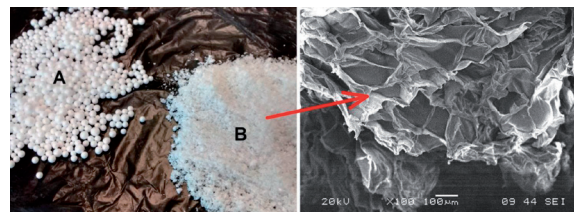


Análisis de la viabilidad de elementos prefabricados para particiones con yeso y EPS procedente del reciclaje



Analysis of the viability of prefabricated elements for partitions manufactured with plaster and eps from waste recycling



Jaime Santa-Cruz-Astorqui, Mercedes Del-Río-Merino, Paola Villoria-Sáez y César Porras-Amores

Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Edificación, Grupo de investigación TEMA. Avda. Juan de Herrera, 6 - 28040 Madrid.

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/8984> | Recibido: 25/09/2018 • Inicio Evaluación: 27/09/2018 • Aceptado: 11/04/2019

ABSTRACT

• The objective of this paper is to study the viability of the use of gypsum with expanded polystyrene (EPS) from recycling to manufacture elements for the construction of interior partitions. This paper presents several proposals blocks for inner partitions made with gypsum and EPS from construction and demolition waste, as well as summarizing the results obtained in the different tests carried out to verify their mechanical behavior and in this way compare them with similar construction elements that are currently commercialized.

In this work, carried out under the Waste to Resources (W2R) project, different block solutions are studied, all based on a sandwich panel system, in which the outer faces of the block are formed by a 6 mm thick gypsum board, enclosing a core formed with a low density material, and therefore, high deformability.

• **Key words:** Construction and Demolition Waste; Partition; Gypsum; Sustainable Constructions; Recycling.

RESUMEN

El objetivo de este artículo es el estudio de viabilidad de la utilización de yeso con poliestireno expandido (EPS) reciclado para fabricar elementos para la construcción de particiones.

Por ello, se presentan varias propuestas de bloques para particiones realizados con yeso y EPS procedente de residuos de construcción y demolición, así como se resumen los resultados obtenidos en los distintos ensayos realizados para comprobar su comportamiento mecánico y de esta manera compararlos con elementos constructivos similares que se comercializan en la actualidad.

El trabajo, realizado en el ámbito del proyecto Waste to Resources (W2R), estudia bloques basados en un sistema sándwich en el que las caras externas se forman por placas de YL de 6 mm, encerrando un núcleo a base de material aligerado de baja densidad, y por tanto, gran deformabilidad.

Palabras clave: Residuos de construcción y demolición; Particiones; Yeso; Construcción sostenible; Reciclaje.

1. INTRODUCCIÓN

El sector de la edificación es consciente de la necesidad de reducir el consumo masivo de materia prima, fundamentalmente áridos, así como de la reducción del consumo de energía y las emisiones que la fabricación de dichos materiales genera, en base al

gran impacto medioambiental que generan los edificios a lo largo de todo su ciclo de vida [1] [2].

Son numerosas las investigaciones sobre la definición de nuevos materiales con criterios de economía circular, como son los estudios de Gutierrez-González [3] sobre la utilización de los residuos de la industria del automóvil en conglomerantes, los estudios de Serna [4] sobre la utilización de los residuos de neumáticos fuera de uso, o el estudio de Leiva [5] sobre la utilización de los residuos de la cáscara del arroz en una matriz de escayola.

También son muchas las investigaciones que utilizan los residuos de construcción demolición (RCD) como materia prima, como los estudios de Puertas [6], Mercader Moyano [7] y Romaniega [8], así como los estudios de González-Madariaga [9] o San-Antonio-González [10] sobre la utilización de poliestireno expandido/extruido (EPS/XPS) en matriz de escayola.

La conclusión general en dichos estudios es que con la sustitución de parte de la materia prima por residuos, se reduce la densidad del nuevo material y ello va asociado a una reducción importante de la resistencia mecánica y la dureza superficial.

En este artículo se presentan parte los resultados del estudio realizado sobre la viabilidad de la utilización de yeso con cargas de EPS obtenido por trituración de envases desechados en obra, para fabricar elementos para la construcción de particiones. El trabajo se ha realizado por el grupo TEMA (E.T.S. de Edificación, UPM), en el ámbito del proyecto Waste to Resources (W2R). [16]

La elección de elementos para particiones siguiendo el sistema albañil [11], más propio de la construcción mediterránea, se fundamenta en que tienen mayor espesor que los elementos basados en el sistema carpintero, y por lo tanto una mayor inercia térmica, mejorando por ello el confort térmico de los usuarios.

La elección del yeso como material base de dichos elementos, se debe a su menor impacto medioambiental en relación a los materiales cerámicos o el cemento [12], además de permitir la continuidad de los trabajos realizados por los autores [11, 13, 14].

2. OBJETIVOS

En el presente trabajo se propone diferentes tipos de bloques para particiones bajo las siguientes premisas:

- Mantener el sistema "albañil" en sus versiones de bloques y de paneles suelo-techo, dada la fácil adaptación a todo tipo de distribuciones interiores.
- Aligerar el peso de las piezas para aumentar su tamaño y el rendimiento de mano de obra en su colocación.

- Utilizar como material base la mayor cantidad posible de residuo de EPS procedente de la demolición, reduciendo así la cantidad de yeso.
- Reducir la rigidez a compresión de las piezas para evitar su fisuración.
- Incluir caras exteriores que permitan el pintado directamente, evitando así el posterior guarnecido y enlucido.

3. METODOLOGÍA

Para conseguir estas premisas, se opta por diseñar una configuración en sándwich, que permite aligerar el núcleo reforzando las caras externas, reduciendo de esta forma el peso del conjunto y manteniendo buenos valores de resistencia a la flexión. La gran deformabilidad del núcleo, debe asegurar la integridad del mismo después de la aparición de fisuras en las caras externas provocadas por cargas de compresión (no deseadas en particiones). La configuración en sándwich, facilita a su vez el machihembrado de los cantos, facilitando así el montaje y alineación de las caras de las piezas.

La utilización de la simulación numérica por elementos finitos ha sido utilizada en otros trabajos de los autores [17, 18] para la evaluación del comportamiento mecánico de una partición ante deformaciones de la estructura.

Los parámetros básicos utilizados en las simulaciones realizadas son: Software Straus7; Elementos tipo brick-Hexa8 de dimensión máxima 100 mm; Análisis no lineal estático con 10 incrementos de carga; Unión entre tabique y estructura por elementos de contacto -solo compresión y rozamiento-; Material no lineal en tabique definido a partir de la curva de tensión-deformación obtenida en ensayos de compresión.

La figura 1 representa la deformación de un tabique tipo en diferentes supuestos de deformación estructural: Se ha establecido un pórtico de H.A. de 5 m de luz y 3 m de altura, con cargas

que producen una flecha excesiva de L/300 (16,6 mm) y/o una flecha aceptable de L/500 (10 mm) de forma alterna en las vigas inferior y superior. La figura representa el mapa de color de las deformaciones a compresión del tabique, en una horquilla de 0 a 0,0095 (9,5 ‰):

El valor máximo de deformación a compresión (9,5 ‰) aparece en la esquina inferior izquierda del caso 3, aunque es el caso 1 el que provoca mayores deformaciones en la zona intermedia del tabique (entre 2,0 ‰ y 4,5 ‰). Estos valores son orientativos, pero nos permiten acotar los valores mínimos de deformación en rotura de las piezas propuestas.

3.1. DISEÑO DE PROTOTIPOS

Los modelos propuestos se basan en un sistema sándwich con placas de placas de yeso laminado (PYL) de 6 mm de espesor, con un núcleo de muy bajo peso de 88 mm de espesor.

El aligeramiento del núcleo se consigue mediante la utilización de un material muy ligero, y la formación de huecos en el núcleo.

La Figura 2 muestra las diferentes configuraciones realizadas: B1-BG1: Núcleo macizo homogéneo de baja densidad.

B2-BG2: Núcleo alveolado. Los alveolos verticales, permiten la introducción de tubos flexibles para las instalaciones eléctricas por pared.

B3-BG3: Costillas con relleno muy ligero. Esta configuración es la que produce menor peso [19].

Sobre la base de la configuración de los bloques de gran formato, se proponen paneles suelo-techo de 60x260x10 cm. Estos paneles forman una de las futuras líneas de investigación.

3.2. MATERIALES UTILIZADOS EN LOS BLOQUES PROPUESTOS

Placas externas: PYL de 6 mm de espesor. Su bajo espesor permite reducir su peso (y coste) sin reducir la cantidad de cartón,

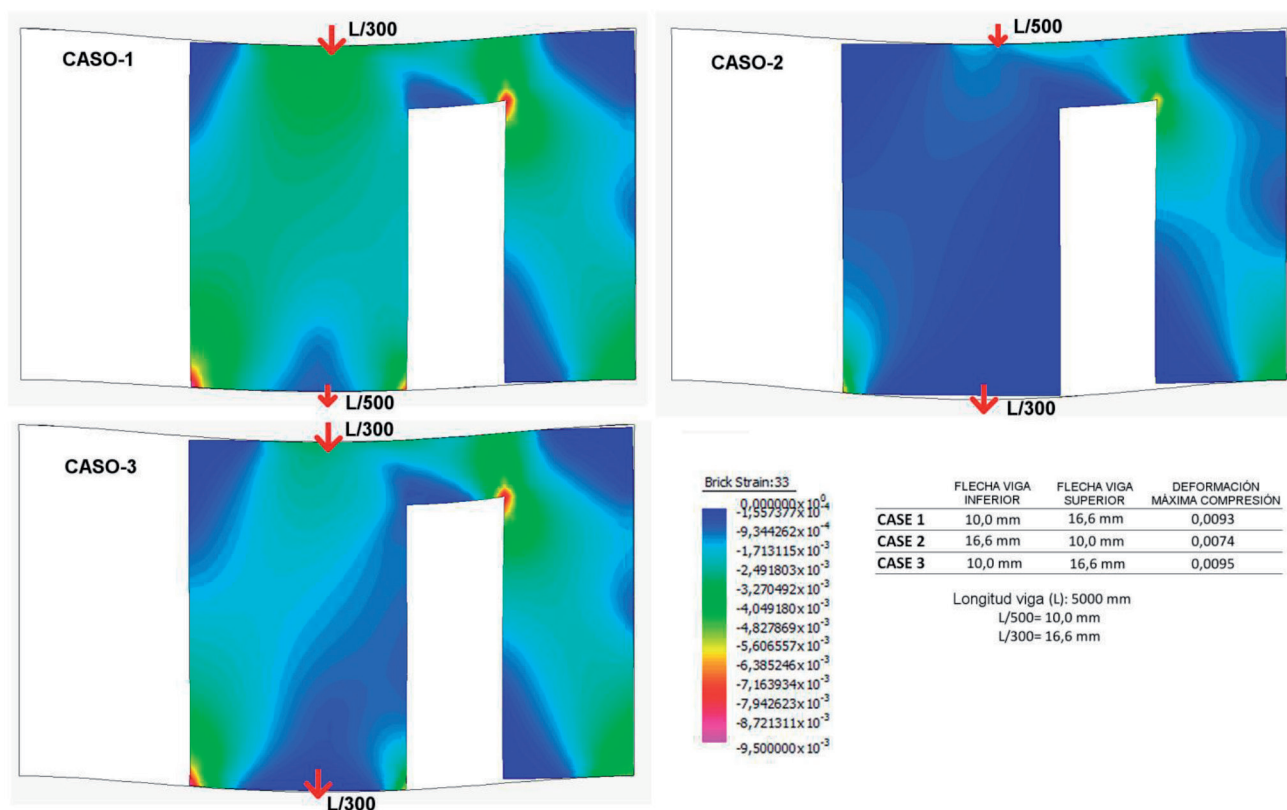


Fig. 1: Deformación de un tabique por flecha excesiva del marco estructural (Straus7)

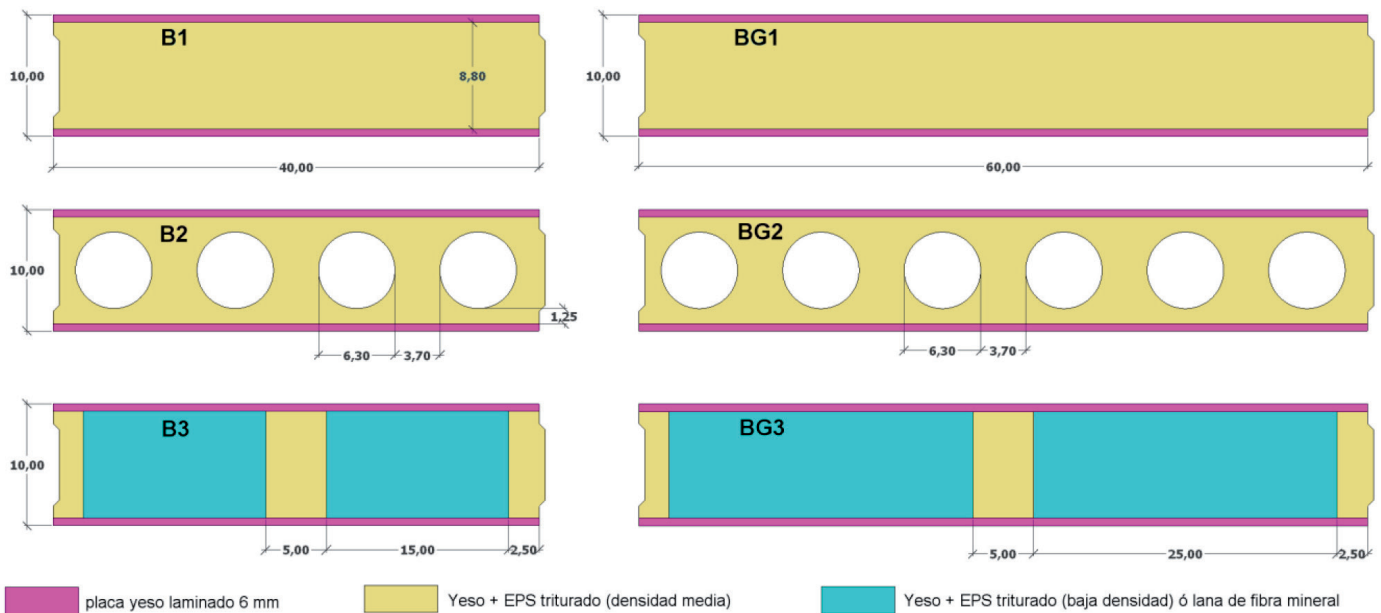


Fig. 2: Geometría de bloques (B) de 40x20x10 cm, y bloques de gran formato (BG) de 60x30x10 cm

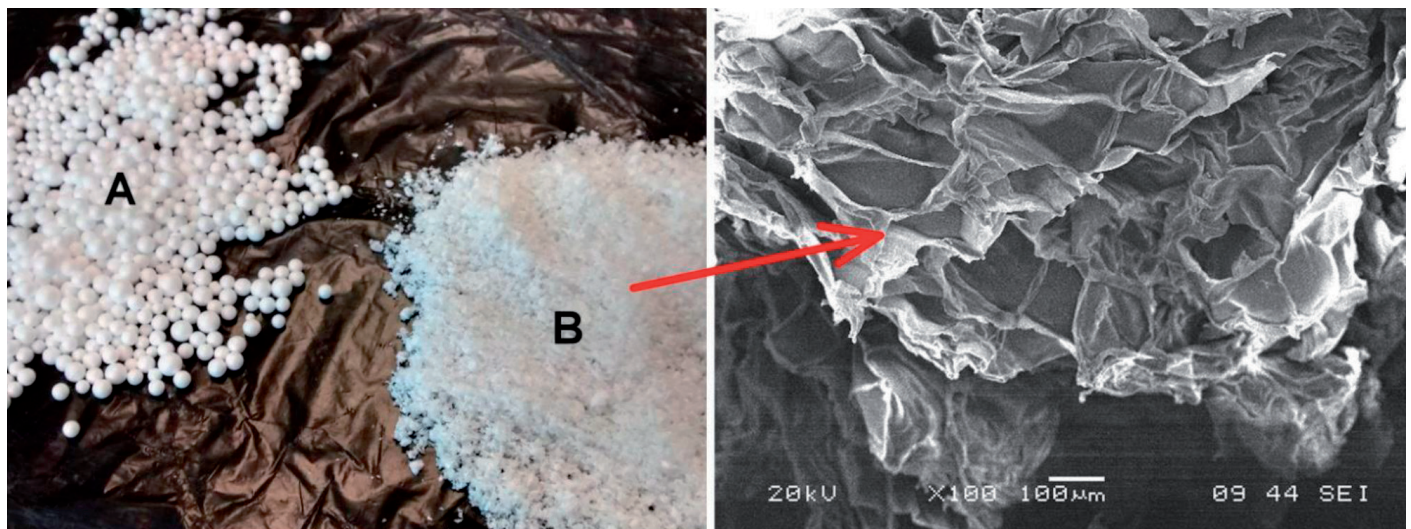


Fig. 3: EPS triturado por machaqueo (A) y por raspado (B), y Microscopía de (B) [foto: Verónica Calderón Carpintero, Escuela Politécnica Superior de Burgos]

vital para absorber los esfuerzos de tracción en el plano de la placa producidos en diferentes situaciones de deformación del marco estructural en que se apoya el tabique, así como en fenómenos de flexión.

Núcleo: Yeso con diferentes proporciones de adición de EPS triturado, llegando a obtener densidades de 0,281 t/m³. Las características principales de este material son su baja densidad y su alta deformabilidad, ambas necesarias para obtener suficiente aislamiento térmico y buen comportamiento ante la deformación.

En los estudios [7, 9, 10, 18, 20] sobre utilización de EPS, el triturado se obtiene por machaqueo de las piezas de EPS, que produce las perlas que originariamente conformaron dicha pieza. Este triturado tiene el inconveniente de la flotabilidad cuando se incorpora al yeso, lo que limita el porcentaje de adición a un 3 % en peso sobre yeso. Porcentajes mayores, producen mezclas no homogéneas.

Para evitar la flotación, se ha utilizado un sistema de trituración por raspado. Este sistema, produce escamas de EPS de mayor densidad aparente que las perlas y de menor tamaño (figura 3 izquierda). Este factor, unido a la gran rugosidad de la superficie de las escamas (figura 3 derecha), elimina la flotación permitiendo

altos porcentajes de adición (hasta un 15 %), y resultando amasadas muy homogéneas. Las proporciones de A/Y utilizadas producen amasadas suficientemente fluidas como para posibilitar el relleno de los moldes por gravedad. El EPS triturado empleado, pasa el tamiz de 2 mm en un 90 %. Las escamas que retiene el tamiz de 4 mm también se incorporan a la masa.

La Tabla 1 muestra las densidades obtenidas para las diferentes dosificaciones:

	EPS % peso s/ YG	Relación Agua/yeso	Densidad g/cm ³
YG+EPS	4	0,80	0,753
	5	1,55	0,455
	10	1,55	0,376
	15	1,55	0,281

Tabla 1: Dosificación y densidades de los diferentes materiales

3.3. CONFECCIÓN DE PROTOTIPOS

Con el objeto de estudiar los prototipos y comparar sus características con un tabique tradicional de ladrillo hueco doble

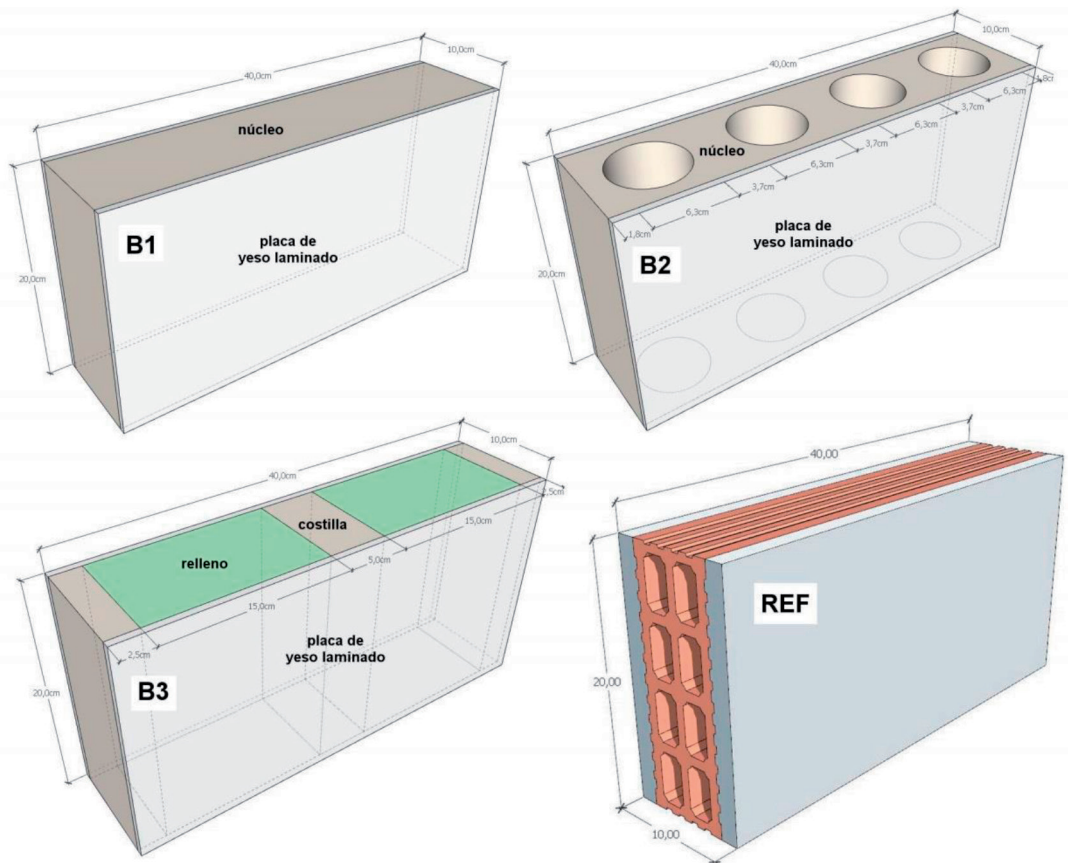


Fig. 4: Bloque sándwich con núcleo macizo (B1), alveolado (B2), con costillas (B3) y bloque de referencia (REF)

guarnecido de yeso por ambas caras, se han realizado una serie de probetas (Figura 4) con un tamaño estándar (40x20x10 cm):

B1. Bloque sándwich con núcleo macizo (Fig. 4 izquierda)
Placas externas: placa de yeso laminado de 6mm. Peso: 1012 g
Volumen núcleo: 7040 cm³

Bloque B1a

Núcleo: Yeso Grueso (A/Y= 1,55) + Triturado EPS 5 % en peso
Peso bloque: 4218 g (52,7 kg/m²)
Peso núcleo: 3206 g (densidad: 0,455)

Bloque B1b

Núcleo: Yeso Grueso (A/Y= 1,55) + Triturado EPS 10 % en peso
Peso bloque: 3659 g (45,7 kg/m²)
Peso núcleo: 2647 g (densidad: 0,376)

B2. Bloque sándwich con núcleo alveolado (Fig. 4 derecha)

Placas externas: placa de yeso laminado de 6mm. Peso: 1012 g
4 alveolos de Ø=6,3 cm
Volumen núcleo: 4549 cm³

Bloque B2a

Núcleo: Yeso Grueso (A/Y= 0,8) + Triturado EPS 4 % en peso
Peso bloque: 4437 g (55,5 kg/m²)
Peso núcleo: 3425 g (densidad: 0,753)

Bloque B2b

Núcleo: Yeso Grueso (A/Y= 1,55) + Triturado EPS 5 % en peso
Peso bloque: 3326 g (41,6 kg/m²)
Peso núcleo: 2314 g (densidad: 0,508)

B3. Bloque sándwich con costillas (Fig. 5 izquierda)

Placas externas: placa de yeso laminado de 6 mm. Peso: 1012 g
Costillas: Yeso Grueso (A/Y= 0,8) + Triturado EPS 4 % en peso
Volumen costillas: 1760 cm³

Bloque B3a

Relleno entre costillas: manta de fibra mineral proveniente de reciclaje

Peso bloque: 2337 g (29,21 kg/m²)
Peso costillas: 1325 g (densidad: 0,753)

Peso relleno: nulo

Bloque B3b

Relleno entre costillas: Yeso Grueso (A/Y= 1,55) + Triturado EPS 15 % en peso

Peso bloque: 3820 g (47,75 kg/m²)
Peso costillas: 1325 g (densidad: 0,753)

Peso relleno: 1483 g (densidad: 0,281)

REF. Bloque de referencia (Fig. 5 derecha)

Como elemento de referencia en los ensayos, se ha optado por un tabique tradicional de hueco doble (gran formato de 40x20x7 cm) guarnecido en ambas caras con yeso grueso (A/Y=0,8), hasta alcanzar un espesor total de pieza de 10 cm.

Las probetas de referencia arrojan un peso de 6,53 kg por pieza (81,6 kg/m² de tabique).

4. RESULTADOS

De los pesos obtenidos en los prototipos se obtienen los pesos teóricos de las particiones propuestas, ordenados de menor a mayor en la Tabla 2.

	Bloque 40x20x10 cm		Bloque-G 60x30x10 cm		Panel 60x260x10 cm	
	kg/pieza	kg/m ²	kg/pieza	kg/m ²	kg/pieza	kg/m
B3a	2,337	29,2	4,265	29,2	36,901	61,50
B2b	3,326	41,6	7,476	41,6	64,732	107,88
B1b	3,659	45,7	8,233	45,7	71,290	118,81
B3b	3,820	47,7	7,974	47,7	69,048	115,08
B1a	4,218	52,7	9,477	52,7	82,135	136,89
B2a	4,437	55,5	9,984	55,5	86,464	144,11
REF	6,53	81,6				

Tabla 2: Pesos de los diferentes tabiques propuestos

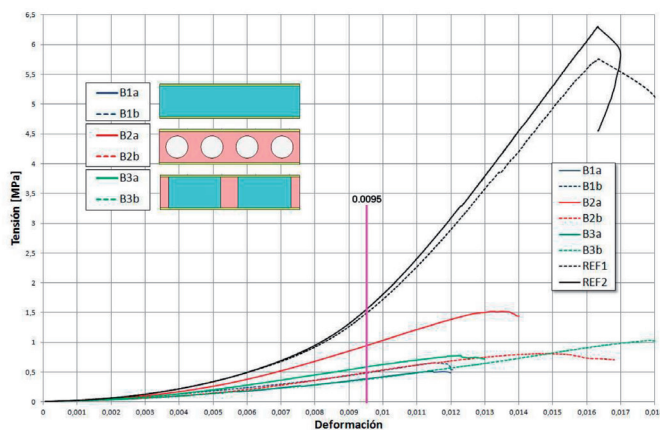


Fig. 5: Gráfica tensión-deformación de los ensayos de compresión de bloques propuestos y referencia

4.1. ENSAYOS REALIZADOS SOBRE LAS PROBETAS

Se realizan ensayos de compresión con el objeto de obtener las curvas de carga-desplazamiento (Fig. 5) y evaluar el comportamiento de las diferentes particiones ante una deformación excesiva del marco estructural. Se trata de un estudio previo de tipo comparativo, cuyo objetivo es verificar si son viables. Para los ensayos de compresión, se ha utilizado una prensa universal (Ibertest MIB-60/AM) con el software Wintest-32, y una velocidad de carga de 0,07 mm/s. El registro del desplazamiento del plato de carga se ha realizado con un extensómetro IB-MFA-2.

En todos los casos, podemos observar que las deformaciones en rotura (entre 11,5 ‰ y 17,8 ‰) alcanzan valores muy superiores

a las deformaciones máximas obtenidas en las simulaciones (9,5 ‰) (Fig. 1), y que para ese valor, todos los prototipos se mantienen en la zona elástica de la curva.

En el análisis de las curvas tensión-deformación de los bloques propuestos (Fig. 5), cabe señalar que todos presentan valores de rigidez semejantes, salvo el B2a, con valores mayores, debido a la mayor densidad del núcleo (4 ‰ EPS con relación A/Y de 0,8), a pesar de que éste es alveolado.

Los únicos bloques que presentan valores aceptables de deformación en rotura son B2a, B2b y B3b. De ellos, el B2b tiene el peso menor (un 25 ‰ menos que B2a y un 13 ‰ menos que B3b)

Los bloques con menor rigidez a compresión son los B1a y B3b (casi idénticos), y tienen pesos parecidos. Sin embargo, el B3b presenta una deformación en rotura mucho mayor que el resto (17,8 ‰), valor un 9,2 ‰ mayor que la deformación en rotura de las probetas de referencia (16,3 ‰).

En consecuencia, la propuesta del bloque B2b (alveolado) y B3b (costillas) parecen las más adecuadas a efectos de ser estudiadas con mayor profundidad.

Los consumos de material en la fabricación del núcleo de estos bloques (en kg/m² de tabique) son de 24,26 kg de yeso + 1,21 kg de EPS para el bloque B2b, y 28,36 kg de yeso + 2,71 kg de EPS para el bloque B3b.

Las cantidades de EPS utilizadas en los bloques (21,33 kg/m³ en B2b y 30,82 kg/m³ en B3b) son mayores que las densidades habituales de las planchas de EPS utilizadas en la trituración (entre 20 y 25 kg/m³). La razón de esto es la propia trituración por raspado, que produce una partícula de mayor densidad aparente. Esta característica permite (además de reducir la flotabilidad) aumentar la cantidad de EPS que puede incorporarse en la fabricación de estos elementos.

4.2. ANÁLISIS DEL MECANISMO DE ROTURA EN LOS DIFERENTES BLOQUES

La rotura en todos los bloques se produce por los esfuerzos de tracción transversales inducidos por la compresión.

El yeso aligerado utilizado en el núcleo presenta una muy baja resistencia a tracción, provocando la rotura del mismo (plano de rotura paralelo al esfuerzo de compresión y a las caras del bloque), o bien la separación de las placas, provocado a su vez por el pandeo de las mismas.

El proceso de rotura es gradual, no llegando en ningún caso a la fractura completa del bloque, que queda íntegro después del ensayo (para manifestar mejor la rotura en las fotografías, se volvió a comprimir los bloques en la máquina hasta hacer patente la fractura).

Bloques B1a y B1b: presentan la separación de la placa por insuficiente adherencia entre la misma y el núcleo (posiblemente



Fig. 6: Rotura a compresión de los bloques

debido a la absorción de agua de hidratación por el cartón), provocando así el pandeo de la placa.

Bloque B2b (alveolado): presenta una clara fractura en la zona debilitada por la menor sección transversal del núcleo (entre alveolos), manteniendo su integridad después del ensayo.

Bloque B2a: no presenta este tipo de fractura, y únicamente manifiesta un ligero aplastamiento de los bordes de las placas en contacto con la célula de carga.

Bloque B3a (relleno de lana mineral): presenta una clara separación entre las costillas y la placa, dada la poca superficie de contacto y la baja resistencia a tracción del yeso aligerado, dejando la placa libre y expuesta al mecanismo de pandeo.

Bloque B3b (relleno macizo entre costillas): no presenta rotura de las placas (salvo de aplastamiento en la zona de contacto con la célula de carga). Se trata del bloque con mejor respuesta de todos, manteniéndose totalmente íntegro después del ensayo.

Probetas de referencia (REF): la rotura se inicia en el elemento más rígido (el ladrillo), produciendo la separación y rotura del guarnecido. Se trata de una rotura de tipo frágil, en la que la pieza queda fracturada completamente.

5. CONCLUSIONES

El sistema propuesto representa una alternativa a las particiones tradicionales de ladrillo hueco doble guarnecido en ambas caras, por su comportamiento mecánico y su ligereza.

Destacan los bloques B2b y B3b por:

- Su comportamiento a compresión presenta deformaciones en rotura iguales o superiores a las obtenidas en los bloques de referencia.
- Su peso es un 51 % (B2b) y un 58 % (B3b) respecto del peso del bloque de referencia.
- La reutilización de RCD supone 1,21 kg (B2b) y 2,71 kg (B3b) de residuo de EPS por m² de tabique.
- El bloque B2b aporta la ventaja de los alveolos, que minimiza la apertura de rozas.
- El bloque B3b es el que se mantiene más íntegro después de la rotura a compresión, y el que ofrecerá una menor fisuración en una situación real de deformación estructural.

En cuanto a los materiales utilizados, se concluye la viabilidad de las altas dosificaciones de EPS triturado por raspado (15 % sobre yeso en peso), y el ahorro consecuente de yeso. Se trata de un material de muy baja rigidez, que permite gracias a su fluidez en masa el relleno por gravedad de cualquier tipo de molde, siempre en piezas con una estructura externa.

Como continuación de la presente investigación, se pretende ensayar las propiedades mecánicas (compresión, flexión e impacto) y acústicas de los bloques B2b y B3b.

REFERENCIAS

[1] Alavedra, P., Domínguez, J., Gonzalo, E., & Serra, J. La construcción sostenible. El estado de la cuestión. *Informes de la construcción*, 1997. 49(451), 8.

[2] Argiz, C. (2016). La economía circular en el contexto de las futuras normas de especificaciones de cementos. *Cemento Hormigón*, 976(Septiembre-Octubre), 8.

[3] Gutierrez-González, S., Alonso, M., Gadea, J., Rodríguez, A., Calderón, V. (2013). Rheological behavior of gypsum plaster pastes with polyamide powder wastes. *Construction and Building Materials*, 38, 407-412.

[4] Serna Lendinez, Ángel; Mercedes del Río Merino; Palomo Sáenz, Gabriel; González Cortina, Mariano. "Improvement of gypsum plaster strain capacity by the addition of rubber particles from recycled tyres" *Construction and building materials* 35 (2012) 633-641 april 2012.

[5] Leiva Aguilera, MJ; Río Merino, M. "Feasibility of plaster composites with rice husk waste". *ZKG Drymix Mortar Edition*. March 2016.

[6] F. Puertas; R. Santos; M.M. Alonso; M. del Río. "Alkali-activated cement mortars containing recycled clay-based construction and demolition waste". *Ceramics-Silikaty* 59 (3) 202-210 (2015)

[7] Mercader-Moyano, M.d.P., Yajnes, M.E., Caruso, S.I. (2017). Caracterización experimental del compuesto de base cemento, RDC y EPS procedente de las demoliciones en obras de rehabilitación. *Revista de la Construcción. Journal of Construction* 15(3), 97-106. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-915X2016000300010>

[8] Sonia Romaniega Piñero, Mercedes del Río Merino, Cristina Pérez García "New plaster composite with mineral wool fibers from CDW recycling". *Advances in Materials Science and Engineering Volume 2015* (2015), Article ID 854192.

[9] González Madariaga, F.J. (2008). Mezclas de residuos de poliestireno expandido (EPS) conglomerados con yeso o escayola para su uso en la construcción. *Informes de la Construcción* 60(509), 35-43.

[10] San-Antonio-González, A., Merino, M.D.R., Arrebola, C.V., Villoria-Sáez, P., (2015). Lightweight Material Made with Gypsum and EPS Waste with Enhanced Mechanical Strength. *Journal of Materials in Civil Engineering* 28(2). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001382](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001382)

[11] Del Río Merino, M., Santa Cruz Astorqui, J., Hernández Olivares, F. (2002). Nuevos elementos prefabricados de escayola aligerada para particiones y trasdosados. *Informes de la Construcción*, Vol. 53, No 477, 41-46. <http://dx.doi.org/10.3989/ic.2002.v53.i477.641>

[12] Amador Blanco, J. J., Díaz-Guerra Pérez, J., & Fernández del Olmo, E. (2016). *Materiales de construcción, Ligantes, yeso y cal: ETSEM - Universidad Politécnica de Madrid.*

[13] M. Del Río Merino; J. Santa Cruz Astorqui y F. Hernández Olivares. "Yeso aligerado con corcho y su aplicación en paneles para construcción". N° DE SOLICITUD: n°P9902034 PAÍS DE PRIORIDAD: ESPAÑA. FECHA DE PRIORIDAD: 14/9/2000

[14] Mercedes del Río Merino; Jaime Santa Cruz; Francisco Hernández Olivares. "New prefabricated elements of lightened plaster used for partitions and extrados". *Construction and building materials*. Ref: 20203; enero 2005; n° 19. pp. 487-492. ISSN: 0950-0618. (II: 0.343).

[15] Santa Cruz Astorqui, J., del Río Merino, M., Villoria Sáez, P., Porras Amores, C. (2017) Analysis of the Relationship between Density and Mechanical Strength of Lightened Gypsums: Proposal for a Coefficient of Lightening. *Advances in Materials Science and Engineering*, Vol. 2017, Article ID 7092521. <https://doi.org/10.1155/2017/7092521>

[16] Página web W2R: http://www.edificacion.upm.es/tema/W2R/W2R_presenta.html

[17] Del Río Merino, M., Santa Cruz Astorqui, J. (2009). Finite element simulation to design constructive elements: an application to light gypsum plaster for partitions. *Construction and Building Materials*, Vol. 23 (1), 14-27. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.12.009>

[18] Santa Cruz Astorqui, J., del Río Merino, M., Villoria Sáez, P. (20015) Re-design of plaster prefabricated elements. Libro de actas digital - III International Congress on Construction and Building Research. Escuela Técnica Superior de Edificación (UPM) - Madrid. 149-150. https://www.edificacion.upm.es/congresos/III_coinedi/documents/COINVEDI%20III%20-%20ABSTRACTS%20BOOK%20PROTECTED.pdf

[19] del Río Merino, M. (1999). Elaboración y aplicaciones constructivas de paneles prefabricados de escayola aligerada y reforzada con fibras de vidrio E y otros aditivos. Tesis Doctoral - Universidad Politécnica de Madrid, Spain. <http://oa.upm.es/612/>

[20] Vilardi, A., 2017. Mechanical and thermal behaviour of a lightened gypsum plaster with expanded and extruded polystyrene, Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale, Aerospaziale, dei Materiali (DICAM). University of Palermo, Palermo.