

Análisis comparativo de las escayolas reforzadas con fibras para la elaboración de prefabricados



Comparative analysis of fibre-reinforced plasters for the production of precast elements



Daniel Ferrández¹, Pablo Saiz², Carlos Morón³ y Evangelina Atanes-Sánchez⁴

¹ Universidad Politécnica de Madrid. Departamento de Ingeniería de Organización, Administración de Empresas y Estadística. Calle de los Ciruelos - 28660 Boadilla del Monte, Madrid (España).

² Universidad Rey Juan Carlos. Dpto. de Economía Financiera, Contabilidad e Idioma Moderno. Paseo de los Artilleros, 38 - 28032 Madrid (España).

³ Universidad Politécnica de Madrid. Departamento de Tecnología de la Edificación. Av. Juan de Herrera, 6 - 28040 Madrid (España).

⁴ Universidad Politécnica de Madrid. Departamento de Ingeniería Mecánica, Química y Diseño Industrial. Ronda de Valencia, 3 - 28012 Madrid (España).

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/9576> | Recibido: 02/12/2019 • Inicio Evaluación: 03/12/2019 • Aceptado: 30/01/2020

ABSTRACT

- Gypsum is a material that has been widely used since ancient times in building and industrial construction. Due to the great development of prefabricated construction in the last years, diverse authors have tried to improve the properties of plaster panels and boards through its composition variations. The aim of this study is to determine what type of fibre, among the most used in plaster mixing ones, presents better properties to be used in prefabricated elements. For this, five types of fibres were used: two natural (wood and straw) and three synthetic (glass, basalt and polypropylene), performing all the tests according to the standard UNE-EN 132792:2006. The conclusions show after statistical analysis that fiberglass presents better results for its application in the production of gypsum prefabricated panels and boards.
- Key words:** gypsum-based composite, natural fibre, synthetic fibre, prefabricated.

RESUMEN

La escayola es un material ampliamente utilizado desde la antigüedad y que se emplea en gran cantidad de edificios y construcciones industriales. Debido al gran desarrollo que ha presentado la construcción prefabricada en los últimos años, diversos autores han tratado de mejorar las propiedades de los paneles y placas de escayola mediante variaciones en su composición. Este estudio tiene como objetivo determinar qué tipo de fibra de entre las más empleadas en el mercado para su utilización en el amasado de escayolas presenta mejores propiedades para su uso en prefabricados. Para ello, se han empleado cinco tipos de fibras, dos naturales (madera y paja) y tres sintéticas (vidrio, basalto y polipropileno) realizando todos los ensayos conforme marca la actual norma UNE-EN 132792:2006. Las conclusiones muestran tras el análisis estadístico, como la fibra de vidrio presenta mejores resultados para su aplicación en la fabricación de placas y paneles prefabricados de escayola.

Palabras clave: escayolas, fibras naturales, fibras sintéticas, prefabricados.

1. INTRODUCCIÓN

La escayola es un material de construcción ampliamente utilizado desde la antigüedad, caracterizado por ser un tipo de yeso con un índice de pureza, finura de molido y color blanco más pronunciado. Entre sus propiedades más destacadas se encuentran su rapidez de fraguado tras una reacción exotérmica, buena adherencia a los materiales cerámicos, dureza inversamente proporcio-

nal al contenido en agua de amasado, buen aislamiento térmico y acústico, ser un material incombustible y elevada capacidad de regulación higrotérmica [1-2]. Además, por su abundancia, su buena trabajabilidad y coste reducido, hacen de este conglomerante un material óptimo para su empleo directo en obra [3], siendo por tanto necesario conocer sus propiedades para poder estudiar su posterior comportamiento.

Entre las líneas de investigación actuales acerca de este tipo de materiales, encontramos tres tipos: las destinadas a mejorar sus propiedades como ligantes capaces de unir entre sí materiales de construcción [4], otras destinadas a la aplicación más industrializada de la escayola sobre paramentos interiores [5], y, por último, las destinadas a la elaboración de elementos prefabricados en la edificación [6].

En relación a esta última línea de investigación, varios autores se han centrado en el estudio de la viabilidad de la adición de fibras en la matriz de escayola durante el amasado para mejorar las características de estos materiales. Entre los estudios más recientes con fibras naturales destacan la adición de fibra de cáñamo para mejorar propiedades termo-mecánicas [7], la adición de fibra de abacá para prefabricados [8], o la adición de fibra de olivo para mejorar propiedades higrotérmicas [9]. En cuanto a las fibras artificiales, los avances más punteros son aquellos que se centran en la incorporación de nano partículas [9].

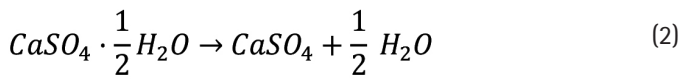
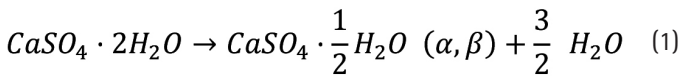
Además, debido al creciente impacto que el sector de la construcción ejerce sobre el medioambiente, algunos autores se han centrado en el empleo de fibras recicladas de lana de vidrio o de lana de roca, donde se presentan resultados que demuestran que es posible su sustitución para su uso en este tipo de materiales mejorando notablemente sus propiedades [10-11]. No obstante, en términos generales, todos los autores coinciden en que estas mejoras dependen del porcentaje de fibra añadido, de la longitud de la fibra, de su orientación y del grado de dispersión de la fibra en la matriz del material de escayola [12].

El objetivo de este trabajo es evaluar el comportamiento de las escayolas reforzadas con fibras para su empleo como materiales prefabricados. Para ello, se han empleado cinco tipos diferentes de fibra (tres sintéticas: polipropileno, vidrio y basalto, y dos naturales: madera y paja) y dos dosificaciones por cada tipo de mezcla. Además, se ha realizado el correspondiente análisis fisicoquímico de las escayolas empleadas para complementar los ensayos mecánicos, y se ha llevado a cabo un análisis estadístico de los resultados para determinar cual de las dosificaciones empleadas presenta mejores prestaciones.

2. DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

2.1. MATERIALES Y DOSIFICACIONES EMPLEADAS

El material base empleado en este trabajo ha sido la escayola de construcción E35 [13]. El fundamento de la cocción de este tipo de material para su empleo en la construcción lleva asociado el siguiente esquema básico de reacciones partiendo de la materia prima del Algez.



Así pues, a temperaturas en torno a 105-110°C las moléculas débilmente combinadas del dihidrato (DH) se eliminan con facilidad para obtener el compuesto conocido como hemihidrato (HH), en sus formas α (más compacto y de mayor resistencia), o β (más soluble y menos estable). Por su parte, el hemihidrato también sufre una deshidratación endotérmica para obtener anhidrita III a temperaturas cercanas a los 200°C [14].

Para la caracterización fisicoquímica de la Escayola empleada se ha realizado un ensayo de Difracción de Rayos X (DRX) y un análisis termogravimétrico de las muestras en polvo. Para el ensayo de DRX se ha empleado un equipo *Siemens Krystalloflex D5000*, con un monocromador de grafito con Cu ka. Con este equipo se ha obtenido el difractograma en un rango de 5° ≤ 2θ ≤ 100° cada 0.04°, 1 segundo por paso, que se presenta en la Figura 1 tanto para la muestra del material base, como para la muestra en polvo de la probeta endurecida a 7 días.

Del análisis de la Figura 1 se deduce que en la escayola se identifica únicamente hemihidrato, mientras que en la probeta endurecida a siete días se observa únicamente la fase dihidrato una vez finalizado el proceso de fraguado del material [15].

Por otro lado, también se ha realizado un análisis termogravimétrico de la escayola empleada con ayuda de un equipo *SDT Q600 de TA Instruments* que se presenta en la Figura 2. El análisis fue llevado a cabo desde temperatura ambiente hasta 400°C a velocidad de 5°C/min y un caudal de aire filtrado de 100 ml/min, para muestras de aproximadamente 40 mg de masa.

Del análisis de la Figura 2 se observa una pequeña pérdida inicial de masa de en torno al 0,45% a causa de la humedad superficial presente en la materia prima por debajo de los 80°C. A continuación, se aprecia una segunda pérdida de peso comprendida entre los 75-180°C debido a la deshidratación endotérmica del hemihidrato para la obtención de anhidrita soluble [16-17], con un máximo de 130°C que supone una pérdida de masa cercana

al 5,8%. Por otro lado, la transformación de fase de la anhidrita soluble a anhidrita insoluble no conlleva pérdida de peso asociada, y se observa claramente como evento exotérmico en la escayola a 344°C. Esta temperatura indica que la muestra de escayola contiene la fase β del hemihidrato. La cantidad de Hemihidrato en base húmeda fue de entorno al 93,8% y en base seca cerca del 94,3%, lo cual refleja su elevada pureza.

De otra parte, para mejorar las propiedades mecánicas de las escayolas en su uso como prefabricados industriales se emplearon cinco tipos de fibra diferentes mostrados en la Figura 3. De entre las fibras, encontramos dos naturales y tres sintéticas que no han sufrido ningún proceso de reciclaje cuyas propiedades más relevantes se muestran en la Tabla 1. Las fibras fueron cortadas de forma homogénea a la misma longitud. Además, en dicha tabla, se incluyen también las dosificaciones empleadas para la realización de este estudio.

La preparación de todas las amasadas se realizó con la misma técnica y equipos siguiendo la norma de referencia UNE-EN 13279-2:2009 [18].

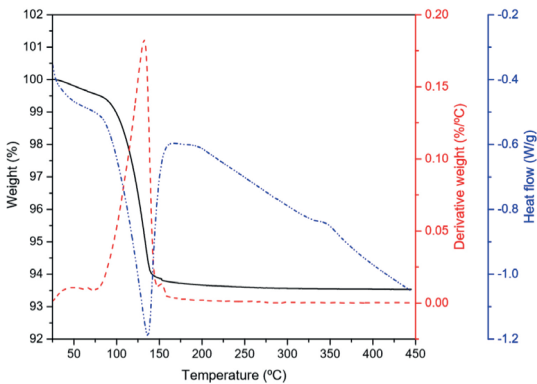


Figura 2: Análisis Termo-gravimétrico de la escayola E35 empleada

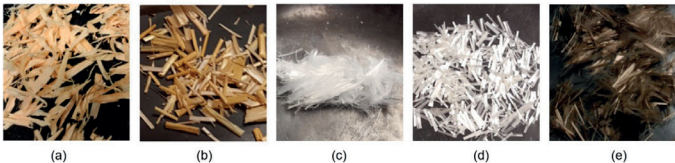


Figura 3: Tipos de fibra empleadas. (a) Madera; (b) Paja; (c) Polipropileno; (d) Vidrio; (e) Basalto

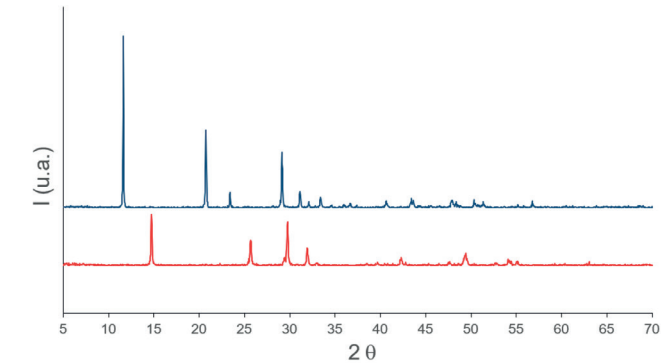


Figura 1: Difractograma de Rayos X de la escayola E35 empleada (rojo) y de la probeta de escayola tras el amasado y endurecida a siete días (azul)

Propiedades de las Fibras empleadas							
Tipo	Densidad (g/cm³)	Módulo de elasticidad (GPa)				Medida	
Paja de trigo (FP)	0,34	3				12 mm	
Madera de pino (FM)	0,45	17					
Polipropileno (FPP)	0,91	43					
Vidrio (FV)	2,68	72					
Basalto (FB)	2,75	91					
Dosificaciones empleadas							
Denominación	E35 (g)	Agua (g)	FM (g)	FP (g)	FPP (g)	FV (g)	FB (g)
E35-0,6	1000	600	-	-	-	-	-
E35-0,8		800	-	-	-	-	-
E35-0,6-FM		600	7	-	-	-	--
E35-0,8-FM		800	7	-	-	-	-
E35-0,6-FP		600	-	7	-	-	-
E35-0,8-FP		800	-	7	-	-	-
E35-0,6-FPP		600	-	-	5	-	-
E35-0,8-FPP		800	-	-	5	-	-
E35-0,6-FV		600	-	-	-	2,5	-
E35-0,8-FV		800	-	-	-	2,5	-
E35-0,6-FB		600	-	-	-	-	2,5
E35-0,8-FB		800	-	-	-	-	2,5

Tabla 1: Propiedades de las fibras y dosificaciones empleadas

Ensayos complementarios realizados				
Tipo	Dureza (Shore C)	Adherencia (N/mm ²)	Densidad (kg/m ³)	Capilaridad (mm)
E35-0,6	70,2	0,62	1254,0	44
E35-0,8	42,6	0,51	1105,7	43
E35-0,6-FM	71,4	0,37	1248,2	43
E35-0,8-FM	43,3	0,32	1095,5	44
E35-0,6-FP	63,4	0,33	1190,2	50
E35-0,8-FP	38,6	0,28	1035,8	55
E35-0,6-FPP	68,8	0,51	1253,9	46
E35-0,8-FPP	42,2	0,42	1115,4	47
E35-0,6-FV	77	0,48	1263,1	40
E35-0,8-FV	51,4	0,40	1140,6	42
E35-0,6-FB	67,4	0,48	1248,4	45
E35-0,8-FB	41	0,41	1093,5	50

Pérdidas de masa. Análisis termogravimétrico.					
Probeta	Día	Δm_{TOT} (%)	Δm_{H2O} (%)	Δm_{DH} (%)	Δm_{HH} (%)
E35-0,6	1	30,1	13,3	11,9	4,9
E35-0,6	7	21,2	0,3	15,2	5,5
E35-0,8	1	33,4	16,4	12,5	4,5
E35-0,8	7	20,8	0,5	15,5	4,8

Tabla 2: Otros ensayos realizados

2.2. METODOLOGÍA

En una primera fase, para la determinación de la fibra más adecuada para la elaboración de prefabricados de entre las estudiadas en este trabajo se han llevado a cabo una serie de ensayos mecánicos recogidos en la norma UNE-EN 13279-2 [18]. Los ensayos se realizaron sobre probetas normalizadas RILEM de dimensiones 40x40x160 cm³, y sobre testigos de diámetro 50 mm y espesor superior a 1 mm elaborados sobre soportes cerámicos para el ensayo de adherencia, curadas en laboratorio a temperatura constante de 20°C y humedad del 60%. El proceso de amasado se realizó siguiendo las recomendaciones de la citada norma y cumpliendo con las prescripciones técnicas recogidas para el ensayo de la aguja de Vicat, con la salvedad de que la adición de fibras se realizó espolvoreándolas previamente sobre el agua de amasado para facilitar la mezcla y su adecuada distribución.

Respecto a los ensayos de caracterización mecánica, estos se realizaron a los siete días cuando la masa se encontraba totalmente endurecida y el proceso de fraguado se puede considerar finalizado. Los ensayos realizados fueron los de flexión, compresión, dureza y adherencia, además, también se estudio la pérdida de agua y la evolución del hemihidrato y el dihidrato de las probetas de referencia mediante análisis termogravimétrico.

De cara al análisis de los resultados y con el objetivo de determinar el efecto y la diferencia que ofrece la incorporación de fibras en las amasadas realizadas, se ha llevado a cabo un análisis de la varianza (ANOVA) para las diferentes variables respuesta ensayadas. Además, para determinar que medias son significativamente diferentes unas de otras, se ha empleado la prueba de múltiples rangos. Se han utilizado dos factores: dosificación (con niveles de 0,6 y 0,8 según el contenido en agua de amasado) y tipo de fibra (que puede ser como se ha comentado de madera, paja, polipropi-

leno, basalto o vidrio). Para validar la diagnosis del modelo se ha comprobado que los residuos cumplen: independencia, homocedasticidad y normalidad para cada variable respuesta analizada.

Con el objetivo de mejorar así la caracterización del material, en una segunda fase, se realizaron los ensayos de conductividad térmica en probetas de 40x40x 40 mm³ y absorción acústica en probetas cilíndricas de 35 mm de diámetro y 20 mm de espesor sobre la amasada con fibras que mejores prestaciones mecánicas ha obtenido en la primera fase de ensayos.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

Todos los ensayos realizados se han llevado a cabo siguiendo los pasos de la ya mencionada norma UNE-EN 13279-2 [18]. Antes de comenzar los ensayos mecánicos y de caracterización, se estudio el tiempo de trabajabilidad de la mezcla mediante el método de la aguja de Vicat, obteniendo para todas las dosificaciones tiempos por encima de los 20 minutos exigidos por la normativa para los yesos de aplicación manual.

En la Figura 4 se muestran los valores alcanzados para los ensayos mecánicos de flexión y compresión, donde se puede ver como las probetas con adición de fibra de vidrio presentan unas resistencias superiores a las del resto de amasadas. En cuanto a las fibras naturales, aunque con valores inferiores que la anterior, la fibra de madera presenta mejores resultados que la fibra de paja.

En la Tabla 2 se recogen los restantes ensayos realizados para cada una de las dosificaciones.

Como se puede apreciar en la Tabla 2 las escayolas reforzadas con fibras de vidrio son las que mejores resultados presentan tras los ensayos. Además, al igual que ocurría con la flexión y la compresión, las probetas con dosificación 0,6 presentan mejor comportamiento y se postulan como idóneas para la realización prefabricados industriales. Se puede ver también, como la adición de fibras disminuye la adherencia respecto a las probetas de referencia. En cuanto a la densidad, íntimamente ligada con el peso propio de los paneles, esta es inferior en las probetas con dosificación 0,8, lo cual hace que también tenga mayor porosidad y menor resistencia, no siendo por tanto una ventaja significativa a pesar de ser más ligeras.

En el análisis térmico se muestran tres pérdidas de masa correspondientes a todos los eventos endotérmicos, indicando también la perdida de masa total de cada probeta en porcentaje. Una primera pérdida de masa es debida a la evaporación del agua libre sin combinar, a temperaturas cercanas a los 100°C. Posteriormente, se aprecia otra pérdida de masa esta vez a temperaturas de aproximadamente 125°C, y que está asociada a la deshidratación de dihidrato formado durante el fraguado del material. La última pérdida de masa se corresponde con la deshidratación de hemihidrato para obtener anhidrita cuyas temperaturas de obtención sobrepasan los 140°C. Se pueden apreciar a su vez las diferentes composiciones entre dosificaciones, y la mayor pérdida de agua en el caso de la dosificación 0,8.

3.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y DISCUSIÓN

Para comprobar que factores tenían influencia en cada una de las propiedades analizadas se ha llevado a cabo un análisis de la varianza (ANOVA).

Todos los p-valores obtenidos han presentado un nivel de significancia inferior al 5%, afirmando que tanto el porcentaje de fibra y la dosificación empleada tienen una influencia significativa sobre las propiedades de las escayolas analizadas en esta investigación.

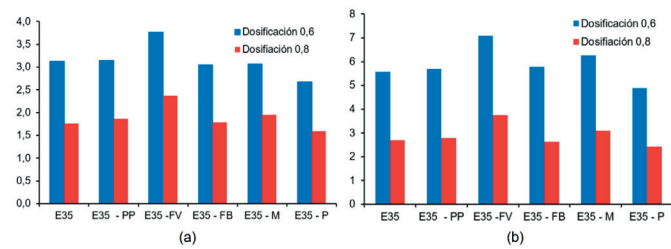


Figura 4: Resultados de los ensayos de Flexión (a) y Compresión (b)

Ensayo de Flexión (MPa)				Ensayos de Compresión (MPa)			
Fibra	$\bar{X}$	σ	Homogeneidad	Fibra	$\bar{X}$	σ	Homogeneidad
FP	2.1202	0,04281	X	FP	3,663	0,09128	X
FB	2,4198	0,04281	X	FB	4,195	0,09128	X
FPP	2,5068	0,04281	X	FPP	4,195	0,09128	X
FM	2,5283	0,04281	X	FM	4,638	0,09128	X
FV	3,0465	0,04281	X	FV	5,425	0,09128	X
Ensayo de Dureza (Ud. Shore C)				Ensayos de Adherencia (MPa)			
Fibra	$\bar{X}$	σ	Homogeneidad	Fibra	$\bar{X}$	σ	Homogeneidad
FP	50,833	0.0435	X	FP	0,2967	0.00538	X
FB	54,267	0.0435	X	FM	0,3367	0.00538	X
FPP	55,617	0.0435	X	FV	0,4350	0.00538	X
FM	57,400	0.0435	X	FB	0,4450	0.00538	X
FV	64,083	0.0435	X	FPP	0,4633	0.00538	X
Densidad (kg/m ³)				Absorción por Capilaridad (mm)			
Fibra	$\bar{X}$	σ	Homogeneidad	Fibra	$\bar{X}$	σ	Homogeneidad
FP	1115,12	6,31642	X	FV	40,83	0,78114	X
FB	1168,63	6,31642	X	FM	43,50	0,78114	X
FM	1172,03	6,31642	XX	FPP	46,12	0,78114	X
FPP	1188,53	6,31642	XX	FB	47,50	0,78114	X
FV	1202,87	6,31642	X	FP	52,00	0,78114	X

Tabla 3: Pruebas de múltiples rangos según el tipo de fibra

E35-0,6-FV												
$f\ (Hz)$	100	160	200	315	400	500	630	800	1000	1600	2000	5000
α	0,00	0,00	0,01	0,08	0,05	0,06	0,10	0,09	0,06	0,04	0,05	0,06
E35-0,8-FV												
$f\ (Hz)$	100	160	200	315	400	500	630	800	1000	1600	2000	5000
α	0,00	0,00	0,02	0,10	0,09	0,09	0,12	0,14	0,15	0,09	0,08	0,11

Tabla 4: Ensayo de tubo de Kundt

Mas concretamente, para el caso de las dosificaciones, las amasadas con proporción 0,6 presentaron mejores valores en cuanto a sus propiedades mecánicas, mayor densidad y menor absorción por capilaridad que las amasadas con proporción 0,8. Esto es debido a la menor cantidad de agua durante el amasado, que disminuye la porosidad y la humedad en el momento del ensayo a los siete días.

En la Tabla 3, se puede ver los resultados de la prueba de múltiples rangos para las escayolas reforzadas según el tipo de fibra empleada. Del análisis de estos resultados se deriva que las amasadas reforzadas con fibra de vidrio presentan mejores propiedades frente a la flexión, compresión, dureza y adherencia, siendo las amasadas reforzadas con fibra de paja las que peores resultados presentaron en comparación con las restantes fibras. En cuanto a las densidades, aunque no existen diferencias entre varios grupos, las amasadas de fibra de vidrio y de polipropileno son las que mayores resultados presentaron, y por tanto las que poseen un mayor peso propio. Respecto a la prueba de absorción por capilaridad a los 10 minutos el comportamiento de las escayolas reforzadas con fibra de paja fue el que mayores coeficientes de absorción presentó.

Así pues, las amasadas de escayola reforzadas con fibra de vidrio fueron las que mejores resultados presentaron. Tras comprobar su eficacia para la construcción de paneles y placas prefabricadas, se determinó también su conductividad térmica y absorción acústica. Para la primera en el caso de las amasadas con relación agua/conglomerante de 0,6 el valor de conductividad térmica fue de 0,42 W/(mK) y para el caso de las dosificaciones con proporción 0,8 su valor fue de 0,38 W/(mK).

Respecto al coeficiente de absorción acústica (α) representado por el cociente entre la energía sonora absorbida y la energía sonora incidente toma los valores presentados en la Tabla 4. En ella se aprecia el mejor comportamiento de la dosificación con relación agua/escayola de 0,8.

4. CONCLUSIONES

En esta investigación se ha estudiado el comportamiento que presentan las escayolas reforzadas con diferentes tipos de fibra para la ejecución de prefabricados. Mediante el análisis termogravimétrico se ha podido comprobar la evolución del dihidrato y del hemihidrato en las dos dosificaciones empleadas ya que guarda estrecha relación con la cantidad de agua de amasado empleada y las propiedades mecánicas del material.

Las dosificaciones con relación agua/escayola de 0,6 han presentado mejores resultados en los ensayos mecánicos realizados que las probetas con relación 0,8. Además, las propiedades físicas de la escayola se han visto modificadas con la adición de fibras en su matriz. Concretamente, la capacidad de absorción de energía de las escayolas, tanto a flexión como a compresión, aumenta considerablemente con el refuerzo con fibras, si bien es cierto, que la adherencia se ve disminuida.

En base al análisis estadístico realizado, la fibra de vidrio es la que se postula como mejor tipo de refuerzo para las escayolas tras los ensayos y análisis estadísticos realizados. En general, las fibras sintéticas presentan mejores resultados que las fibras naturales, siendo de entre estas últimas, la fibra de madera la que presenta mejores propiedades frente a la fibra de paja. En cualquier caso, este tipo de refuerzos se presentan idóneos para la fabricación de placas para falsos techos o paneles de tabiquería con mayores resistencias mecánicas, térmicas y acústicas, además de presentar un proceso de amasado sencillo y fácilmente industrializable.

REFERENCIAS

[1] Krejsova, J.; Dolezelova, M.; Pernicova, R.; Svora, P.; Vimrová, A. (2018). The influence of different aggregates on the behavior and properties of gypsum mortars. Cement and Concrete Composites, 92, pp. 188-197. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2018.06.007>.

[2] Tejela, J. (2011). Prefabricado de placas de yeso laminado. Editorial: Fundación de la construcción, ISBN: 978-84-15205-08-1.

[3] Del Río, M. (2004). Aplicaciones del yeso y la escayola en la edificación. Nuevas aplicaciones. Informes de la Construcción, 56 (493), 53 - 60.

[4] Santos, T.; Faria, P.; Silva, V. (2019). Can an earth plaster be efficient when applied on different masonries? Journal of Building Engineering, 23, pp. 314-323. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jobe.2019.02.011>.

[5] Dancygier, A.N.; Baum, H.; Turgeman, H. (2009). Adhesion of plaster coatings to RC walls subjected to bending. Construction and Building Materials, 23, prep. 1815-1727. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.09.028>.

[6] Kryziak, P. (2019). The impact of construction quality on the safety of prefabricated multi-family dwellings. Engineering Failure Analysis, 100, pp. 37-48. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.02.042>.

[7] Lucolano, F.; Liguori, B.; Aprea, P.; Caputo, D. (2018). Thermo-mechanical behaviour of hemp fibres-reinforced gypsum plasters. Construction and Building Materials, 185, pp. 256-263. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.07.036>.

[8] Lucolano, F.; Caputo, D.; Leboffe, F.; Liguori, B. (2015). Mechanical behavior of plaster reinforced with abaca fibers. Construction and Building Materials, 99, pp. 184-191. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.09.020>.

[9] Liuzzi, S.; Rubino, C.; Stefanizzi, P.; Petrella, A.; Boghetich, A.; Casavola, C.; Pappaletta, G. (2018). Hygrothermal properties of clayey plasters with olive fibers. Construction and Building Materials, 158, pp. 24-32. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.10.013>.

[10] Senff, L.; Ascensao, G.; Ferreira, V.M.; Seabra, M.P.; Labrincha, J.A. (2018). Development of multifunctional plaster using nano-TiO2 and distinct particle size cellulose fibers. Energy and Buildings, 158, pp. 721-735. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.10.060>.

[11] Romaniega Piñeiro, S.; Del Río Merino, M.; Pérez García, C.; San Antonio González, A. (2013). Refuerzo de la escayola mediante fibras de lana mineral Procedentes del reciclaje de RCD. I Congreso Internacional de Construcción Sostenible y Soluciones Ecoeficientes, pp. 136-144. ISBN: 9788469577400.

[12] Corinaldesi, V.; Donnini, J.; Nardinocchi, A. (2015). Lightweight plasters containing plastic waste for sustainable and energy-efficient building. Construction and Building Materials, 94, pp. 337-345. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.07.069>.

[13] UNE-EN 13279-1:2009. Gypsum binders and gypsum plasters - Part 1: Definitions and requirements.

[14] Kesikodou, F.; Stefanidou, M. (2019). Natural fiber-reinforced mortars. Journal of Building Engineering, 25, 100876. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100786>.

[15] Villanueva, L.; García, A. (2001). Manual del yeso. CIE Inversiones, Editoriales Dossat, S.L. 2000. ISBN: 978-8495312464.

[16] Strydom, C.A.; Potgieter, J.H. (1999). Dehydration behaviour of a natural gypsum and a phosphogypsum during milling. Thermochimica Acta, 332(1), pp. 89-96. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0040-6031\(99\)00083-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0040-6031(99)00083-0).

[17] Mettler Toledo (2010). Thermal Analysis Application No. UC 264: Determination of calcium sulfate dihydrate and hemihydrate in cement.

[18] UNE-EN 13279-2:2014. Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 2: Métodos de ensayo. 28 de Mayo de 2014.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer la colaboración prestada por los Laboratorios de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Diseño Industrial de la Universidad Politécnica de Madrid para la realización de los análisis fisicoquímicos presentados.