



CONTART

PANELES DE YESO ADICIONADOS CON RESIDUOS PLÁSTICOS DE CABLES CON MEJORA DE LAS PROPIEDADES FRENTE A HUMEDADES INTERIORES

Vidales Barriguete A.¹, Piña Ramírez C.¹, Del Río Merino M.¹, Atanes Sánchez E.¹, Kalinowska Wichrowska K.², Kosior Kazberuk M.²

¹Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España

²Bialystok University of Technology, Bialystok, Polonia

PALABRAS CLAVE: Compuestos De Yeso, Residuos Plásticos, Impermeabilidad, Yesos Adicionados

RESUMEN

La realidad de las edificaciones es que presentan defectos en su construcción y uno de ellos, muy habitual, es la aparición de humedades en paramentos interiores. Esta patología puede afectar no solo a la durabilidad de los materiales sino, también, al confort térmico, la calidad del aire interior o al consumo de energía, pudiendo llegar incluso a ocasionar problemas de salud en sus habitantes. Una de las soluciones al problema se basa en la utilización de materiales con propiedades impermeables con el que poder controlarlo.

Los paneles de yeso son uno de los sistemas constructivos más utilizado tanto en trasdosados como en divisiones interiores de edificaciones. Tienen la capacidad de equilibrar las estancias, absorbiendo el exceso de humedad y devolviéndola cuando el ambiente está seco, por lo que se consideran buenos reguladores higrotérmicos naturales. Esta avidez por el agua, cuando llega al 1%, supone un problema debido a que la resistencia del material baja a la mitad y empieza su deterioro. Los materiales plásticos, por su parte, presentan como propiedad su casi total impermeabilidad, su ligereza y su durabilidad y, por el contrario, presentan un gran problema a la hora de su reciclaje. En esta investigación se analizaron las propiedades frente a la acción del agua de paneles de yeso en los que se incorporó en su matriz, residuos plásticos de cables procedentes del reciclaje.

Para ello se llevó a cabo un proceso experimental en el que se fabricaron probetas de escayola, con relación en masa de agua/escayola 0,8, a las que se incorporó residuo plástico de cables (de granulometría máxima 3mm), en proporciones 50%-60%-70% también sobre la masa de la escayola. En todos los ensayos se realizó una serie de referencia (sin residuo) con la que poder comparar los resultados.

Finalmente, se sometió a las probetas a los siguientes ensayos: absorción de agua por capilaridad, permeabilidad al vapor de agua, cámara húmeda, ciclos de humedad-secado y absorción total de agua. Además, se realizó el ensayo de porosimetría de mercurio para determinar el volumen de poros y su distribución de tamaños, con el fin de relacionar los resultados con el comportamiento de los compuestos frente al agua.

En los resultados obtenidos se observa un magnífico comportamiento de los paneles frente a la



CONTART

acción del agua como consecuencia de la contribución impermeabilizante del residuo plástico y de la menor cantidad de poros existente en su estructura. Es decir, se consigue una disminución significativa de la capacidad de retención y absorción de agua de los compuestos que, sin embargo, mantienen su propiedad higrotérmica en valores aceptables. Por lo tanto, la producción de paneles de yeso adicionados con residuos plásticos de cables se considera una buena solución para minimizar la aparición de humedades dentro de las edificaciones, sin que por ello quede afectada la regulación de la humedad relativa de sus estancias, resultando una alternativa viable a los paneles de yeso tradicionales.

INTRODUCCIÓN

Uno de los defectos más habituales en la construcción de edificaciones es la aparición de humedades en paramentos interiores. Esta patología presenta diferentes formas de exteriorizarse [1] y origen diverso: residual, atmosférico, terreno, de obra, etc. [2]. Las humedades pueden afectar no solo a la durabilidad de los materiales sino, también, al confort térmico, la calidad del aire interior o al consumo de energía, pudiendo llegar incluso a ocasionar problemas de salud en sus habitantes [3]. Una de las soluciones al problema se basa en la utilización de materiales con propiedades impermeables. Esta posibilidad de método pasivo, trata de "*moderar la humedad en ambientes cerrados sin necesidad de consumo de energía*" [4].

Los paneles de yeso son uno de los sistemas constructivos más utilizado tanto en trasdosados como en divisiones interiores de edificaciones [5], [6]. Se trata de un sistema de rápida y fácil instalación, que no necesita de mano de obra cualificada [7]. Entre sus características, destacan su baja solubilidad en agua y su gran capacidad de equilibrar las estancias, absorbiendo el exceso de humedad y devolviéndola cuando el ambiente está seco, por lo que se consideran buenos reguladores higrotérmicos naturales. Por el contrario, esta avidez por el agua, cuando llega al 1% de humedad, produce un efecto negativo en el panel puesto que disminuye su resistencia a la mitad y empieza su deterioro [8]. Desde que en 1888 Augustine Sackett y Fred L. Kane fabricaran la primera placa de yeso laminado como elemento sencillo y protector de las estructuras de la época, se han sucedido numerosas investigaciones tratando de encontrar compuestos de yeso con los que mejorar su densidad, sus resistencias mecánicas, su comportamiento térmico y acústico, sus tiempos de fraguado y endurecimiento, su capacidad de absorción de agua, su comportamiento ante el fuego, etc [9].

Los plásticos, por su parte, son los materiales dominantes de nuestra economía moderna [10]. Presentan propiedades de casi total impermeabilidad, ligereza, durabilidad y bajo precio. A su vez, encuentran un gran problema a la hora de su reciclaje [11], que está generando cambios en los procedimientos de algunas compañías que adquieren compromisos de rediseño e innovación tratando de aportar a la sostenibilidad.

En la actualidad, algunos investigadores han realizado estudios sobre la incorporación de residuos plásticos en matrices de distintos materiales, como alternativa a la utilización de recursos naturales y para minimizar la acumulación de dichos residuos. Se han obtenido en ellos menores densidades, mejoras en la resistencia térmica y una disminución en la capacidad de absorción de agua [12],



CONTART

[13] [14]. También se ha observado que se reduce la trabajabilidad de las mezclas y se acelera el proceso de fraguado [15], [16]. Y que, generalmente, en todas ellas disminuyen las resistencias mecánicas [17], [18] y aumenta la dureza superficial [19][20].

En este sentido y tratando de dar solución a los dos problemas planteados, las humedades interiores y el reciclaje de cables, surge esta investigación en la que se propone una alternativa a la fabricación tradicional de paneles de yeso. Consiste en adicionar residuos plásticos de cables a la matriz de yeso, analizar su viabilidad y su comportamiento frente a la acción del agua.

METODOLOGÍA

MATERIALES

Para la elaboración de los paneles se utilizó (Figura 1) escayola de fraguado rápido de la casa comercial Placo, denominación europea A según UNE EN 13279-1 [21], con una densidad real, según picnometría de Helio de 2,72 g/cm³ [22]. El residuo plástico de cables, denominado RP en esta investigación, está constituido por una mezcla heterogénea de polímeros termoplásticos y termoestables; procedente de la empresa de reciclaje Lyrsa Álava, su fracción granulométrica fue menor a 3 mm y su densidad real, según picnometría de Helio fue de 1,35 g/cm³ [22].



Figura 1. (Izquierda) escayola. (Derecha) residuo plástico de cables RP

PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS

En la fabricación de las probetas se siguieron las indicaciones de la norma UNE EN 13279-2 [23] teniendo en cuenta que, previo al vertido de agua, se mezclaron en seco la escayola y el residuo plástico con el fin de evitar la flotabilidad del mismo. La relación agua/escayola fue de 0.8 en masa y el porcentaje de residuo RP incorporado de 50%-60%-70% sobre la masa de la escayola (dosificación Tabla 1), reservándose en cada serie una probeta de referencia (sin residuo) para la comparación de resultados. Las probetas, una vez desmoldadas, fueron guardadas en atmósfera de laboratorio durante siete días a una temperatura de 23±2°C y una humedad relativa de 35±5%. Se realizaron 6 series de probetas, de acuerdo a la Tabla 1, en función del ensayo a realizar:



CONTART

Tabla 1. Denominación, dosificación, dimensiones y ensayo realizado

Serie	Denominación	RP (%sobre la masa)*	Dimensiones**	Ensayo realizado
I	E0.8	0%	Ø 16.5 cm h: 1.5 cm	Permeabilidad al vapor de agua
	E0.8-50RP	50%		
	E0.8-60RP	60%		
	E0.8-70RP	70%		
II	E0.8	0%	4 x 4 x 16 cm ³	Absorción de agua por capilaridad
	E0.8-50RP	50%		
	E0.8-60RP	60%		
	E0.8-70RP	70%		
III	E0.8	0%	30 x 30 x 1.5 cm ³	Absorción total de agua
	E0.8-50RP	50%		
	E0.8-60RP	60%		
	E0.8-70RP	70%		
IV	E0.8	0%	4 x 4 x 16 cm ³	Ciclos de agua-secado
	E0.8-50RP	50%		
	E0.8-60RP	60%		
	E0.8-70RP	70%		
V	E0.8	0%	4 x 4 x 16 cm ³	Humedad continuada
	E0.8-50RP	50%		
	E0.8-60RP	60%		
	E0.8-70RP	70%		
VI	E0.8	0%	Ø 16.5 cm h: 1.5 cm	Porosimetría de mercurio
	E0.8-50RP	50%		
	E0.8-60RP	60%		
	E0.8-70RP	70%		

* Calculado sobre la masa de la escayola. ** Ø: diámetro; h: altura de la probeta



CONTART

PLAN EXPERIMENTAL

Se realizaron los siguientes ensayos específicos para la comprobación del efecto del agua en los paneles con RP: permeabilidad al vapor de agua, absorción de agua por capilaridad, absorción total de agua, ciclos de agua-secado y humedad continuada. Además, se analizó la porosidad de las muestras con el fin de relacionar el porcentaje de poros y la avidez por el agua.

Permeabilidad al vapor de agua: este ensayo se realizó para conocer los coeficientes de transmisión de vapor de agua de las mezclas, en base a la norma UNE EN ISO 12572 [24]. Se fabricaron probetas circulares de espesor $15 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ (Figura 2) que se dejaron almacenadas durante 7 días en atmósfera de laboratorio con las condiciones de temperatura y humedad especificadas en el apartado 2.2. A continuación se realizó una solución saturada acuosa de nitrato potásico disuelto en agua para asegurar una humedad relativa del 94% en el interior de las tazas de ensayo. Se colocó la probeta circular sobre la taza de ensayo y se selló con adhesivo de silicona.



Figura 2. (Izquierda) solución acuosa para el ensayo de permeabilidad. (Derecha) tazas de ensayo - Serie I

Durante 8 semanas se fueron anotando los pesos para, finalmente obtener la permeabilidad a través de la ecuación:

$$P = PR \cdot e$$

P: permeabilidad al vapor de agua [$\text{g}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg})$]

e: espesor de la probeta (m)

PR: permeancia al vapor de agua [$\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg})$] que viene dada por la expresión:

$$PR = TVA / \Delta p$$

$$\Delta p: \text{ se obtiene de la expresión } \Delta p = S(R1 - R2)$$

S: presión de saturación del vapor de agua a la temperatura del ensayo (mmHg). Temperatura media 21°C , presión de saturación 18.663 mmHg.

R1: % de humedad relativa, del lado con mayor presión de vapor (expresado como fracción). Con nitrato de potasio la humedad relativa alcanzada es de 94%.

R2: % de humedad relativa, del lado con menor presión de vapor (expresado como fracción). La humedad relativa ambiental es de 50%.

TVA: grado de transmisión de vapor de agua [$\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$] que viene dado por la expresión:



CONTART

$$TVA = \Delta m / (t \cdot A)$$

Δm : cambio de masa (g) en el tiempo t

t: tiempo transcurrido entre lecturas (h). La permeabilidad final se ha calculado considerando un tiempo entre lecturas de 1344 horas.

A: área de ensayo de la muestra en m² (0.02138246 m²)

Y, finalmente, la resistencia al vapor de agua viene dada por la expresión:

$$R = l / PR$$

R: resistencia al vapor de agua [(m²·h·mmHg/g)]

Absorción de agua por capilaridad: con la intención de analizar la velocidad con la que asciende el agua por capilaridad, se realizó este ensayo siguiendo las indicaciones de la norma RILEM RC 25-PEM [25]. Para ello y una vez desecadas, se introdujeron las probetas prismáticas en un recipiente con 10 mm ± 1 mm de agua. Cada minuto, durante 10 minutos, se midió el nivel de agua alcanzado en cada cara de las probetas (Figura 3). El resultado quedó expresado en milímetros por minuto.



Figura 3. (Izquierda) probetas prismáticas durante el ensayo de absorción por capilaridad. (Derecha) medición del nivel de agua alcanzado - Serie II

Absorción total de agua: para comprobar la absorción total de agua de los compuestos se utilizó el ensayo definido en la UNE-EN 520 [26] sobre probetas de dimensiones 300±1,5 mm x 300±1,5 mm y 15 mm de espesor (Figura 4). Durante 2h±2 min, previa anotación del peso, se sumergieron totalmente en agua en posición horizontal, cubiertas con 25-35 mm de agua y sin apoyar en el fondo del recipiente. Una vez retiradas del agua y secado el exceso con papel secante, se volvió a anotar su peso.

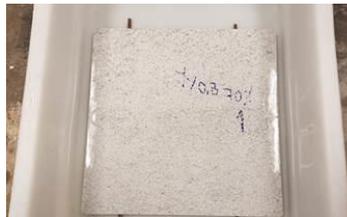


Figura 4. Probetas sumergidas completamente en agua - Serie III

Ciclos de agua-secado: para determinar la capacidad de las mezclas para secarse después de un ciclo totalmente sumergidas, se utilizó un procedimiento no normalizado utilizado por del Río



CONTART

Merino en su tesis doctoral [27]. En este ensayo, las probetas prismáticas se introdujeron durante 2 días en un recipiente con agua que las cubría totalmente (Figura 5). Posteriormente se sacaron, pesaron e introdujeron en estufa otros 2 días a $40\pm 5^\circ\text{C}$. Este proceso se realizó 2 veces.



Figura 5. Probetas prismáticas durante el ciclo de agua (izquierda) y durante el ciclo de secado (derecha) – Serie IV

Humedad continuada: en este ensayo se analizó el comportamiento de los compuestos ante la humedad constante. Para ello, se utilizó también uno de los procedimientos no normalizados de la tesis doctoral de la investigadora del Río Merino [27] por el cual, previa anotación del peso, se introdujeron las probetas prismáticas durante 5 días en cámara húmeda a temperatura de 21°C y humedad relativa del 72% (Figura 6). Una vez transcurrido el tiempo, se sacaron de la cámara y se anotó el nuevo peso obtenido para cada uno de los compuestos.



Figura 6. Probetas prismáticas en cámara húmeda – Serie V

Porosimetría de mercurio: se realizó para determinar el volumen de poros y su distribución, con el fin de relacionar el resultado obtenido con el comportamiento frente al agua de los mismos. Se elaboraron probetas cilíndricas de 10 mm de diámetro y 10 mm de altura que se ensayaron en el equipo de trabajo Autopore IV 9500 de Micromeritics Instrument. A través de la intrusión de mercurio en la estructura porosa de las muestras mediante presión controlada, se obtuvo información sobre el volumen, tamaño, área superficial y diámetro medio de los poros, además de la densidad aparente y de esqueleto.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA

En la Tabla 2 se indican los valores de transmisión (TVA), permeancia (PR), permeabilidad (P) y resistencia al vapor de agua (R) alcanzados al término de las 8 semanas, una vez finalizado el ensayo.



CONTART

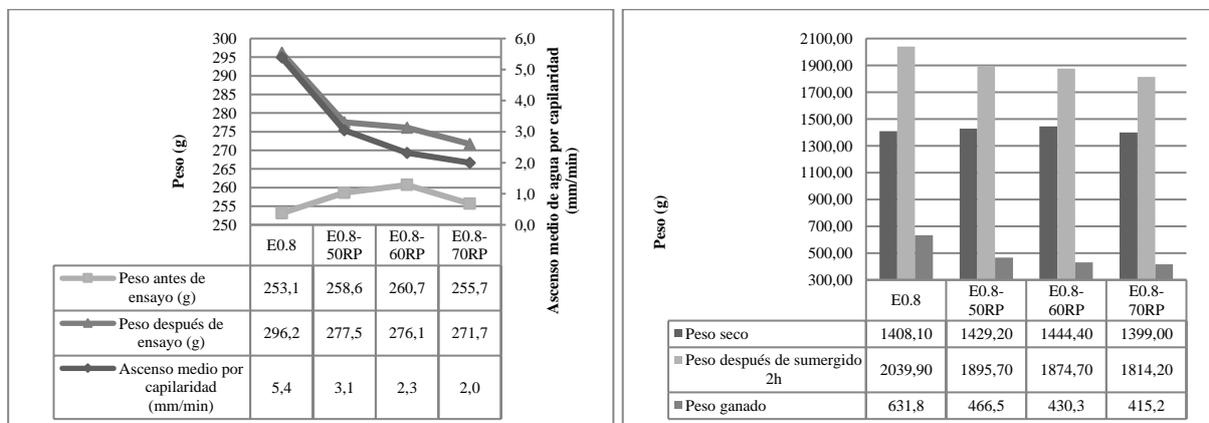
Tabla 2. Transmisión, permeancia, permeabilidad y resistencia al vapor de agua (Serie I) según norma UNE-EN ISO 12572

Denom.	TVA (g/h·m ²)	PR (g/h·m ² ·mmHg)	P (g/h·m·mmHg)	R (h·m ² ·mmHg/g)
E0.8	7.885	0.960	0.016	1.041
E0.8-50RP	5.679	0.692	0.012	1.446
E0.8-60RP	5.658	0.689	0.012	1.451
E0.8-70RP	4.565	0.556	0.010	1.799

Los compuestos con 50%-60%-70%RP redujeron la transmisión, permeancia y permeabilidad al vapor de agua respecto a la referencia en un 27.61%-28.22%-41.72% respectivamente. En relación inversa, aumentaron su resistencia al vapor de agua en un 38.84%-39.37%-72.71% respecto al compuesto sin RP. El compuesto que presentó menor permeabilidad y, por tanto, mayor resistencia al vapor de agua fue el E0.8-70RP (0.010 [g/(m·h·mmHg)] y 1.799 [(h·m²·mmHg/g)]. El compuesto de mayor permeabilidad y, por tanto, menor resistencia al vapor de agua fue el E0.8-50RP (0.012 [g/(m·h·mmHg)] y 1.446 [(h·m²·mmHg/g)]. Obviamente, cuanto menor cantidad de residuo plástico, menor barrera de vapor. Cabe destacar que, con los valores obtenidos de permeabilidad, los compuestos en estudio conservan la propiedad higrotérmica característica de los yesos respecto a otros materiales como el mortero de cemento que presenta valores permeabilidad de 6.3*10⁻³ g/h·m·mmHg [28].

ABSORCIÓN POR CAPILARIDAD Y ABSORCIÓN TOTAL

El resultado medio de absorción de agua por capilaridad se muestra en la Gráfica 1, junto con los pesos obtenidos antes y después del ensayo para cada una de las probetas. Los datos obtenidos en el ensayo de absorción total de agua de los paneles se muestran en la Gráfica 2.



Gráfica 1. (Izquierda) Pesos de las mezclas de la Serie II y ascenso medio del agua por capilaridad
Gráfica 2. (Derecha) Pesos de las mezclas de la Serie III y peso ganado después del ensayo de absorción total de agua



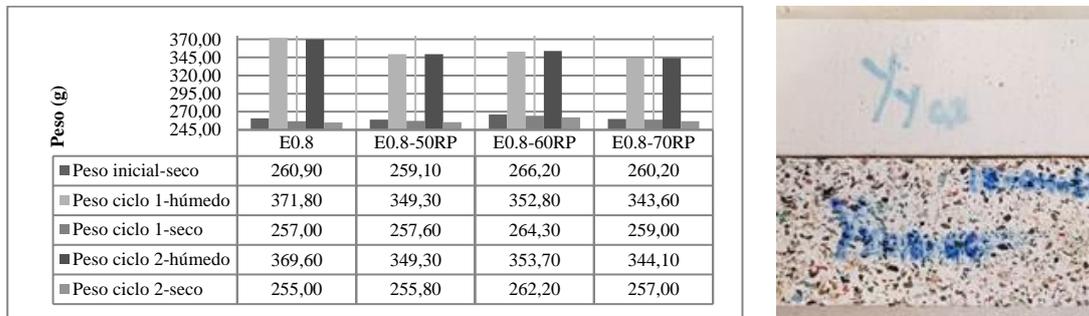
CONTART

En el ensayo de absorción por capilaridad la referencia llegó a incrementar su peso un 17,03% respecto al peso inicial, mientras que en los compuestos con RP no se superó el 7,5%, lo que indica una disminución de la absorción de agua por capilaridad de más del 50% en todos ellos.

En el ensayo de absorción de agua total, la capacidad de retención de agua disminuyó entre un 27% y un 33% en los compuestos con residuo plástico respecto a la referencia.

CICLOS DE AGUA-SECADO

En la Gráfica 3 se muestran los datos obtenidos en el ensayo de los dos ciclos agua-secado. La Figura 7 destaca el deterioro sufrido por las probetas a la finalización del ensayo.

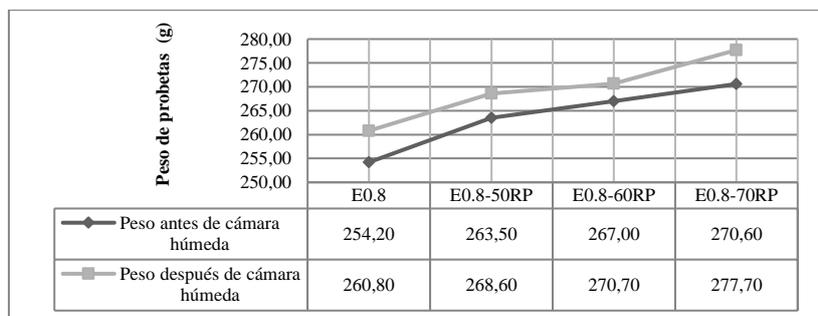


Gráfica 3. Pesos de las probetas de la Serie IV obtenidos durante los ciclos de agua-secado
 Figura 7. Deterioro de las probetas después del ensayo de agua-secado

La capacidad de retención de agua de los compuestos fue similar, del orden de un 35% en las mezclas con RP y de un 43% en la mezcla de referencia. Los compuestos con 50%RP-60%RP-70%RP disminuyeron la capacidad de retención de agua un 18.74%-22.78%-24.99% respecto al compuesto sin RP.

HUMEDAD CONTINUADA

Los valores obtenidos en el ensayo de humedad continuada se muestran en la Gráfica 4.



Gráfica 4. Pesos de los compuestos de la Serie V obtenidos durante su exposición a humedad continuada



CONTART

Después de someter a las probetas al proceso de humedad continuada, la capacidad de retención de agua disminuyó un 25.38% y un 46.54% en los compuestos con 50%RP y 60%RP respecto al compuesto de referencia. Sin embargo, el compuesto con 70%RP se comportó de manera similar al compuesto sin RP (+0.77%).

POROSIMETRÍA DE MERCURIO

En la Tabla 3 se presentan los resultados experimentales de la porosimetría de mercurio.

Tabla 3. Propiedades texturales (Serie VII) obtenidas a partir de la porosimetría de mercurio

Den.	V _p H _g (cm ³ /g)	Bulk Density (g/cm ³)	Skeletal Density (g/cm ³)	Porosity (%)	10%V p< ⁽¹⁾ (nm)	50% Vp< ⁽¹⁾ (nm)	90% Vp < ⁽¹⁾ (nm)
E0.8	0.5419	1.0166	2.2639	55.09	838	2143	72000
E0.8-50RP	0.4067	1.0542	1.8453	42.87	679	1819	3511
E0.8-60RP	0.4276	1.0235	1.8200	43.76	676	2000	3163
E0.8-70RP	0.3447	1.0776	1.7145	37.14	1169	2290	3916

⁽¹⁾ 10%Vp<, 50%Vp<, 90% Vp<: El 10%, 50 y 90% respectivamente del volumen de poro presenta tamaño inferior (nm) al presentado en las columnas correspondientes

El compuesto de referencia presenta el volumen de poro más alto. La adición del RP disminuye el volumen de poro, presentando el valor más pequeño de volumen de poro el compuesto del 70%RP. El principal efecto de la adición de RP en la matriz de yeso es la disminución del volumen de poro, afectando escasamente a la distribución de tamaños de estos poros.

CONCLUSIONES

Los paneles de escayola fabricados con agregados de residuos plásticos de cables presentan un mejor comportamiento frente a la acción del agua que el de referencia. Su capacidad de retención de agua se reduce significativamente sin afectar, apenas, a las propiedades higrotérmicas tan características de los yesos tradicionales. Es decir, se consiguen compuestos que se ven menos afectados por humedades de cualquier tipo y que, a su vez, mantienen su capacidad de regular la humedad relativa de las estancias interiores de los edificios. Este hecho puede justificarse debido, por un lado a la menor cantidad de yeso de las mezclas (a mayor %RP, menor % escayola) y, por otro lado, al menor volumen de poro de las muestras adicionadas según se ha deducido del ensayo de porosimetría de Hg. Destacan los compuestos con un 50%RP y un 60%RP que tienen un comportamiento más constante a lo largo de los ensayos.



CONTART

Los paneles de escayola fabricados con RP podrían considerarse un buen método pasivo para evitar muchas patologías de humedades, pudiéndose aplicar en sótanos, plantas bajas con soleras, paramentos con huecos, etc, en definitiva, en las zonas de los edificios más expuestas al agua. Permitirían la transpiración de los paramentos, evitando con ello también la aparición de condensaciones superficiales e intersticiales que se muestran en ellos en muchas ocasiones.

Además, la utilización de estos paneles supondría contribuir a la minimización del impacto ambiental aportando desde una construcción sostenible. Además de reducir la cantidad de residuos plásticos de cables, se reduce el uso de la materia prima que se utiliza en la fabricación de la escayola (piedra de aljez y agua).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] L. A. Zaruma Uzhca, "Mortero impermeable a base de plástico reciclado PET para revestimientos de edificaciones de la ciudad de Zamora," PhD, Universidad de Cuenca (Ecuador), 2018.
- [2] E. Herrera Cardenete and R. Martínez-Ramos e Iruela, "Patología de la construcción: Madera y fábrica de ladrillo, humedades," Departamento de Construcciones Arquitectónicas, Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad de Granada. [Online]. Available: http://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/48308/HerreraCardenete_4PatologiaMaderaLadrillo.pdf?sequence=1. [Accessed: 19-May-2019].
- [3] P. Martínez, P. Sarmiento, and W. Urquieta, "Evaluación de la humedad por condensación de viviendas sociales," INVI, vol. 20, no. 55, pp. 154–165, 2005.
- [4] A. Vidales-Barriguete, E. Atanes-Sánchez, M. del Río-Merino, and C. Piña-Ramírez, "Analysis of the improved water-resistant properties of plaster compounds with the addition of plastic waste," Constr. Build. Mater., vol. 230, 2020.
- [5] J. Santa Cruz Astorqui, M. del Río Merino, P. Villoria Sáez, and C. Porras Amores, "Analysis of the viability of prefabricated elements for partitions manufactured with plaster and eps from waste recycling," Dyna Ing. e Ind., vol. 94, no. 4, pp. 415–420, 2019.
- [6] A. Rodríguez, S. Gutiérrez-González, M. I. Prieto, A. Cobo, and V. Calderón, "Analysis of long-term corrosion behavior in mortars containing recycled ladle furnace slag using computerized tomography and SEM," Mater. Corros., vol. 66, no. 3, 2015.
- [7] D. Silva Collado, "Propuesta de paneles prefabricados para particiones interiores con compuesto de yeso reforzado con fibras de polipropileno obtenidas de residuos de toallitas húmedas," Trabajo Fin de Grado - Universidad de Sevilla (España), 2019.
- [8] L. de Villanueva Domínguez and A. García Santos, Manual del yeso. Madrid (España), 2001.
- [9] A. Vidales Barriguete, "Caracterización fisicoquímica y aplicaciones de yeso con adición de residuo plástico de cables mediante criterios de economía circular," Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid (España), 2019.



CONTART

- [10] D. E. MacArthur, "Beyond plastic waste," *Science* (80-.), vol. 358, no. 6365, p. 843, 2017.
- [11] P. Rubio de Hita, F. Pérez Gálvez, M. J. Morales Conde, and M. A. Predeño Rojas, "Reuse of plastic waste of mixed polypropylene as aggregate in mortars for the manufacture of pieces for restoring jack arch floors with timber beams," *J. Clean. Prod.*, vol. 198, pp. 1515–1525, 2018.
- [12] L. Alameda, V. Calderón, C. Junco, Á. Rodríguez, J. Gadea, and S. Gutiérrez-González, "Characterization of gypsum plasterboard with polyurethane foam waste reinforced with polypropylene fibers," *Mater. Construcción*, vol. 66, no. 324, p. e100, 2016.
- [13] N. Flores Medina and M. del M. Barbero Barrera, "Mechanical and physical enhancement of gypsum composites through a synergic work of polypropylene fiber and recycled isostatic graphite filler," *Constr. Build. Mater.*, vol. 131, pp. 165–177, 2017.
- [14] J. Domínguez Lepe and D. Guemez Pacheco, "Fabricación y evaluación de paneles aplicables a la industria de la construcción a partir del reciclaje de envases multicapa," *Ingeniería*, vol. 14, no. 3, pp. 191–195, 2011.
- [15] C. Zhu, J. Zhang, J. Peng, W. Cao, and J. Liu, "Physical and mechanical properties of gypsum-based composites reinforced with PVA and PP fibers," *Constr. Build. Mater.*, vol. 163, pp. 695–705, 2018.
- [16] A. Vidales Barriguete, M. del Río Merino, E. Atanes Sánchez, C. Piña Ramírez, and C. Viñas Arrebola, "Analysis of the feasibility of the use of CDW as a low-environmental-impact aggregate in conglomerates," *Constr. Build. Mater.*, vol. 178, 2018.
- [17] Ó. López-Zaldívar, R. Lozano-Díez, S. Herrero del Cura, P. Mayor-Lobo, and F. Hernández-Olivares, "Effects of water absorption on the microstructure of plaster with end-of-life tire rubber mortars," *Constr. Build. Mater.*, vol. 150, pp. 558–567, 2017.
- [18] T. A. Urzulin, J. L. Akasaki, and N. A. Pinto, "Estudo de compósitos de gesso incorporados com duas diferentes granulometrias de borracha de pneus," *Rev. Científica An. Bras.*, vol. 9, no. 16, 2016.
- [19] S. Erdem and N. Arioglu, "An analysis of the properties of recycled pet fiber-gypsum composites," *A/Z ITU J. Fac. Archit.*, vol. 14, no. 1, pp. 91–101, 2017.
- [20] D. Mamani Delgado, "Evaluación comparativa de las propiedades mecánicas entre el yeso y el yeso adicionado con materiales reciclados según la norma UNE-EN 13279-2 para uso en la fabricación de placas de yeso," *Proyecto Fin de Grado, Universidad Andina del Cusco (Perú)*, 2016.
- [21] UNE-EN 13279-1:2009, "Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 1: Definiciones y especificaciones," 2009.
- [22] A. Vidales Barriguete, M. del Río Merino, E. Atanes Sánchez, C. Piña Ramírez, and C. Viñas Arrebola, "Analysis of the feasibility of the use of CDW as a low-environmental-impact aggregate in conglomerates," *Constr. Build. Mater.*, vol. 178, pp. 83–91, Jul. 2018.
- [23] UNE-EN 13279-2:2014, "Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 2: Métodos de ensayo," 2014.



CONTART

- [24] UNE-EN ISO 12572:2018, "Prestaciones higrotérmicas de los productos y materiales para edificación. Determinación de las propiedades de transmisión de vapor de agua. Método del vaso," 2018.
- [25] RILEM RC 25-PEM, "Recommended tests to measure the deterioration of stone and to assess the effectiveness of treatment methods," Mater. Struct., vol. 13, no. 75, pp. 175–253, 1980.
- [26] UNE-EN 520:2005+A1, "Placas de yeso laminado. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo," 2010.
- [27] M. del Río Merino, "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 (España), 1999.
- [28] C. Piña Ramírez, "Comportamiento físico-mecánico y térmico de los morteros de cemento aditivados con fibras minerales procedentes de residuos de construcción y demolición," Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid (España), 2019.