

Mezclas de residuos de poliestireno expandido (EPS) conglomerados con yeso o escayola para su uso en la construcción

EPS (expanded polystyrene) recycled bends mixed with plaster or stucco, some applications in building industry

Francisco Javier González Madariaga*, Joaquim Lloveras Macia**

RESUMEN

Se ha logrado ofrecer un grupo de 8 propuestas concretas para reciclaje de poliestireno expandido (EPS) que consiste en mezclar yeso o escayola y agua para constituir pastas que contienen residuos de EPS que se moldean como placas y paneles para la construcción. Se ha ensayado con muestras de pastas que van desde aquellas que contienen proporciones extremas de residuos hasta otras donde la presencia de agua para la preparación de las mezclas es inusualmente rica, también se han ensayado mezclas compuestas por proporciones intermedias de sus ingredientes. De las pastas con los mejores comportamientos en ensayos previos se han aplicado sus fórmulas en la fabricación de muestras de placas y paneles similares a los usados en la construcción. Los ensayos que se reportan aquí son para aplicación en placa constructiva: carga máxima a la flexión, resistencia al impacto, absorción de agua por inmersión, reacción al fuego y se determino su masa por unidad de superficie. Para la aplicación de las pastas como paneles aislantes han sido ensayados a la flexión y a la compresión, también se ha determinado su densidad aparente, reacción al fuego y absorción de agua por inmersión total. Las muestras se han caracterizado según las normas correspondientes y después se ha establecido una comparación con elementos similares hoy comunes en la construcción, de esto se permite señalar que con las pastas con residuos de EPS se pueden fabricar placas y paneles con algunas ventajas en relación a los existentes a lo que se le suma el beneficio medioambiental de reciclaje de EPS.

614-18

Palabras clave: reciclaje EPS, yeso, plásticos, pastas, paneles.

SUMMARY

This research project looks for to innovate in the management of expanded plastic materials wastes and to propose techniques that take advantage of the properties that those plastics still have at the time they are discarded to the urban wastes flow, such is the case of the expanded polystyrene wastes (EPS) which after being transformed in small particles and mixed with pastes made of standard gypsum and water in diverse proportions allows the production of different construction products. At the end of this paper two specific mixtures are described; the first useful for gypsum wallboard production, and the second one to manufacture a flat board for thermal isolation material. The EPS is a stiff cell plastic material produced from the molding of little spheres or pearls of expansible polystyrene that shows a closed structure made of this thermoplastic which contains trapped air in a 96-98% proportion of the volume of the pearls. Packaging is one of the main applications for this material hence EPS is a plenty waste in our society, it is also very popular in building construction where it is installed in air wall cameras and indoors covers; finally in a small proportion the plastic has other kind of applications like sport protections and commercial display.

Key words: EPS recycling, gypsum, plastics, pastes, panels.

* Universidad de Guadalajara, México

** Dept. de Projectos de Ingeniería. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.

1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo estudia una manera de reciclaje de residuos de EPS que permite aprovechar las propiedades que muestra este plástico al momento de ser enviado al flujo de los residuos, la forma de reciclaje consiste en la formación de mezclas de residuos acondicionados de EPS y un conglomerante hidráulico de yeso o escayola con agua. Aquí se ha ensayado con una serie de muestras que van desde aquéllas que contienen proporciones extremas de residuos de EPS hasta otras donde la proporción de agua presente para la preparación de las mezclas es inusualmente rica, también se han ensayado mezclas compuestas por proporciones intermedias de sus ingredientes. De entre las mezclas con los mejores comportamientos se han aplicado sus fórmulas en la fabricación de muestras de placas y paneles similares a los usados en la construcción, las muestras se han caracterizado según las normas correspondientes lo que permite señalar que con los nuevos materiales se pueden fabricar placas y paneles para la construcción con algunas ventajas en relación a los existentes.

1.1. Antecedentes

Existen investigaciones donde se aplican áridos ligeros o granulados ligeros a conglomerantes hidráulicos como el yeso o la escayola. Entre los áridos ligeros que se usan como agregados para el yeso o la escayola encontramos la arcilla expandida, la perlita y la vermiculita. Los agregados ligeros también han sido ensayados con perlas preexpandidas de EPS y gránulos de corcho con la posible adición de refuerzos mecánicos como la fibra de vidrio (1), algunos de estos materiales se proponen para la fabricación de paneles constructivos útiles para particiones de interiores y recubrimiento de muros (2).

También se tienen noticias acerca del uso de otros agregados aligerantes de yeso prensado como son residuos de papel periódico o de papel de imprenta. De la misma manera hay experiencias acerca del uso de agregados de partículas de madera para la obtención de paneles de yeso (3).

Las perlas de EPS también se han estudiado como cargas aligerantes de hormigón. Con líneas cercanas otros grupos de investigadores han preparado y ensayado materiales de cementos espumados y aligerados con gránulos de EPS (4).

2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Los ensayos sobre los materiales de interés y sus aplicaciones es la parte principal de la

investigación. La etapa experimental se llevo a cabo en tres fases. Debido a su extensión en este escrito sólo se describe de manera más extensa la tercera fase (C):

A. Trabajos previos a la experimentación

Los trabajos previos a la experimentación cumplieron con dos objetivos, uno: el de evaluar la facilidad de uso de dos formas de residuos de EPS; residuos cortados y residuos molidos. El segundo objetivo fue el de establecer una comparación simple entre un número reducido de mezclas con diferentes conglomerantes hidráulicos y residuos de EPS cortados y/o molidos.

B. Experimentación general

Del análisis de los resultados de la etapa A se limitó la experimentación general a 68 mezclas divididas en 8 grupos o conjuntos de trabajo. Cada conjunto está compuesto por mezclas con características similares de: tipo y proporción de yeso o escayola, cantidad de agua, tipo y porcentajes de residuos de EPS, uso de otros componentes como fibra de vidrio y papel, además del procedimiento de preparación de la muestra.

También en esta etapa se caracterizaron por su forma y tamaño los residuos molidos de EPS disponibles para el experimento y que fueron proporcionados por la ANAPE (Asociación Nacional del Poliestireno Expandido). Posteriormente, las 68 muestras se dividieron dos apartados considerando sus características y su potencial aplicación; *mezclas aptas para placas* y *mezclas aptas para paneles*. Después las muestras fueron sometidas a ensayos diseñados especialmente para esta etapa de la investigación. Para la aplicación potencial en *placas*, los ensayos fueron: comportamiento durante su manejo, peso por unidad de superficie, facilidad de fabricación y, finalmente, su apariencia. Para la aplicación potencial en *paneles*, los ensayos fueron; resistencia, peso por unidad de superficie, facilidad de fabricación, facilidad de maquinado, coste estimado y apariencia.

Las muestras fueron sometidas a dos rondas de ensayos consecutivas y se seleccionaron las mejores por sus puntajes obtenidos; la primera ronda produjo en total 15 mezclas de interés, de las cuales, en una segunda ronda, se redujeron a 8 mezclas: 4 para aplicación en placas y 4 para aplicación en paneles (5, 6).

C. Experimentación específica

Las ocho mezclas seleccionadas en la etapa B se ensayaron como se describe a partir del punto 3.

3. LOS ENSAYOS

La selección de ensayos usados en esta investigación busca ver el acercamiento de las 8 mezclas seleccionadas a lo indicado en las Normas de placa de yeso laminado y en las Normas de EPS. Los ensayos para placa de yeso son: 1. *Masa por unidad de superficie*, 2. *Resistencia a la flexión*, 3. *Resistencia al impacto*, 4. *Absorción de agua por inmersión total*, 5. *Reacción al fuego*.

Los ensayos para la aplicación como un panel de aislamiento térmico son: 1. *Densidad aparente*, 2. *Resistencia a la flexión*, 3. *Resistencia a la compresión*, 4. *Conductividad térmica*, y 5. *Reacción al fuego*, 6. *Absorción de agua por inmersión total*.

3.1. Materiales empleados en la experimentación

Para la fabricación de probetas se han usado los siguientes materiales:

Yesos disponibles en despachos para la construcción, de fraguado controlado o también llamado yeso lento (en adelante se abrevia como YC) y yesos de fraguado rápido o acelerado (en adelante se abrevia como YR), ambos son productos constituidos básicamente por sulfato cálcico semihidratado con varios grados de pureza y que pueden contener aditivos controladores de la velocidad de fraguado. Las aplicaciones usuales para ambos materiales son como ligantes para tabiquería de interiores y para trabajos de albañilería en general.

Escayola E-35 (en adelante se abrevia como E-35). Es un material similar al yeso que es usado para la fabricación y ligado de elementos prefabricados.

La E-35 es de gran blancura y se produce con dos fórmulas con tiempos de fraguado ligeramente diferentes; de fraguado lento que se usa en trabajos de repaso y acabado en muros o bien de fraguado rápido. Para la fabricación de las muestras ensayadas con E-35 se ha usado material de fraguado rápido

Aligerantes de gránulos de EPS:

Se han usado perlas expandidas de EPS como cargas de relleno, estos plásticos resultan de la molienda de envases y embalajes que provienen del flujo de residuos municipales. Los residuos molidos de EPS empleados han sido proporcionados por la ANAPE (Asociación Nacional del Poliestireno Expandido) a través de uno de sus miembros quienes recuperan y muelen los residuos para, posteriormente, comerciali-

zarlos con varios usos, como el de las perlas reexpandidas para formar nuevos productos o el de cargas aligerantes para termoarcillas.

Los residuos molidos que se usaron en la preparación de las muestras fueron caracterizados por el investigador atendiendo a su forma y tamaño de donde se desprende que están compuestos por perlas completas, perlas rotas (en el proceso de molienda) y por conjuntos de perlas o de trozos de perlas que no fueron separadas durante la molienda. Por su volumen, la composición de los residuos molidos aproximadamente es el siguiente: cuerpos esféricos con diámetros de hasta 3 mm (7%), entre 3-5 mm (45%) y de más de 5 mm (17%), también participan cuerpos troceados con (14%) y racimos de perlas (17%).

4. EXPERIMENTACIÓN

En este escrito cuando se mencionan las proporciones de agua y de residuos de EPS en una mezcla, siempre están en relación directa con el yeso o escayola usado en la fórmula que se trate es decir, todas las mezclas propuestas en esta investigación tienen tres componentes básicos: yeso o escayola, agua y residuos de EPS en distintas proporciones, según la propuesta que se trate; las cantidades siempre se indican en porcentaje con relación al peso seco del yeso o escayola.

Por cada fórmula de las 8 seleccionadas para placas (4) y paneles (4) se fabricó una serie de muestras para ser ensayadas de acuerdo a alguna de las Normas españolas y/o Europeas y/o Norteamericanas de placas de yeso laminado estándar y de paneles o planchas de espuma de EPS, que se describen más adelante. Además de las muestras que contienen residuos de EPS, se fabricaron o adaptaron dos grupos más de muestras que cumplieron como materiales de comparación. Estos dos grupos fueron: *muestras de referencia* (R) que son muestras fabricadas con las mismas fórmulas que aquéllas seleccionadas salvo que **no** contienen residuos de EPS. También se prepararon muestras de materiales estándar o de placa de yeso laminado y panel de EPS, estas muestras se denominan *muestras estándar o comerciales*.

Todas las muestras descritas fueron sometidas a ensayos y los resultados se resumen a partir del punto 4.1.

4.1. Experimentación de mezclas moldeadas en placas con usos similares a las placas de yeso estándar

Los materiales conglomerados y moldeados como placa que se ensayan muestran una

Tabla 1. Mezclas usadas para la fabricación de muestras para ensayos como placa

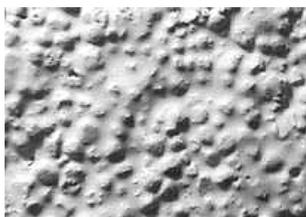


Figura 1. Cara rugosa de la muestra fabricada con la mezcla N° 4 (Tabla 1) donde se observan las siluetas de los residuos molidos de EPS recubiertos con el conglomerante de yeso o escayola.

Número	Fórmula
1	YC 100% + Agua al 120% + Molidos de EPS al 2%
2	YC 100% + Agua al 120% + Molidos de EPS al 3%
3	E 100% + Agua al 120% + Molidos de EPS al 3%
4	YR 100% + Agua al 80% + Molidos de EPS al 1,6%

cara que tiende a ser tersa y otra que es ligeramente rugosa (Figura 1). Se fabricaron en base a las siguientes fórmulas (Tabla 1).

Resultados de los ensayos de muestras con usos de placa de yeso estándar

4.1.1. *Determinación de la masa por unidad de superficie (UNE 102035/1M:2001)*

Se confirmó que es posible disminuir la masa por unidad de superficie en productos similares a la placa de yeso laminado por medio de la obtención de mezclas ricas en agua y/o a través de la integración de residuos molidos de EPS.

El ensayo determinó que a mayor proporción de agua en la mezcla y de residuos de EPS, corresponde una disminución de la densidad de la mezcla que se trate. De los resultados se han mostrado pérdidas de densidad que van del 44,5% (mezcla 3) y el 23,1% (mezcla 4) favorable a los materiales que contienen residuos molidos de espuma (Gráfica 1).

4.1.2. *Ensayo de carga máxima a la flexión (UNE 102035/1M:2001 y PrEN520 del AEN/CTN 102)*

Este ensayo evidenció la disminución de los valores de carga máxima a la flexión que experimentan los cuerpos de yeso o escayola cuando se han formulado con una alta proporción de agua o se les ha agregado con

residuos molidos de EPS, o cuando suceden los dos casos simultáneamente.

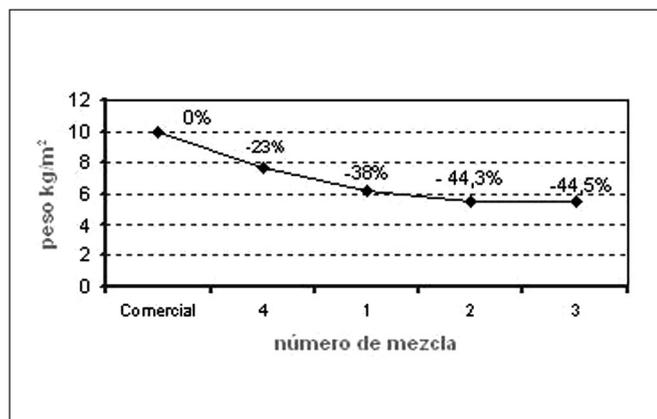
De las probetas formuladas con residuos de EPS, la mezcla seleccionada número 4 supera en 11% el mínimo requerido por la Norma correspondiente a placa de yeso laminado (210 N). De las otras mezclas, dos logran acercarse al 90% (mezcla 3) y 83% (mezcla 2) del valor requerido (Gráfica 2).

4.1.3. *Ensayo de resistencia al impacto (UNE 102035/1M:2001)*

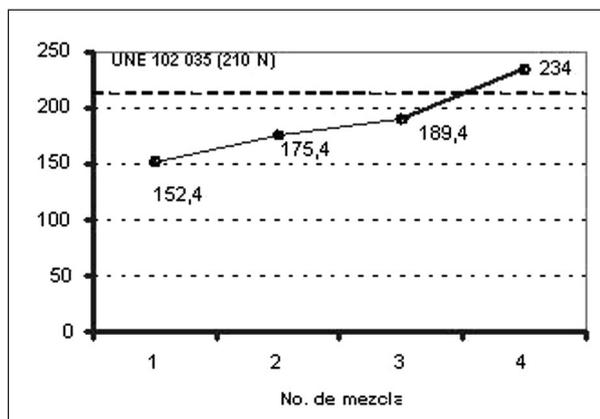
De la comparación de los tres grupos de materiales de placa durante el ensayo, los formulados con residuos de EPS son los más débiles al impacto.

La prueba, que consistió en la medición de la huella producida por la caída de una bola de acero sobre la cara de la probeta, señaló que las mezclas con residuos de EPS mostraron huellas que exceden hasta en un 15% a los diámetros permitidos en la Norma Española de Placas de yeso laminado (Gráfica 3).

A través de la observación de las dimensiones y formas de las huellas hechas sobre los materiales con residuos de EPS, se observó la heterogeneidad en la distribución de los residuos en la probeta y que es resultado, probablemente, de su producción artesanal.



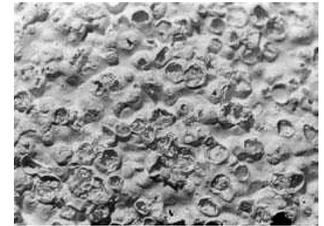
Gráfica 1. Comparación entre pesos de placas con 12,5 mm de espesor.



Gráfica 2. Carga máxima de rotura del ensayo de flexión de placas.

Tabla 2. Mezclas ensayadas para aplicaciones de panel, porcentajes en peso de conglomerante seco

Clave	Fórmula
Panel de EPS virgen	EPS tipo III densidad 15 kg/m ³
A	Escayola 100% + agua 500% + EPS Molido Grueso 35,1%
B	Escayola 100% + agua 300% + EPS Molido Grueso 14,4%
C	Escayola 100% + agua 200% + EPS Molido Grueso 8,1%
D	Escayola 100% + agua 120% + EPS Molido Fino 6,4%



4.1.4. *Absorción de agua por inmersión total (UNE 102035/1M:2001)*

El motivo para la aplicación de este ensayo es que la resistencia de los conglomerantes usados guarda relación con la presencia de agua en su estructura porosa. El ensayo comprobó la mayor tendencia a absorber agua de los nuevos materiales comparada con la absorción de las probetas de referencia (25% o más) y las comerciales (2,5% o más). Por otra parte, el regreso hacia el exterior del agua absorbida por las muestras durante el ensayo se produce más rápidamente en los nuevos materiales, lo cual puede representarles una ventaja debido a la más rápida recuperación de algunas de sus propiedades de resistencia cuando ha terminado la inmersión.

4.1.5. *Ensayo de reacción al fuego (adaptada de UNE EN ISO 11925-2:2002)*

El ensayo evidenció las conductas positivas de reacción al fuego de los materiales con residuos de EPS en las proporciones que se manejan aquí. Esta mejoría es producto de la naturaleza del conglomerante, la alta porosidad que resulta de su formulación y la forma como se da la combustión en el EPS que se produce de forma aislada al encontrarse envuelta en conglomerante y que, en última instancia, al consumirse deja en el cuerpo de yeso o escayola un nuevo poro (Figura 2) que puede cooperar al mejor comportamiento al fuego de la placa en la que participa. De acuerdo a los ensayos aplicados a los nuevos materiales se puede proponer una clasificación **B, s2, d0**, según Euroclases.

En los cinco ensayos anteriores se han caracterizado un grupo de 4 nuevos materiales formados por yeso o escayola y residuos de EPS que se pretende tengan aplicaciones similares a la placa estándar de yeso laminado. Los nuevos materiales han sido sometidos a ensayos normalizados para placa estándar; los resultados obtenidos indican una notable similitud de conductas de uno de los materiales a las del producto estándar señaladas en la Norma, mientras que los otros tres se acercan en mayor o menor medida.

4.2. Experimentación de mezclas conglomeradas comparables con paneles de EPS:

Los materiales ensayados con forma de panel tienen las siguientes características (Tabla 2):

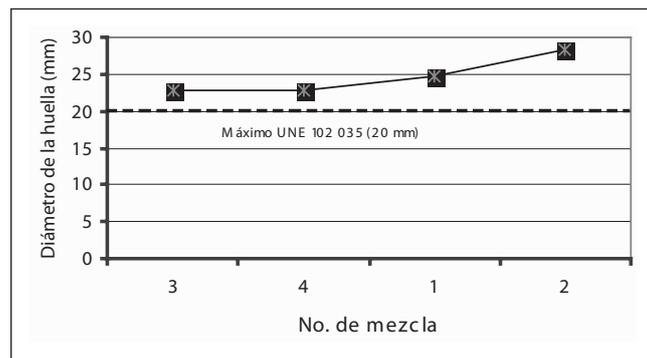
4.2.1. *Ensayo de densidad aparente de panel (UNE EN 1602:1997)*

El ensayo ha confirmado que todas las probetas de los materiales que incluyen partículas de EPS (Figura 3) tienen densidades notoriamente mayores que las de las espumas vírgenes; estas densidades comienzan con 65,4 kg/m³ (4,3 veces más) que la del EPS ensayado, de 15 kg/m³.

4.2.2. *Ensayo de flexión de panel (UNE 53204-2:2001)*

Durante el ensayo los nuevos materiales señalaron que 3 de las 4 mezclas de nuevos materiales superan con facilidad los mínimos marcados por la Norma para EPS virgen;

Figura 2. Detalle de la superficie de una placa ensayada (fórmula N° 3) donde se observan las cavidades que dejan las perlas de EPS después de ser expuestas al fuego.



Gráfica 3. Diámetro de huella (mm) del ensayo de resistencia al impacto de placas.

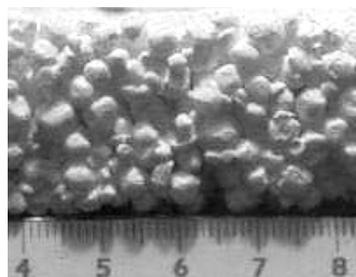
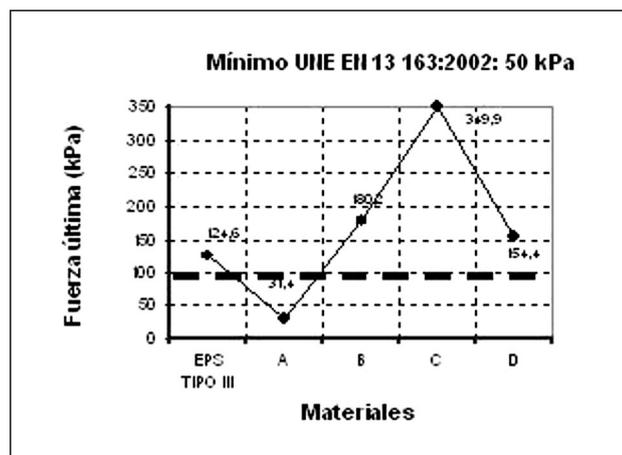
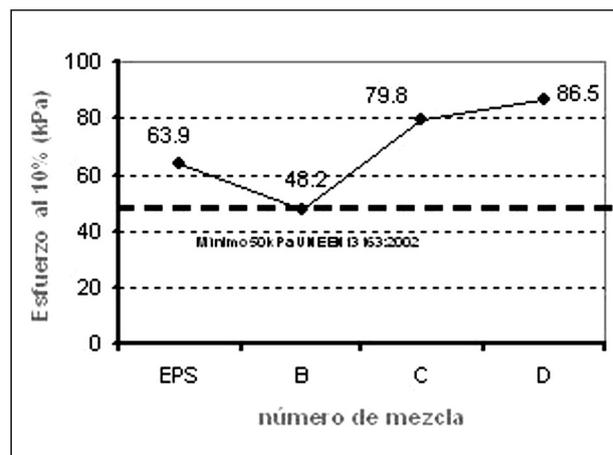


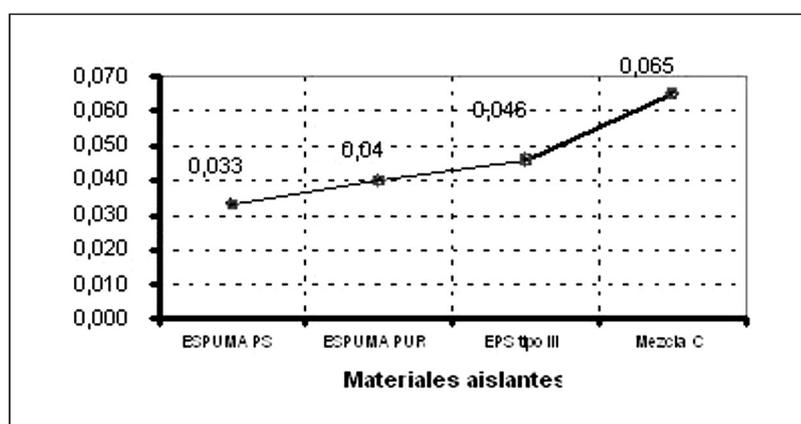
Figura 3. Sección de la probeta mezcla C donde se observa la distribución de los residuos molidos de EPS (referencias en cm).



Gráfica 4. Fuerza última a la flexión (kPa) de paneles ensayados.



Gráfica 5. Resistencia a la compresión de las mezclas ensayadas de panel.



Gráfica 6. Conductividad térmica de algunos materiales aislantes comparados con la conductividad de la mezcla C.

esos mismos valores pueden llegar a ser, en algunas mezclas, hasta 2,7 veces superiores a los de la espuma. Sin embargo, durante la observación de los desplazamientos del ensayo se evidencia que éstos son menores en los nuevos materiales (Gráfica 4).

4.2.3. Ensayo de compresión de panel (UNE 53205:2001)

El ensayo demostró la mejor resistencia a la compresión (hasta un 66% más) de los nuevos materiales sobre la del material virgen (EPS tipo III). Este comportamiento se puede explicar por la presencia del conglomerante de escayola que aporta a la mezcla sus características a este tipo de esfuerzos (Gráfica 5).

4.2.4. Ensayo de conductividad térmica de panel (UNE EN 13163:2002 y UNE 12667:2002)

Se indica en el ensayo que la mezcla con las mejores características generales (mezcla C) ofrece una conductividad térmica entre 0,063–0,067 W/mK (Gráfica 6) que corres-

ponde a 1,4–2,1 veces la conductividad declarada por el fabricante de EPS de baja y media densidad (0,030–0,046 W/mK).

Esta conductividad, aunque mayor en los nuevos materiales, puede resultar atractiva en aplicaciones de construcción donde las exigencias térmicas son menores.

4.2.5. Ensayo de reacción al fuego de panel (UNE 53127:2002)

El ensayo mostró conductas positivas de reacción al fuego de los nuevos materiales en comparación con los materiales comerciales y los de referencia. Se ha evidenciado que los nuevos materiales se consumen si son sometidos a una llama constante pero no la sostienen ni la promueven, ni producen humo, ni depositan gotas encendidas. De acuerdo a los ensayos efectuados es posible proponer una clasificación según las Euroclases de **C, s1, d0** para estos nuevos materiales.

4.2.6. Ensayo de absorción de agua por inmersión total de panel (adaptado de ISO 2896:2001 y ASTM D2842-01)

El ensayo confirmó la mayor tendencia a absorber agua de los nuevos materiales (20-27%) comparados con los materiales vírgenes de EPS (2,9%), esto resulta previsible dadas las diferencias de estructura entre un material compuesto y un material homogéneo (Tabla 3).

Se observó también la tendencia a la pérdida de resistencia mecánica por la absorción de agua del sólido de escayola, además de su propensión a disolverse durante una inmersión prolongada en agua. Esta última característica obligó a descartar para este ensayo a las mezclas A y B.

Tabla 3. Porcentajes de absorción de agua después de 96 h de inmersión total

Clave de mezcla	Fórmula	Absorción promedio V (%) en 96 h
Panel de EPS virgen tipo III	Indeterminada	2,9
C	Escayola 100+A 200 + Molido Grueso 8,1	20,7
D	Escayola 100+A 120 + Molido Grueso 6,1	24,1

Tabla 4. Propiedades de la mezcla seleccionada (N° 4) comparada con las de la placa de yeso estándar

No. de mezcla	Fórmula	Absorción agua %	Masa /vol ² (kg/m ³)	Resist. a la flexión (N)	Reacción al fuego (Euroclases)	Resistencia al impacto (ø mm)
4	Yeso rápido 100+A80+ MG 1,6 12,5 mm	56,1	7,69	234	B, s2, d0	22,29
-	Placa de yeso laminado, estándar (STD) 12,5 mm.	54,7	10	273	A2, s1, d0	17,3

Tabla 5. Aplicaciones de los materiales en elementos de uso similar a los paneles de espuma de EPS

Mezcla o material	Fórmula o descripción	Absorción de agua (%)	Densidad aparente ³ (kg/m ³)	Resist. a la flexión (kPa)	Cond. térmica (W/mK)	Reacción al fuego Euroclase	Resist. Comp. (kPa)
C	E100+A 500 +MG 8,1	20,7	193	349,9	0,065	C, s1, d0	79,7
Panel EPS	Tipo III Estándar	2,9	15	124,6	0,039	F	63,97

5. CONCLUSIONES

En general los ensayos aplicados a los nuevos materiales en forma de placa y de panel han aportado información importante que permite acercarse tanto a las ventajas como a las desventajas de los materiales y sus aplicaciones estudiadas. Los resultados apuntan hacia las buenas posibilidades de los materiales para su uso, pero también señalan inconvenientes que habrán de ser tomadas en cuenta durante su posible utilización.

Los materiales de interés muestran algunas desventajas frente a otros materiales comerciales; también se puede decir que esas desventajas pueden ser disminuidas o eliminadas por medio de la inclusión de aditivos o de refuerzos en los materiales propuestos. Abajo se describen con mayor detalle las conclusiones a este trabajo.

Materiales en elementos de uso similar a las placas de yeso estándar

De los resultados de los ensayos se puede determinar que la mezcla 4 es la que tiene el mejor balance de propiedades en referencia

la placa estándar. En la Tabla 4 se comparan las propiedades de los dos materiales.

Una ventaja principal de los materiales con residuos de EPS en placa está en su ligereza, donde una placa fabricada con la mezcla 4 con un espesor de 12,5 mm tiene un peso de 5,55 kg/m² mientras que una placa comercial del mismo espesor tiene su peso entre 9,8 y 10 kg/m². La pérdida de peso facilita la producción de las placas y su guarda en almacén así como también su traslado hacia el lugar de uso e instalación en obra, lo que permite el ahorro de energía y que puede traducirse en un beneficio medioambiental, el cual se une al hecho de dar uso a plásticos provenientes de reciclaje.

Los ensayos han confirmado las buenas características de reacción al fuego de los materiales propuestos, lo que ofrece una opción válida y atractiva para aplicaciones de construcción interior con mayor riesgo de incendio y donde la placa de yeso estándar puede resultar excesivamente pesada.

En varias de las comparaciones entre las resistencias mecánicas de las placas estándar, las placas de referencia y las placas fabricadas

con residuos de espuma integrados, se observa un mejor desempeño de los materiales comerciales. Se puede explicar que la pérdida de resistencia de los materiales con residuos molidos es producto de la rica proporción de agua empleada en la preparación de las pastas y a la utilización de residuos, de todo ello resulta un sólido ligero pero de alta porosidad y, por ello, más débil.

De los ensayos, se confirma que los nuevos materiales son potencialmente útiles para fabricar placas laminadas más ligeras que las estándar; sin embargo sus aplicaciones se deberán limitar a recubrimiento de muros y de usarse las placas aligeradas en particiones interiores será recomendable adosarlas a placas estándar con el fin de acceder a una resistencia aceptable para esa aplicación (Tabla 5). Dada la tendencia del material a absorber agua y con ello perder propiedades de resistencia mecánica, los mejores resultados se pueden obtener en materiales aligerados para muros planos interiores y que han de mantenerse a resguardo de la lluvia y de la humedad excesiva.

A lo largo de los ensayos se han establecido comparaciones de comportamientos entre las muestras de espuma virgen de EPS y

las muestras de escayola adicionadas con residuos de EPS.

En base al trabajo experimental se puede decir que los materiales que contienen partículas de espumas de plástico ensayados en este trabajo *son útiles en la construcción* como recubrimientos verticales rectos para muros interiores donde el requerimiento de aislamiento térmico no es crítico, esto es debido a que los valores de conductividad térmica de los paneles fabricados con los materiales que contienen partículas de plástico espumado son mayores que los paneles estándar de EPS.

Los paneles de materiales compuestos también son atractivos en la construcción para usarse como planchas de recubrimientos en muros con acabados como un enlucido delgado con pintura o la aplicación de recubrimiento con papel, en relación a este último acabado se deduce de los ensayos practicados a los materiales con partículas de plástico, que éstos han mostrado conductas de resistencia a la compresión y de reacción al fuego superiores a la de la espuma virgen y que permitiría sustituir el uso de paneles de EPS estándar sobre muros interiores.

REFERENCIAS

- (1) Río Merino, M., Domínguez, J. D.: "Escayola aligerada con sólidos celulares". *Informes de la Construcción*, Vol. 50 N°. 458, Madrid, noviembre-diciembre, 1998.
- (2) Río Merino, M., Santa Cruz, J., Hernández O. F.: Patente 2 170 612. OEPM. Madrid, 1999.
- (3) Haselein R. *et al.*: "Fabricação de chapas de partículas aglomeradas usando gesso como material cimentante". *Ciencia Forestal*, Vol. 12, N° 1 (2002), pp: 81-87
- (4) Laukaitis, A. *et al.*: "The effect of polystyrene granules on cement composite properties". *Cement & Concrete composites*. Vilnius Lithuania, 2005: Elsevier Ltd. Institute of thermal Insulation. 27, pp. 41-47.
- (5) González Madariaga, F. J., Lloveras Macia, J.: "Algunos resultados de los trabajos de experimentación acerca de la reutilización de espumas de poliestireno expandido". VIII International Congress on Project Engineering. Bilbao. 2004
- (6) González Madariaga, F. J.: "Caracterización de mezclas de Poliestireno expandido conglomerados con yeso o escayola, su uso en la construcción". Tesis Doctoral. Dirección: Joaquim Lloveras, M. ETSEIB.UPC. Barcelona 2005.

NORMAS EMPLEADAS EN LOS ENSAYOS QUE SE DESCRIBEN EN ESTE ARTÍCULO

Las normas que se señalan abajo se encontraban vigentes al momento de la realización del trabajo experimental (2005), sin embargo fueron derogadas en el mes de septiembre de 2006.

En el ensayo de la determinación de la masa por unidad de superficie (4.1.1):

UNE 102035/1M:2001. *Placas de yeso laminado. Métodos de ensayo*. Apartado 8. Determinación de la masa por unidad de superficie

En el ensayo de Flexión de placas (4.1.2):

UNE 102035/1M:2001 *Placas de yeso laminado. Métodos de ensayo*. Punto 9. Resistencia mecánica a la flexión. Apartado 9.3. Procedimiento.

En el ensayo de Resistencia al Impacto de placas (4.1.3):

UNE 102035/1M:2001 *Placa de yeso laminado. Métodos de ensayo*. Apartado 10. Resistencia al impacto.

En el ensayo de Absorción de Agua por inmersión total de placas (4.1.4):

UNE 102035/1M:2001 *Placa de yeso laminado. Métodos de ensayo*. Apartado 12. Capacidad de absorción de agua. Determinación de absorción total de agua.

UNE 102023:1998. *Placas de yeso laminado. Condiciones generales y especificaciones*.

UNE 102023:1998. *Placas de yeso laminado. Condiciones generales y especificaciones*.

Las siguientes normas se encuentran vigentes:

En el ensayo de Reacción al Fuego de placas(4.1.5):

UNE EN 13501-1:2002 *Clasificación en función del comportamiento frente al fuego de los productos de construcción y elementos para la edificación*. Parte 1: Clasificación a partir de datos obtenidos en ensayos de reacción al fuego.

UNE-EN ISO 11925-2:2002. *Ensayos de reacción al fuego de los materiales de construcción*. Inflamabilidad de los productos de construcción cuando se someten a la acción directa de la llama. Parte 2: Ensayo con una fuente de llama única. (ISO 11925-2:2002).

UNE-EN 13823:2002. *Ensayos de reacción al fuego de productos de construcción*. Productos de construcción excluyendo revestimientos de suelos expuestos al ataque térmico provocado por un único objeto ardiendo.

UNE-EN ISO 1182:2002. *Ensayos de reacción al fuego para productos de construcción*. Ensayo de no combustibilidad. (ISO 1182:2002).

UNE-EN ISO 1716:2002. *Ensayos de reacción al fuego de los productos de construcción*. Determinación del calor de combustión. (ISO 1716:2002).

En el ensayo de la Densidad Aparente de paneles (4.2.1):

UNE-EN 1602:1997. *Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación*. Determinación de la densidad aparente.

UNE-EN ISO 845:1996. *Plásticos y cauchos celulares*. Determinación de la densidad (volumétrica) aparente.(ISO 845:1988).

UNE-EN ISO 291:2004. *Plásticos*. *Atmósferas normalizadas para acondicionamiento y ensayos*. (ISO/DIS 291:2004).

En el ensayo de Flexión de paneles (4.2.2):

UNE 53204-2:2001. *Materiales Plásticos*. *Materiales celulares rígidos*. Parte 2: *Determinación de las propiedades de flexión*. Parte 2. Métodos de ensayo para determinar la resistencia a la flexión y el módulo de elasticidad en flexión aparente. AENOR. Madrid 2001.

UNE 53204-1:2001. *Materiales Plásticos*. *Materiales celulares rígidos*. Parte 1: *Ensayo de flexión*.

UNE-EN 13163:2001. *Productos aislantes térmicos para aplicación en la edificación*. *Productos manufacturados de poliestireno expandido (EPS)*. Especificación. AENOR. Madrid, febrero del 2002.

En el ensayo de Compresión de paneles (4.2.3):

UNE 53205:2001. *Plásticos*. *Materiales plásticos celulares rígidos*. Resistencia a la compresión. Especificación.

UNE-EN 13163:2001. *Productos aislantes térmicos para las aplicaciones en la edificación*. Productos manufacturados de poliestireno expandido (EPS). Especificaciones.

UNE-EN ISO 291:2004. *Plásticos*. *Atmósferas normalizadas para acondicionamiento y ensayos*. (ISO/DIS 291:2004).

En el ensayo de Conductividad Térmica de paneles (4.2.4):

UNE EN 13163:2002. *Productos aislantes térmicos para aplicación en la edificación*. *Productos manufacturados de poliestireno expandido (EPS)*. Especificación.

AENOR, Madrid, febrero del 2002.

UNE-EN 12667:2002. *Materiales de construcción*. *Determinación de la resistencia térmica por el método de la placa caliente guardada y el método del medidor de flujo de calor*. *Productos de alta y media resistencia térmica*.

AENOR, Madrid, julio del 2002.

En el ensayo de Reacción al Fuego de paneles :

UNE 53127:2002. *Plásticos celulares*. *Determinación de las características de combustión de probetas en posición horizontal sometidas a una llama pequeña*. Madrid, 2002.

UNE-EN ISO 11925-2:2002. *Ensayos de reacción al fuego de los materiales de construcción* . *Inflamabilidad de los productos de construcción cuando se someten a la acción directa de la llama*. Parte 2: *Ensayo con una fuente de llama única*. (ISO 11925-2:2002).

Madrid, 2002.

En el ensayo de Absorción de Agua por inmersión total de paneles (6.3.1):

ISO 2896:2001 *Rigid cellular plastics—Determination of water absorption*. International Organization for Standardization. Geneva Switzerland. 2001.

D 2842-01 *Estandard Test Method for Water Absorption of Rigid Cellular Plastics*. PA. USA 2001.

UNE-EN 13163:2002. *Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación*. Productos manufacturados de poliestireno expandido (EPS). Especificación.

UNE-EN 12087:1997. *Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación*. Determinación de la absorción de agua a largo plazo por inmersión.

* * *