



Received: 10-04-2015  
Accepted: 27-04-2015

## Reciclado de placas de yeso laminado aligeradas con residuos de poliuretano Recycling of gypsum plasterboard lightened with polyurethane waste

Lourdes Alameda, Verónica Calderón, Jesús Gadea & Sara Gutiérrez-González<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Universty of Burgos (Spain, sggonzalez@ubu.es)

**Resumen**— Este trabajo presenta los resultados de un proceso experimental de reutilización de residuos obtenidos de desechos de placas de yeso laminado elaboradas con residuos poliméricos de origen industrial (espuma de poliuretano) y reforzadas con fibras de polipropileno, para la fabricación de nuevas placas de yeso laminado. Para ello, se expone la metodología de reciclado de placas prefabricadas buscando de esta forma aumentar el ciclo de vida del yeso y de los residuos de poliuretano empleados. Para ello se detalla el proceso de fabricación las nuevas placas así como su caracterización mediante ensayos físicos y mecánicos a través de ensayos normalizados para placas de yeso laminado (densidad aparente, resistencia a flexión, absorción total en agua y dureza superficial). Los resultados obtenidos indican que es posible reciclar este tipo de prefabricados de una manera sencilla. De la misma forma se ha demostrado que las nuevas placas fabricadas con el residuo recuperado, presentan un buen comportamiento mecánico, a la par que se reduce su capacidad de absorción de agua y se aumenta su dureza su superficial.

**Palabras clave**— Placa de yeso laminado; residuo de poliuretano; fibras de polipropileno; proceso de reciclado

**Abstract**— This paper presents the results of an experimental process of reusing waste obtained from waste gypsum plasterboard made from polymeric industrial waste (polyurethane foam) and polypropylene fibers whit the aim to manufacturer new gypsum plasterboards. Therefore, a methodology to recycle is presented to increase the life cycle of waste gypsum. The manufacturing process of the plates is detailed as well as their physical and mechanical characterization by means of standardized for gypsum plasterboard (bulk density, flexion strength, total water absorption and surface hardness). The results indicate that it is possible to recycle this type of prefabricated in a simple way. Likewise it has been demonstrated that new plates made with the residue reusing, have good mechanical strength, at the same time reduce the capacity of water absorpction and increase its surface hardness.

**Index Terms**— Gypsum plasterboard, polyurethane waste, polypropylene fibers, recycling process

### I. INTRODUCCIÓN

EL RITMO de generación de residuos industriales y urbanos en nuestra sociedad continua aumentando, por lo que es necesario encontrar nuevas formas de reciclaje/reutilización de todos estos desechos. De los diversos residuos industriales, uno de los más abundantes son los polímeros (polipropileno, polietileno, poliuretano, poliestireno, etc.). La producción de espumas de poliuretano en el año 2013 ascendió a 3,30 MTn, convirtiéndose en residuo un 27% (891.000 Tn), de los cuales el 62% se recuperó mediante técnicas de reciclado y valorización para recuperación de energía. Esto supuso que un 38% de los

L. Alameda, PhD colabora con el Departamento de Construcciones Arquitectónicas de la Universidad de Burgos (e-mail:lac0011@alu.ubu.es).

V. Calderón, PhD. Profesora vinculada al Departamento de Construcciones Arquitectónicas de la Universidad de Burgos (vcalderon@alu.ubu.es).

J. Gadea, PhD. Profesor vinculado al Departamento de Construcciones Arquitectónicas de la Universidad de Burgos (jgadeamc@alu.ubu.es).

S.Gutiérrez-González, PhD. Profesora vinculada al Departamento de Construcciones Arquitectónicas de la Universidad de Burgos (sggonzalez@ubu.es).

residuos de espumas de poliuretano fueron depositados en vertederos (338.580 Tn) (Plastics – the Facts 2013). Se estima que cada año se llevan a vertedero unos 15 millones de toneladas de residuos de placas de yeso laminado, siendo Estados Unidos el país que lidera esta práctica con unos 7 MTn, Europa con 4 MTn, y Japón con unos 2 MTn (Eurogypsum, 2014).

En España es habitual que en el desmantelamiento de edificios, los productos del yeso estén mezclados con el resto de residuos de la construcción, lo que significa que anualmente casi 175.000 toneladas de yeso son depositadas en vertederos (GERD, 2013).

El Plan Nacional Integral de Residuos de España (2008-2015) establece una jerarquía de cinco niveles en cuanto a prioridades en la gestión de residuos:

- 1) Prevención
- 2) Reutilización
- 3) Reciclaje
- 4) Valorización energética
- 5) Eliminación

Este orden debe aplicarse como principio rector en la legislación y política sobre prevención y gestión de residuos (PNIR, 2008-2015).

El hecho de incluir residuos poliméricos en la composición de una placa de yeso laminado supone la reutilización del material, aumentando el ciclo de vida del mismo, encontrándose este proceso en el 2º nivel de la clasificación. En el momento que este nuevo prefabricado se coloca en obra, comienza un nuevo uso del mismo con una nueva vida, que en principio puede durar tantos años como la vida útil del edificio donde se coloca, y que se presupone de 100 años en el caso de edificios residenciales. Los residuos poliméricos mantienen sus propiedades teóricamente al menos durante 300 años.

Si en un momento determinado se decide eliminar la tabiquería o los trasdosados donde están colocados estos nuevos materiales se propone reciclar esas placas, entrando de esta forma en el 3er nivel de la jerarquía en las prioridades de la gestión de residuos.

Diversos investigadores trabajan con la basanita obtenida de placas de yeso laminado recicladas con el fin de mejorar la estabilidad de subbases en suelos arcillosos (Ahmed & Ugai, 2011). Con la idea de reciclar restos de yeso también se ha estudiado la alternativa de introducirlos en bloques de cerámica elaborados con diferentes proporciones de arcilla y cemento (Godinho-Castro, Testolin, Janke, Corrêa & Radetski, 2012). El proyecto europeo “Gypsum to Gypsum Project” (GtoG), tiene como uno de sus objetivos estudiar el reciclado de los residuos de Placa de Yeso Laminado (PYL), con el fin de incorporarlos a la fabricación de nuevas placas. Las empresas del sector de los prefabricados de yeso ya reciclan los restos generados en sus propias industrias (resto pre-consumer) e incluso tienen proyectos para recoger y reciclar restos de demolición y de obra nueva (Knauf GmbH, 2013).

Este trabajo pretende aportar una posible solución a la problemática existente frente al cierre del ciclo de vida de los residuos de poliuretano utilizados en la investigación de placas

de yeso laminado (PYL).

Para ello, se pretende reciclar el material que componen las placas de yeso laminado obtenidas de anteriores investigaciones (ES2522792A1, 2013). Con el material obtenido (a partir de este momento material reutilizado) se experimenta realizando sustituciones en placas de yeso laminado.

Las placas de yeso con material reutilizado son caracterizadas mediante los ensayos de densidad, resistencia a flexión, capacidad de absorción total de agua y dureza superficial (UNE-EN 520:2005+A1).

## II. MATERIALES

El proceso de reciclado se realiza sobre placas de yeso laminado elaboradas con residuos de poliuretano blanco (W) (residuo procedente de la industria de la refrigeración) y fibras de polipropileno (F2). A continuación se muestra la caracterización de las materias primas empleadas en las placas objeto de estudio.

### A. Residuo de espuma de poliuretano blanco (W)

Este residuo procede de los desechos generados en la fabricación de paneles aislantes en la industria de la refrigeración y de la construcción. Los paneles son triturados presentando después una granulometría con tamaños de partícula comprendidos entre 0,25-0,5 mm, con una densidad

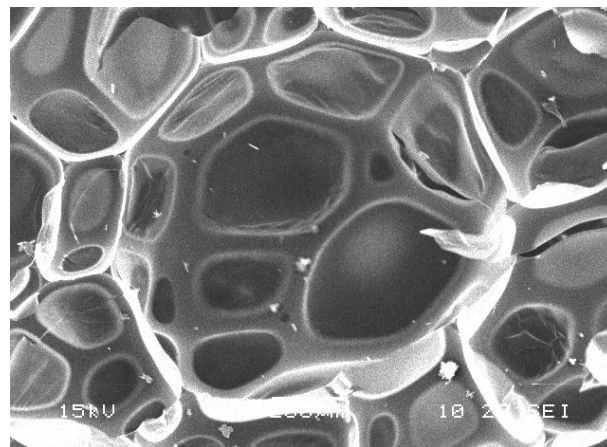


Figura 1. Microscopía Electrónica de Barrido de una muestra de poliuretano blanco (W).

aparente de  $72 \text{ kg/m}^3$  y densidad real de  $1080 \text{ kg/m}^3$ . A nivel de microscopio, este material presenta estructura celular de celdas cerradas, con un tamaño de celdas homogéneo y similar entre sí (Fig 1).

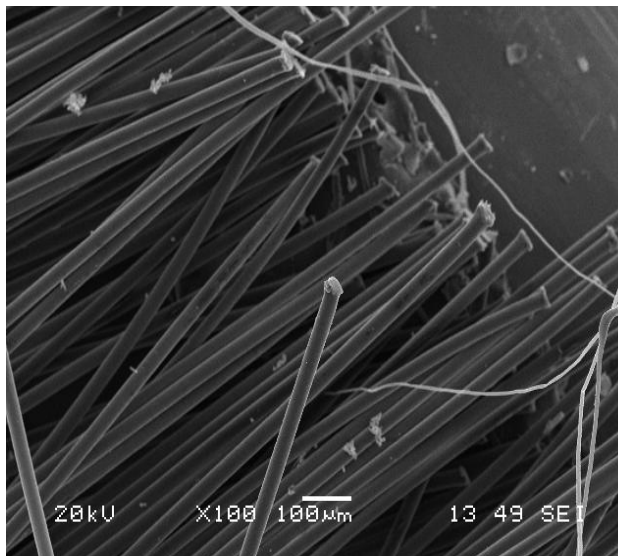


Figura 2. Microscopía Electrónica de Barrido de una muestra de fibra de polipropileno (F2).

### B. Fibras de polipropileno (F2)

Las fibras empleadas tienen un diámetro aproximado de  $30 \mu\text{m}$  y  $12 \text{ mm}$  de longitud con una resistencia a tracción comprendida entre  $300$  y  $400 \text{ MPa}$ . La Microscopía Electrónica de Barrido (Fig. 2) muestra la orientación y dimensiones de la fibra.

### C. Yeso

El yeso empleado es clasificado como yeso de construcción B1/20/2 (UNE-EN 13279-1, 2009). De acuerdo con las especificaciones del fabricante, este yeso presenta un índice de pureza del  $87.66\%$  y densidad real de  $2320 \text{ kg/m}^3$

Las dosificaciones de las placas, en volumen, fueron de

$1/0,5$ ,  $1/1$  y  $1/2$  (parte de yeso/ parte de residuo, en volumen) con proporciones de fibra (F2) al  $4\%$  sobre el peso del yeso, tal y como muestra la Tabla 1.

Sample	Relación (poliuretano/yeso)	Relación (agua/yeso+poliuretano)
PYL W0,5 (F2) 4%	0,5/1	0.52
PYL W1 (F2) 4%	1/1	0.60
PYL W2 (F2) 4%	2/1	0.82

Tabla 1. Dosificaciones de las placas a reciclar

## III. EXPERIMENTAL

El procedimiento experimental empleado para reciclar las placas definidas consistió en el triturado de las mismas, tamizado del material obtenido y desecado de la fracción menor de  $25$  micras. Posteriormente, se empleó el pasa del tamiz descrito y se elaboró su curva granulométrica (Figura 1). Este material se empleó en la fabricación de nuevas placas de yeso laminado con poliuretano y fibras, sustituyendo en peso material por residuo obtenido en el reciclaje en dosificaciones del  $5$ ,  $10$ ,  $15$  y  $20\%$ . Las nuevas placas de yeso con poliuretano se caracterizaron mediante ensayos definidos en la Norma UNE-EN 520:2005+A.

Previamente se determinó la relación agua/ yeso+ residuo, mediante el ensayo de la mesa de sacudidas [que define la cantidad de agua adecuada para conseguir una buena trabajabilidad (UNE-EN 13279-2, 2006).

La resistencia a flexión de las placas de yeso laminado con residuos se determinó mediante la obtención de su carga de rotura a flexión en probetas de  $(400 \times 300 \times 15) \text{ mm}^3$ , Aplicando la carga de forma controlada a una velocidad de  $(250 \pm 125) \text{ N/min}$  en el centro del vano, de forma paralela a los apoyos, por medio de un rodillo cilíndrico.



Figura 3. Proceso de triturado.

La capacidad de absorción total de agua fue determinada como el incremento porcentual de masa experimentado por las probetas sumergidas en agua durante  $2\text{h} \pm 2 \text{ min}$ .

La dureza superficial de las placas es definida por la huella exterior que deja una pequeña bola de acero al caer desde una altura determinada.



**IV. RESULTADOS**

**A. Procedimiento de reciclado**

**1) Triturado**

Las placas se rompen en trozos por golpeo y se introducen en un Molino RETSCH SM100, el cual además hace pasar el material obtenido por un tamiz de 4,00 mm de luz de malla (Fig. 3).

**2) Tamizado**

El tamizado tiene como objetivo por un lado definir la granulometría de los materiales obtenidos tras el triturado y por otro, retirar las fibras y el polímero del material final. La serie de tamices utilizada es la indicada para las arenas según UNE-EN 933-1:2012 (Fig.4).

La curva granulométrica obtenida (Fig. 5) muestra como el 91% de la muestra PYL W1 (F2)4% pasa por el tamiz de 0,50 mm, el 71% por el de 0,25 mm reduciéndose de forma brusca



4,00	2,00	1,00	0,50	0,25	0,125	0,063	F
------	------	------	------	------	-------	-------	---

Figura 4. Serie de tamices utilizados (mm).

a un 23 % en el tamiz de 0,125 mm.

Los resultados del tamizado de la muestra PYL W2 (F2) 4% se presentan en la Figura 6.

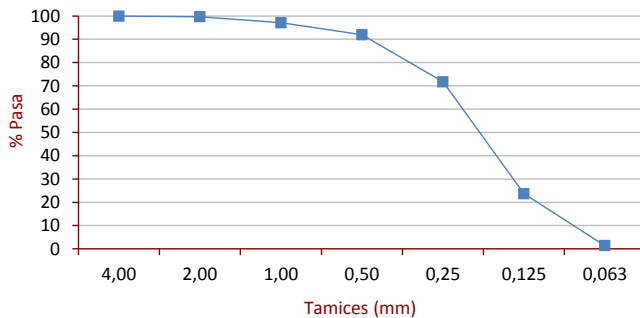


Figura 5. Línea granulométrica de la muestra PYL W1 (F2) 4%

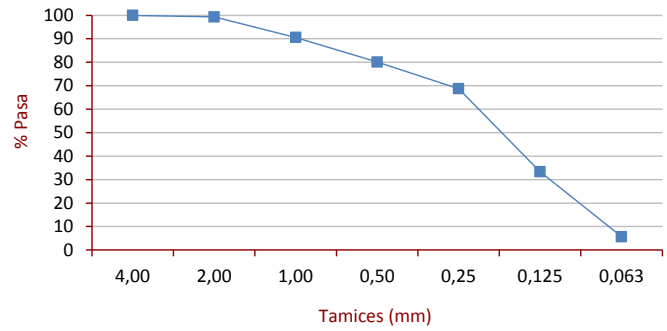


Figura 6. Línea granulométrica de la muestra PYL W2 (F2) 4%

La granulometría de esta muestra presenta una reducción en el tamaño de partícula progresivo, produciéndose el salto más significativo en el tamiz de 0,125 mm con un porcentaje de pasa del 33% y en el 0,063 mm con un porcentaje del 5,67% de pasa.

**3) Desecado**

El yeso utilizado para fabricar las PYL es yeso cocido o sulfato de calcio hemihidratado ( $CaSO_4 \cdot \frac{1}{2}H_2O$ ). Al amasar este yeso con agua se hidrata formando sulfato cálcico dihidratado ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ), para poder utilizar nuevamente éste yeso es necesario volver a desecarlo y así obtener otra vez sulfato de calcio hemihidratado o basanita.

Del material obtenido tras el tamizado, retiramos el retenido superior a 0,25 mm donde quedan depositadas las fibras de la PYL que son eliminadas debido a que el material reutilizado se seca a 140°C en estufa, temperatura a la cual las fibras funden. En este retenido también se encuentra prácticamente la totalidad del poliuretano utilizado, quedando únicamente la parte más fina.



Figura 7. Fabricación de las placas de yeso con residuo reutilizado.

**B. Preparación de probetas**

En esta caracterización se utiliza el material reciclado completo (yeso+residuo) para realizar las sustituciones, de las placas PYL W0,5 (F2) 4%, PYL W1 (F2) 4% y PYL W2 (F2) 4%. El pasa del tamiz de 0,25 mm se deseca en la estufa a 140 °C, introduciéndolo una vez enfriado dentro de una nueva placa con sustituciones del 5%, 10%,15% y 20%, en peso.

El proceso de fabricación es igual al de las placas previamente estudiadas. Se pesan las materias primas,

mezclándolas en seco, en este caso además de yeso y poliuretano se añade el material reutilizado. Las fibras se diluyen en el agua y después se añade el resto de materias primas (Fig. 7).

Con la mezcla obtenida se rellenan los moldes de (300x400x15) mm<sup>3</sup>, secando las probetas en la estufa a una temperatura de (40±2)°C hasta conseguir que alcancen una masa constante y estén acondicionadas para ensayar.

Se realizan los ensayos de densidad, resistencia a flexión (expresada como carga de rotura a flexión), capacidad de absorción total de agua y dureza superficial.

Previamente a la fabricación de placas se determinó el ensayo en estado fresco de la relación agua/(yeso+poliuretano+residuo), mediante la mesa de sacudidas, dado que este factor afecta de forma directa al comportamiento de las placas en estado endurecido (Tabla 2).

Dosificación	Sustitución por residuo (%)	Relación (agua/yeso+poliuretano)
PYL W0,5 (F2) 4%	0	0,52
R5-PYL W0,5 (F2) 4%	5	0,58
R10-PYL W0,5 (F2) 4%	10	0,58
R15-PYL W0,5 (F2) 4%	15	0,58
R20-PYL W0,5 (F2) 4%	20	0,61
PYL W1 (F2) 4%	0	0,60
R5-PYL W1 (F2) 4%	5	0,72
R10-PYL W1 (F2) 4%	10	0,72
R15-PYL W1 (F2) 4%	15	0,70
R20-PYL W1 (F2) 4%	20	0,70
PYL W2(F2) 4%	0	0,82
R5-PYL W2(F2) 4%	5	0,95
R10-PYL W2(F2) 4%	10	0,92
R15-PYL W2(F2) 4%	15	0,92

Tabla 2. Relación agua /yeso+ poliuretano de las diferentes dosificaciones con y sin residuo

### C. Ensayos de caracterización

A continuación se muestran los resultados de los ensayos de caracterización en estado endurecido definidos en la normativa para placas de yeso laminado.

#### 1) Densidad aparente

La Figura 8 muestra los resultados de densidad aparente seca a 7 días de las placas elaboradas con diferentes porcentajes de sustitución de material yeso-poliuretano-fibras por residuo reutilizado.

Se han representado a su vez los resultados de las placas sin incorporación de residuo reutilizado (placas de referencia) con el fin de valorar su incidencia en la matriz de las mezclas.

Tomando como referencia las probetas sin sustitución, se puede apreciar que en todos los casos, la incorporación de residuo en las mezclas ocasiona un incremento de la densidad aparente de las placas.

Una posible explicación a este efecto es por una parte, que el residuo incorporado tiene una mayor densidad (debido a la reducción de material polimérico en su composición). Sin embargo, este hecho no puede considerarse de forma aislada ya que el requerimiento de agua para que las mezclas sean trabajables es mayor, debido a una mayor superficie específica

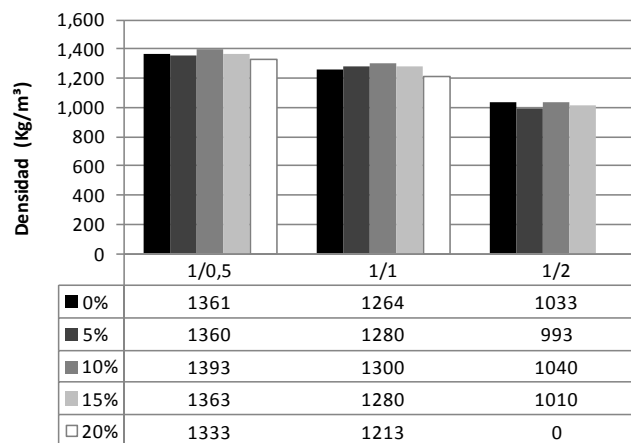


Figura 8. Densidad aparente a 7 días de las diferentes dosificaciones

del residuo ya que se ha empleado la fracción menor de 0,25 mm.

#### 2) Resistencia a flexión (expresada como carga de rotura a flexión)

La Tabla 3 muestra los resultados de resistencia a flexión, expresados como carga de rotura a flexión y la Figura 9 representa el ensayo de carga de rotura a flexión.

Sustitución	Carga de rotura a flexión (N)		
	Dosificación		
	1/0,5	1/1	1/2
0%	396,7	276,7	176,7
5%	404,7	300,0	220,0
10%	393,3	418,0	223,3
15%	350,0	386,7	250,0
20%	450,0	313,3	-

Tabla 3. Carga de rotura a flexión de las diferentes dosificaciones

La carga de rotura a flexión de todas las dosificaciones mejora respecto a las placas de referencia (0% sustitución), llegando a alcanzar incrementos de hasta un 51% en el caso de la placa R10-PYL W1 (F2) 4%. El hecho de incorporar en la matriz del material base un residuo formado únicamente por yeso sin polímero, hace que la resistencia mejore en todos los casos (Panesar & Shindman, 2012).



Figura 9. Ensayo de carga de rotura a flexión

La carga de rotura a flexión de todas las dosificaciones mejora respecto a las placas de referencia (0% sustitución), llegando a alcanzar incrementos de hasta un 51% en el caso de la placa R10-PYL W1 (F2) 4%. El hecho de incorporar en la matriz del material base un residuo formado únicamente por yeso sin polímero, hace que la resistencia mejore en todos los casos (Panesar & Shindman, 2012).

### 3) Capacidad de Absorción total de agua

La Figura 10 muestra los resultados del ensayo de absorción total en agua de las placas fabricadas con diferentes sustituciones de yeso-poliuretano por residuo reutilizado.

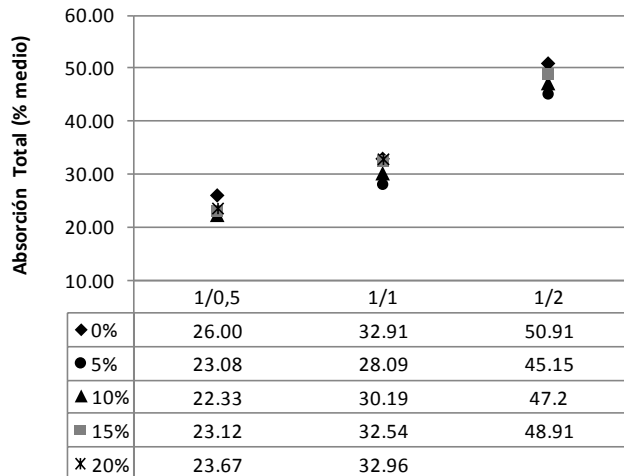


Figura 10. Absorción total en agua de las diferentes dosificaciones

A la vista de los resultados, se puede observar que las dosificaciones que incorporan residuo, ven reducida su capacidad de absorción en agua en todos los casos. Esta reducción se hace más evidente en placas con alto contenido en poliuretano (1/2) donde el incremento de absorción llega a alcanzar cerca del 40% en placas con sustitución del 15%. La explicación a este efecto puede ser debida a que este tipo de dosificaciones incorpora un 15% menos de material polimérico, lo que reduce la porosidad de la placa, disminuyendo en consonancia su absorción de agua.

### 4) Dureza superficial

La Figura 11 muestra los resultados del ensayo de dureza superficial realizado a los 7 días.

Si se toman como referencia las placas sin residuo reutilizado (0%), se puede observar que el diámetro medio disminuye en dosificaciones con altos contenidos de polímero (1/1 y 1/2), siendo coherente con el resto de ensayos comentados, en los que la incorporación de residuo disminuye el contenido de polímero, material más blando que ocasiona una menor dureza de las placas.

En este caso, el hecho de que las probetas que incorporan residuo requieran una mayor cantidad de agua para el amasado, y por tanto, tengan una mayor porosidad, no es un factor determinante a la hora de cuantificar la dureza del material.

Sin embargo, el hecho de incluir una mayor proporción de

yeso en la matriz, sí que afecta significativamente al parámetro de dureza siendo más evidente aún debido a la finura de las partículas de este residuo, que permiten rellenar los huecos de aire ocasionados en la evaporación del agua de amasado, formando una matriz más compacta y de mayor dureza (Gutiérrez-González, Gadea, Rodríguez, Junco & Calderón, 2012). (Gutiérrez-González, Gadea, Rodríguez, Blanco-Varela, Calderón, 2012).

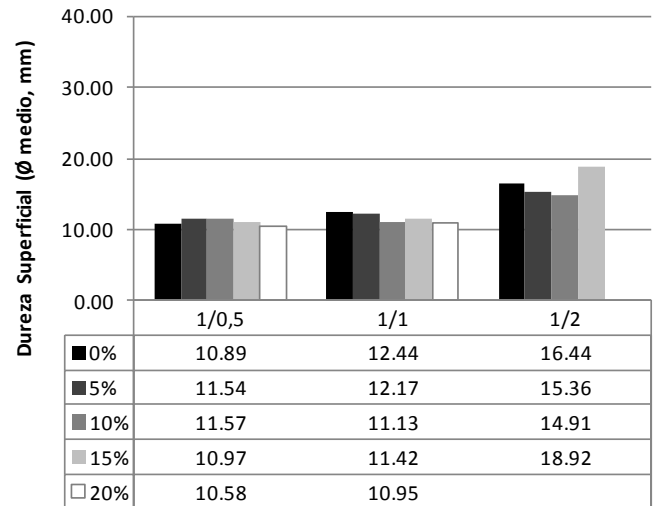


Figura 11. Dureza superficial a 7 días de las diferentes dosificaciones

## V. CONCLUSIONES

Se ha demostrado que los residuos de placas de yeso con polímeros se pueden recuperar de una forma sencilla, mediante triturado, tamizado mecánico y secado.

En la relación agua/yeso se aprecia que en las placas con pequeña sustitución de poliuretano, ésta aumenta a medida que aumenta el porcentaje de sustitución. Esto se debe a que al introducir el residuo de las placas de yeso laminado, se ha introducido un material con una granulometría más fina (pasa del tamiz 0,25 mm) que necesita una mayor cantidad de agua para hidratarse.

La resistencia a flexión de las placas que incorporan residuo reutilizado aumenta debido al mayor contenido de yeso en su matriz.

La fabricación de nuevas placas de dosificación 1/2, ven reducida su capacidad de absorción de agua, debido a la reducción del contenido de polímero por incorporar residuo reutilizado de yeso.

La dureza aumenta en todos los casos que incorporan residuo reutilizado. El hecho de que la relación agua/yeso aumente en estas mezclas, no es el factor determinante a la hora de valorar la dureza del material.

De esta manera se ha demostrado que los residuos que se incorporan para hacer nuevas placas mejoran las prestaciones de estos prefabricados respecto a las placas de referencia:

Estos resultados abren una posible vía de trabajo para proponer alternativas al problema del cierre del ciclo de vida de estos residuos, dando una segunda vida a los residuos de las

placas investigadas para fabricar nuevas placas de yeso+polímero.

## REFERENCIAS

Plastics – the Facts 2013. An analysis of European latest plastics production, demand and waste data. <http://www.plasticseurope.org>.

Asociación europea de fabricantes de productos a base de yeso “Eurogypsum” (2014). <http://www.eurogypsum.org>.

Gremio de Entidades del Reciclaje de Derrivos (GERD, 2013).

Plan Nacional Integral de Residuos de España (PNIR, 2008-2015). Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Gobierno de España. BOE-A-2009-3243.

Ahmed, A.& Ugai, K (2011). Environmental effects on durability of soil stabilized with recycled gypsum. *Cold Regions Science and Technology*, 27, 84-92.

Godinho-Castro, A., Testolin, R., Janke, L., Corrêa, A. & Radetski, C. (2012). Incorporation of gypsum waste in ceramic block production: Proposal for a minimal battery of tests to evaluate technical and environmental viability of this recycling process. *Waste Management*, 32 (1); 153–157.

Proyecto GTOG (2013-2015) (From Production to Recycling: A Circular Economy for the European Gypsum Industry with the Demolition and Recycling Industry). Comisión Europea. Programa Life+ 2011.

Proyecto piloto para cerrar el ciclo de vida de las placas de yeso laminado: el caso de Hostería Grau, Barcelona. (2013). Knauf GmbH Sucursal en España.

ES2522792A1 (2013). Procedimiento de obtención de placas de yeso laminado aligeradas con residuo de espuma de poliuretano.

UNE-EN 520:2005+A1. Placas de yeso laminado. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo.

UNE-EN 13279-1, 2009. Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 1: Definiciones y especificaciones

UNE-EN 13279-2: 2006. Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 2: Métodos de ensayo.

Panesar DK & Shindman B, (2012). The mechanical, transport and thermal properties of mortar and concrete containing waste cork. *Cem Concr Compos*; 34:982–92.

Gutiérrez-González S, Gadea J, Rodríguez A, Junco C & Calderón V. (2012). Lightweight plaster materials with enhanced thermal properties made with polyurethane foam wastes. *Constr Build Mater*, 28:653–8.

Gutiérrez-González S, Gadea J, Rodríguez A, Banco-Varela M.T & Calderón V. (2012). Compatibility between gypsum and polyamide waste to produce lightweight plaster with enhanced thermal properties. *Constr Build Mater*, 34:179–85.