso comercial caracterizado como B1 de acuerdo con la norma UNE EN 13279-1 [5].

Residuo de XPS procedente de material sobrante de aislamiento térmico obtenido de una obra de construcción local. Que dada la forma y tamaño inicial en que se presenta tuvo que ser previamente rayado y tamizado para obtener un tamaño de árido utilizable en un compuesto de yeso (1-2 mm, 2-4 mm y 4-6 mm), como puede verse en la figura 1.

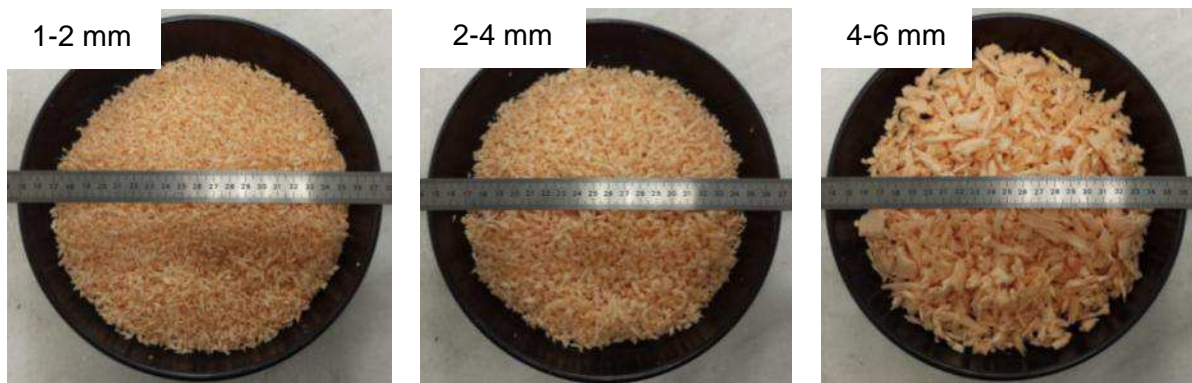


Fig. 1 “Diferentes granulometrías de residuo de XPS rayado y tamizado”

Con estos materiales se diseñó un plan de ensayos en función de las tres granulometrías de residuo de XPS y cuatro porcentajes de adición de residuo, como se presenta en la tabla 1. Los diferentes compuestos fueron caracterizados mediante probetas prismáticas (160x40x40) mm³ por su densidad en estado seco, su resistencia a flexión y a compresión, su dureza superficial Shore C y su comportamiento térmico, en comparación con un compuesto de referencia sin aditivos.

Las probetas se obtuvieron siguiendo la norma UNE EN 13279-2 [6] mediante la adición de residuo de XPS al agua para obtener una mezcla previa a la que añadir posteriormente el yeso. Esta mezcla final se amasa hasta obtener un compuesto homogéneo. Todas las probetas se curaron a temperatura de 24°C y humedad relativa de 50 ± 1% durante 7 días, posteriormente se secaron en estufa hasta masa constante a 40± 2°C y se enfriaron en atmósfera de laboratorio antes de los ensayos.

De acuerdo con la norma UNE-EN 13279-2:2014 [6], la resistencia a flexión se determina por la carga necesaria para romper la probeta prismática colocada sobre dos rodillos a una separación de 100 mm, y la resistencia a compresión se determina por la carga necesaria para comprimir cada una de las dos secciones resultantes de realizar el ensayo de resistencia a flexión. Por otra parte, según la norma UNE 102042:2014 [7] la dureza superficial Shore C se determina una fuerza dada a una barra que termina en un penetrómetro de forma troncocónica. La dureza Shore C se mide en unidades Shore C, desde el 0 (menor dureza) al 100 (mayor dureza). Por último, la conductividad térmica se midió en un caja térmica diseñada especialmente para calcular el flujo de calor producido por una fuente de calor constante ubicada en el interior de la caja y que pasa a través de una probeta prismática de medidas (300x300x30) mm³, localizada en una de las caras de la caja.

3.- Resultados y discusión

Los resultados se resumen en la tabla 1 y se detallan en mayor profundidad en los siguientes subcapítulos.

Compuesto	Porcentaje residuo (%)	Granulometría residuo XPS (mm)	Densidad (g/cm ³)	Dureza superficial Shore C	Resistencia a flexión (N/mm ²)	Resistencia compresión (N/mm ²)
Referencia	0	-	0,98	67,28	3,16	5,59
1A	1	4-6 mm	0,91	71,17	2,85	4,98
2A	2		0,84	57,33	2,21	3,06
3A	3		0,82	50,10	1,99	2,76
4A	4		0,73	44,03	1,54	1,84
1B	1	2-4 mm	0,95	63,03	2,79	4,64
2B	2		0,85	62,17	2,16	3,26
3B	3		0,84	56,10	2,07	2,78
4B	4		0,73	37,40	1,68	2,07
1C	1	1-2 mm	0,90	61,97	2,55	3,91
2C	2		0,88	60,03	2,32	3,15
3C	3		0,87	58,47	2,30	3,12
4C	4		0,81	57,67	1,98	2,66
1D	1	0,5%(4-6 mm)	0,93	70,27	2,82	4,76
2D	2		0,91	57,67	2,80	3,96
3D	3		0,77	47,20	2,01	2,68
4D	4		0,74	32,37	1,58	1,71
1E	1	0,75%(4-6 mm) 0,25%(1-2 mm)	0,92	61,07	2,76	4,93
2E	2		0,84	57,20	2,37	3,68
3E	3		0,79	53,07	2,06	2,77
4E	4		0,69	33,93	1,33	1,47
1F	1	0,5%(2-4 mm) 0,5%(1-2 mm)	0,91	64,00	2,47	4,36
2F	2		0,87	57,53	2,51	3,85
3F	3		0,82	55,00	2,38	3,16
4F	4		0,74	32,37	1,58	1,71
1G	1	0,75%(2-4 mm) 0,25%(1-2mm)	0,97	68,73	2,89	5,64
2G	2		0,86	52,93	2,33	4,01
3G	3		0,80	50,80	2,10	2,99
4G	4		0,69	28,80	1,45	1,65

Tabla 1 “Resultados de laboratorio”

3.1.- Densidad

Como se puede ver en la tabla 1, con la incorporación de residuo de XPS se puede conseguir reducir la densidad entre 1,02% y 29,59%, obteniéndose una menor densidad cuanto mayor es el porcentaje de residuo incorporado. Esto se puede deber al incremento de porosidad del material debido a la estructura celular del XPS [8] o a la sustitución parcial de yeso por el agregado ligero [9]. De hecho, como se puede ver en la figura 2, el efecto del porcentaje de residuo afecta a su distribución dentro de la matriz del yeso; al utilizar porcentajes de adición hasta el 2% el residuo flota, mientras que al incorporar mayores porcentajes de residuo el tiempo de fraguado es menor, consiguiéndose una distribución más homogénea.



Fig. 2 “Sección de una muestra con 1% de residuo de XPS de 2-4 mm (izquierda) y una muestra con 4% de residuo de XPS de 2-4 mm (derecha)”

Por otra parte, como se puede ver en la figura 3, los resultados obtenidos para las diferentes combinaciones de tamaño de residuo tienen un comportamiento similar dependiendo del porcentaje de XPS que incorporan, aunque cabe destacar que el uso del residuo de XPS más fino (1-2 mm) tiene un menor efecto sobre la densidad.

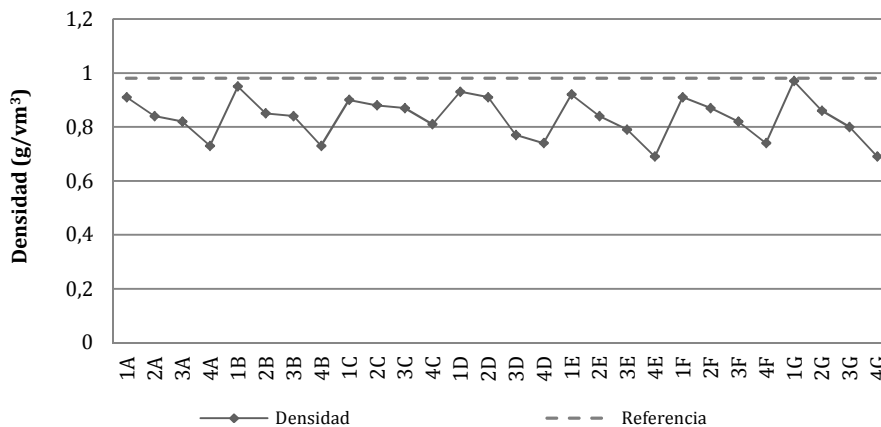


Fig. 3 “Resultados de densidad”

3.2.- Resistencia mecánica

La tabla 1 muestra los resultados de resistencia para todos los compuestos y todos ellos superan la resistencia a flexión mínima exigida por normativa, establecida en 1 N/mm². Como se puede observar en estos resultados, el porcentaje de residuo de XPS afecta a la resistencia a flexión de forma negativa. Esto se puede deber a la relación ya conocida entre la densidad y la resistencia para compuestos aligerados [10], ya que como se ve en los resultados el factor de porcentaje de residuo afecta tanto a la densidad como a la resistencia, la cual se ve reducida entre 8,54% y 57,91%. La combinación de estas dos variables, densidad y resistencia a flexión se puede ver en la figura 4. En esta figura se observan tres grupos de muestras diferenciados: a la izquierda, el primero con una menor densidad y resistencia a flexión, formado por los compuestos con un 4% de residuo. A la derecha, el segundo grupo, con los valores más altos de densidad y resistencia a flexión, formado por los compuestos con un 1% de residuo. Y por último el tercer grupo, en el medio, formado por el resto de compuestos. De este grupo cabe destacar el compuesto 3F, que es el único compuesto que tiene menor densidad y una mayor resistencia a

flexión que la media de todos los compuestos y el compuesto 2E que se encuentra muy cercano a los resultados obtenidos por el compuesto 3F.

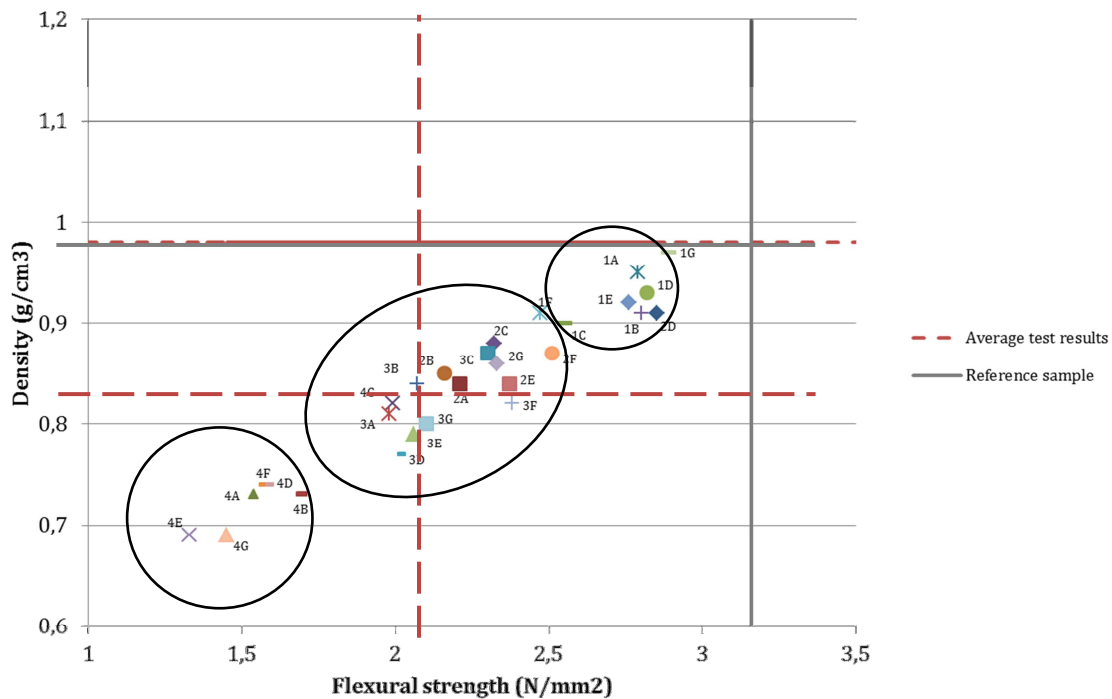


Fig. 4 “Gráfico de densidad-resistencia a flexión”

Por otra parte, con respecto a los resultados para la resistencia a compresión, se observa que esta disminuye entre 11 y 74% con la incorporación del residuo, siendo mayor esta reducción cuanto más alto es el porcentaje de residuo incorporado. Además, cabe destacar que la mayoría de los compuestos que incorporan un 4% de residuo no cumplen los requerimientos mínimos exigidos por la norma UNE-EN 13279 respecto a resistencia a compresión, que exige un mínimo de 2 N/mm².

De la combinación de la densidad y la resistencia a compresión en un mismo gráfico se observa de nuevo que los compuestos se organizan en tres grupos dependiendo del porcentaje de residuo y que los resultados más óptimos son los obtenidos por los compuestos 3F y 2E (figura 5).

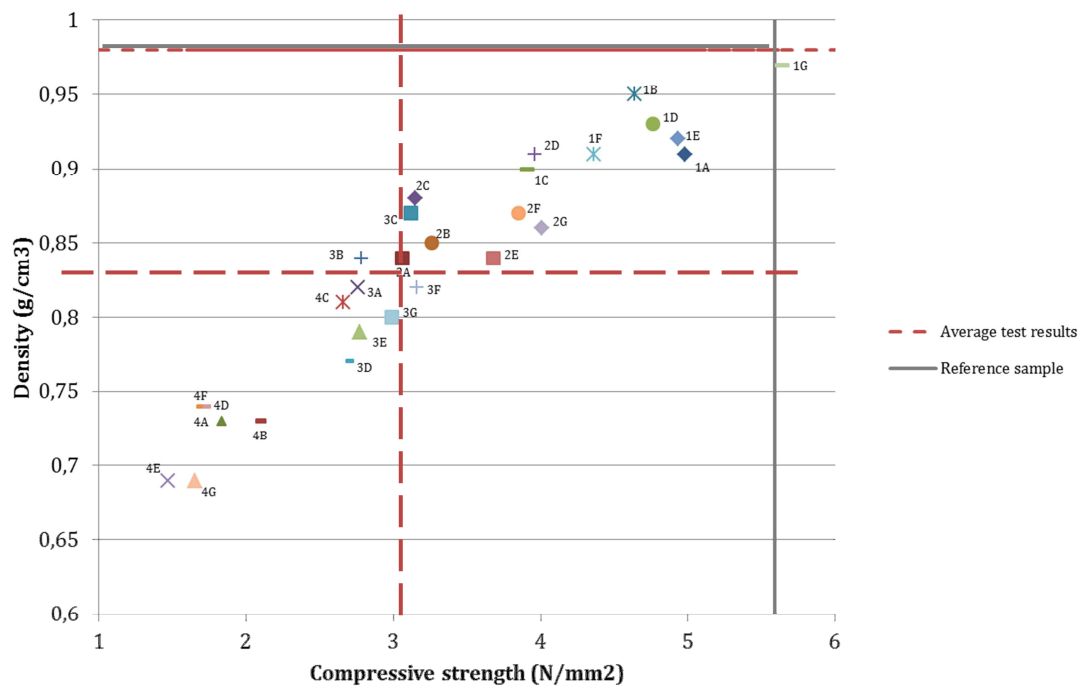


Fig. 5 “Gráfico de densidad-resistencia a compresión”

3.3.- Dureza superficial Shore C

Los resultados que se muestran en la tabla 1 indican que cuanto mayor es el porcentaje de residuo de XPS incorporado, menor es la dureza superficial Shore C del compuesto. Esto se puede deber a la presencia de residuo de XPS cerca de la superficie de las probetas. Todos los compuestos presentan una elevada rugosidad superficial, especialmente aquellos que incorporan residuo de tamaño grueso (4-6 mm) o medio (2-4 mm). Esta rugosidad puede afectar a la dureza superficial, ya que la medida de la dureza superficial sobre partículas de residuo de XPS es nula.

3.4.- Conductividad térmica

En la tabla 2 se resumen los resultados de conductividad térmica para los compuestos elaborados con las principales granulometrías: (4-6 mm), (2-4 mm) y (1-2 mm), y se observa que sus valores de conductividad térmica se encuentran entre 1,4% y 37,6% por debajo del valor de referencia. Estudios previos indican que existe una correlación entre la densidad y la conductividad térmica en compuestos de yeso aligerados, indicando que cuanto mayor es la proporción de residuo incorporado, menor es la densidad y conductividad térmica [11] y [12]. En la figura 6 se muestra un gráfico de la combinación de densidad y conductividad térmica donde se observa que esta correlación se cumple para las granulometrías más gruesas (4-6 mm) y (2-4 mm), mientras que para la granulometría más fina (1-2 mm) el cambio de porcentaje de residuo no afecta de forma significativa.

Compuesto	Porcentaje residuo (%)	Granulometría residuo (mm)	Conductividad térmica (W/mK)
Reference	0	-	0,300
1A	1	4-6 mm	0,238
2A	2		0,230
3A	3		0,194
4A	4		0,187
1B	1	2-4 mm	0,243
2B	2		0,238
3B	3		0,198
4B	4		0,189
1C	1	1-2 mm	0,296
2C	2		0,277
3C	3		0,277
4C	4		0,274

Tabla 2 “Resultados de conductividad térmica”

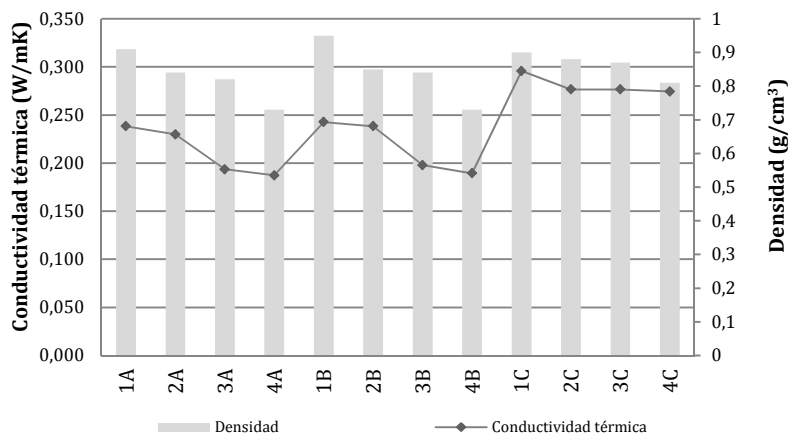


Fig. 6 “Gráfico de densidad-conductividad térmica”

4.- Conclusiones

En este estudio se investiga el efecto que el residuo de poliestireno extruido tiene en las principales propiedades de un compuesto de yeso. De este estudio se han obtenido las siguientes conclusiones:

- La distribución homogénea del residuo de XPS depende del porcentaje de residuo y del tiempo de fraguado. A mayor cantidad de residuo, menor tiempo de fraguado y distribución más homogénea.
- La progresiva incorporación de residuo de XPS en una matriz de yeso supone una reducción en la densidad hasta un 29,59%.
- Los residuos de XPS en compuestos de yeso crean una rugosidad superficial que afecta a la dureza superficial Shore C de forma negativa y que se incrementa cuanto mayor es el porcentaje de residuo incorporado.
- Una menor densidad obtenida al incorporar altos porcentajes de residuo de XPS supone una reducción de la resistencia a flexión hasta el 57,91% y de la resistencia a compresión hasta el 74%. Además, los compuestos que incorporan más de un 3% de este residuo no cumplen los requerimientos mínimos de la norma en cuanto a resistencia a compresión

- La incorporación de altos porcentajes de residuos de XPS de granulometría 4-6 mm y 2-4 mm permite reducir la conductividad térmica hasta en un 37,6%.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Placo Saint Gobain por facilitarles los materiales necesarios para la realización de los ensayos llevados a cabo en esta investigación.

REFERENCIAS

- [1] Karaman, S., Sahin, S., Gunal, H., & Orung, I. (2006). Stabilization of waste pet bottles with Gypsum. *J Appl Sci*, 6(5), 1119-1122.
- [2] Abdulkadir, K., & Ramazan, D. (2009). A novel material for lightweight concrete production. *Cement Concrete Comp*, 31, 489-495.
- [3] Junco, C., Gadea, J., Rodriguez, A., Gutierrez-Gonzalez, S., & Calderon, V. (2012). Durability of lightweight masonry mortars made with white recycled polyurethane foam. *Cement Concrete Comp*, 34(10), 1174-1179.
- [4] Ge, Z., Sun, R., & Zhang, K. (2013). Physical and mechanical properties of mortar using waste Polyethylene Terephthalate bottles. *Constr Build Mater*, 44, 81-86.
- [5] AENOR. (2009). UNE-EN 13279-1:2009 Gypsum binders and gypsum plasters. Definitions and requirements. Madrid: AENOR.
- [6] AENOR. (2014). UNE-EN 13279-2:2014 Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 2: Métodos de ensayo. Madrid: AENOR.
- [7] AENOR. (2014). UNE 102042:2014 Yesos y escayolas de construcción. Otros métodos de ensayo. Madrid: AENOR.
- [8] Del Río Merino, M., Domínguez, J., & Hernández Olivares, F. (1998). Escayola aligerado con sólidos celulares. *Inf Constr*, 50(458), 11/12.
- [9] Serna, Á., del Río Merino, M., Palomo, J., & González Cortina, M. (2012). Improvement of gypsum plaster strain capacity by the addition of rubber particles from recycled tyres. *Constr Build Mater*, 35, 633-641.
- [10] Laukaitis, A., Zurauskas, R., & Keriene, J. (2005). The effect of foam polystyrene granules on cement composite properties. *Cement Concrete Comp*, 27, 41-47.
- [11] Gutierrez-Gonzalez, S. et al. (2013). Rheological behaviour of gypsum plaster pastes with polyamide powder wastes. *Construction and Building Materials*, 38, 407-412.
- [12] Vimmrová, A., Keppert, M., Svoboda, L. & Černý, R. (2011). Lightweight gypsum composites: Design strategies for multi-functionality. *Cement and Concrete Composites*, 33(1), 84-89.