

DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN DE PREFABRICADOS DE ESCAYOLA PARA FALSO TECHO ELABORADOS BAJO CRITERIOS DE ECONOMÍA CIRCULAR

D. Ferrández Vega, A. Zaragoza Benzal, M. Álvarez Dorado, A. Morón Barrios

Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España

RESUMEN

En la actualidad, la industria de la construcción se encuentra inmersa en un proceso de cambio que avanza hacia la incorporación de criterios de economía circular en aras de alcanzar un crecimiento económico responsable y un proceso edificatorio más sostenible. En este sentido, las empresas y técnicos especializados del sector se encuentran envueltos en un proceso de innovación y desarrollo de nuevos productos medioambientalmente amigables. En este trabajo, se propone el desarrollo y caracterización de un novedoso prefabricado para falso techo con incorporación de residuos de fibra textil procedente de neumáticos fuera de uso como sustitución parcial en volumen del material de escayola. Si bien es cierto que los residuos de caucho granulado han sido explorados por otros investigadores como alternativa para mejorar el comportamiento termoacústico de los compuestos de yeso, los residuos de fibra textil suponen aún un reto para la industria siendo su proceso de reciclaje y revalorización el más complejo.

De esta manera, se ha planteado una campaña experimentan en la que se han realizado sustituciones parciales del 7.5–15.0–22.5–30.0% en volumen del material de escayola, determinando tiempos de fraguado que condicionarían su proceso de fabricación y tomando en consideración las recomendaciones de la norma UNE-EN 13279-2 para establecer una relación agua/escayola que dé como resultado una mezcla trabajable. Sobre las muestras endurecidas se ha realizado una caracterización físico-mecánica analizando las propiedades más relevantes de estos materiales compuestos. En este sentido, se ha estudiado el comportamiento frente al agua de estas escayolas, su resistencia térmica y sus propiedades físico-mecánicas más relevantes. Adicionalmente, se ha llevado a cabo un estudio para la aplicación de estos materiales compuestos en formato de placa prefabricada de 400 × 300 × 15 mm de dimensión, incorporando una lámina de caucho prensado en una de las caras para mejorar sus propiedades térmicas y de ductilidad. Los resultados muestran como los compuestos desarrollados en este trabajo son aptos para su aplicación en falsos techos, cumpliendo con los requisitos establecidos en la normativa de aplicación. Por ello, esta investigación permite abrir una vía alternativa para la recuperación de estos residuos sólidos y avanzar hacia la integración de los Objetivos para el Desarrollo Sostenible en la industria constructora.

PALABRAS CLAVE: Escayola, Falso techo, Prefabricación, Neumáticos Fuera de Uso (NFU), Sostenibilidad.

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, el crecimiento mundial de la industria del transporte ha exigido la producción de una gran cantidad de neumáticos que hoy en día consumen cerca del 65% del total de caucho (natural y sintético) fabricado en el planeta [1]. Así, se ha llegado a alcanzar en Europa la cifra de 324 millones de unidades vendidas de estos productos en tan solo un año [2]. Sin embargo, este no es únicamente un problema de consumo desmesurado de materias primas, ya que una vez terminada su vida útil estos neumáticos se convierten en residuos con un lento proceso de degradación natural en condiciones ambientales. Esto genera un problema en la gestión de estos residuos estimándose que cerca de cuatro billones de neumáticos fuera de uso (NFU) se encuentran actualmente en vertederos, desguaces y almacenes de todo el mundo, muchos de ellos ilegales y que provocan un fuerte impacto en los ecosistemas terrestres y marítimos [3].

En este contexto, donde cada vez más residuos son generados a nivel mundial dificultando su tratamiento y acumulación en vertederos, la industria constructora es una de las principales demandantes de materias primas y consumidora de recursos naturales [4]. Esto ha llevado a los gobiernos de los diferentes países europeos a plantear estrategias en pro de una economía limpia y circular que apueste el desarrollo de nuevos productos de construcción más sostenibles y respetuosos con el medioambiente [5]. Así, cada vez más, los nuevos sistemas de construcción industrializados y el desarrollo de prefabricados se integran en la edificación actual desplazando a los tradicionales métodos de construcción. Y es que, los sistemas de prefabricación actuales presentan ventajas frente a la ejecución *in situ*, tales como un mayor control de la calidad, menor generación de residuos, ahorro en costes de material, disminución de tiempos de ejecución y facilidad de montaje, entre otros [6].

Es en este punto, donde los materiales compuestos de yeso han experimentado un auge como consecuencia de su idoneidad para la elaboración de placas y paneles prefabricados. En términos generales, estos materiales se caracterizan por su excelente capacidad de regulación higrotérmica [7], una dureza y resistencia mecánica inversamente proporcional al contenido en agua de amasado y un buen comportamiento termoacústico [8]. Sin embargo, en la actualidad, son varios los investigadores/as que trabajan rediseñando los sistemas de prefabricación de yeso y escayola tratando de reincorporar materias primas procedentes de productos fuera de su vida útil. Es en este punto, donde podemos encontrar en la literatura ejemplos de materiales con base yeso que incorporan residuos procedentes de NFU, tales como el caucho granular o la fibra textil.

Zaldívar *et al.*, describen en su estudio como la incorporación de distintas fracciones de caucho reciclado de NFU que oscilan entre los 0–4 mm permiten reducir la absorción de agua por capilaridad en compuestos de yeso [9]. Asimismo, estos autores han realizado estudios incorporando fibra de caucho reciclada en materiales de yeso con el objetivo de obtener un compuestos aligerados con una óptima resistencia mecánica [10], si bien es cierto que las mejoras más significativas se producen cuando se incorporan fibras sintéticas de refuerzo [11]. En otro estudio, Herrero *et al.*, demostraron como la incorporación de partículas de caucho granular en los compuestos de yeso mejoraba el comportamiento térmico y acústico de estos materiales idóneos para prefabricación [12]. No obstante, tal y como resaltan Lanzón *et al.*, a pesar de obtener una buena resistencia térmica y aligeramiento final del compuesto, la adición de caucho reciclado en porcentajes superiores al 14% en volumen ponen en entredicho la estabilidad de los compuestos yeso frente a la acción del fuego [13].

En lo referente al empleo de fibra textil procedente de NFU, su gestión supone un reto para la industria ya que actualmente su principal uso es como carga combustible en diferentes procesos [14]. En los últimos años se han explorado algunas posibles aplicaciones de este subproducto para desarrollar planchas con mayor capacidad de absorción del sonido [15], así como material de adición para mejorar el comportamiento reológico de las mezclas bituminosas de asfalto comúnmente empleadas [16]. Si bien es cierto que, estudios previos demuestran que este tipo de fibras sintéticas son viables para su aplicación como adición en compuestos de escayola para reducir la conductividad térmica final del material endurecido [17], son pocas las investigaciones que han abordado el tema en profundidad y explorado su verdadero potencial de aplicación en la edificación.

El objetivo de este trabajo es analizar la viabilidad técnica derivada del empleo de fibras textiles de NFU como sustitución parcial del material de escayola tradicional en la elaboración de prefabricados. Para ello, se plantea una campaña experimental en la que se realizan sustituciones progresivas del compuesto de escayola por fibra textil en porcentajes de 0–7.5–15–22.5–30%, analizando posteriormente sus propiedades físico-mecánicas y realizando en última instancia ensayos sobre un novedoso prototipo de placa prefabricada para falso techo.

2. METODOLOGÍA

En este apartado, se indica el proceso seguido para llevar a cabo el trabajo de investigación planteado, identificando tanto los materiales y sus dosificaciones, como los equipos y medios empleados.

2.1. Materiales y dosificaciones

Los materiales empleados para el desarrollo de los diferentes compuestos empleados en este trabajo han sido: escayola, agua, fibra textil procedente de NFU y banda de caucho aglomerada de NFU. Sus propiedades y características se describen a continuación:

- Escayola: se ha utilizado como material conglomerante E-35 Iberyola. Se trata de un material de yeso de elevada pureza (superior al 92%), finura de molido comprendida entre 0–2 mm, clase resistente al fuego A1 y pH 6, suministrado por el grupo Placo Saint-Gobain Ibérica.
- Agua: para la fabricación de las muestras se empleó agua potable del Canal de Isabel II (Comunidad de Madrid, España), de acuerdo con la Directiva del Consejo Europeo 98/83/EC.
- Fibra textil: procedente de NFU y suministrada por la empresa Genan (Viborg, Dinamarca). Estas fibras tienen un diámetro comprendido entre 18–28 μm y conductividad térmica inferior a 0.065 W/m·K. Como consecuencia de su proceso de extracción, estas fibras contenían entre un 5–15% de partículas de caucho reciclado.
- Banda de caucho aglomerado: con un espesor de 4 mm, fue suministrada por la empresa Corticeira Amorim, S.A. (Mozelos, Portugal). Se caracteriza por tener una conductividad térmica de 0.140 W/m·K, densidad de 700 kg/m³, resistencia a la tracción superior a 350 kPa y reducción del ruido de impacto de 20 dB.

Para el proceso de preparación de las muestras se han seguido las recomendaciones y tiempos recogidos en la norma UNE-EN 13279-2:2014. Las dosificaciones empleadas se muestran en la Tabla 1, donde se puede observar que en todos los compuestos se mantuvo un ratio agua/escayola de 0.7 en

peso, con el objetivo de obtener una consistencia trabajable de acuerdo con la mencionada normativa. Bajo este criterio, el máximo porcentaje de sustitución de escayola por fibra textil que se pudo alcanzar sin reducir en exceso la trabajabilidad en estado fresco de la pasta fue del 30% en volumen. Cabe destacar que, previamente al amasado, las fibras textiles se mezclaron con el polvo de escayola en seco hasta obtener una mezcla homogénea.

Tabla 1. Dosificaciones empleadas para la preparación de las muestras y tiempos de fraguado.

Serie	Escayola [%]	Agua [%]	Fibra Textil de NFU [%]	Tiempo de Fraguado* [min]
E0.7	58.8	41.2	—	13
E0.7-7.5%	54.4	38.1	7.5	11
E0.7-15%	50.0	35.0	15.0	11
E0.7-22.5%	45.6	31.9	22.5	10
E0.7-30%	41.2	28.8	30.0	9

* Determinado según el método de la aguja de Vicat recogido en la norma UNE-EN 13279-2:2014.

Una vez elaborados los compuestos recogidos en la Tabla 1, se curaron en condiciones de laboratorio de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ de temperatura y $50 \pm 5\%$ de humedad relativa durante un periodo de seis días. A continuación, 24 horas antes de la realización de los ensayos las muestras se metieron estufa de laboratorio a temperatura de $40 \pm 2^\circ\text{C}$ y humedad relativa $50 \pm 5\%$, con el objetivo de que todas las muestras se ensayaran bajo las mismas condiciones de partida.

2.2. Métodos y equipos empleados

En primer lugar, se describen los ensayos realizados para determinar las propiedades mecánicas y evaluar el comportamiento frente a la acción del agua de los materiales de escayola elaborados. Todos estos ensayos se llevaron a cabo sobre series de tres probetas de $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$:

- Dureza superficial: utilizando para tal fin un durómetro Shore C y siguiendo las indicaciones de la norma UNE 102042:2023.
- Resistencia mecánica a flexión y compresión: determinadas según la norma UNE-EN 13279-2:2014 con ayuda de una prensa de IBERTEST modelo AUTOTEST 200–10SW. Se han empleado velocidades de carga de 10–20 N/s para la resistencia a flexión y compresión, respectivamente.
- Porosidad abierta: definida como el cociente entre el volumen de poros accesibles y el volumen aparente de la muestra, se ha determinado según las indicaciones de la norma UNE-EN 1936:2007.
- Absorción de agua por capilaridad: determinada según el método descrito en la norma RILEM TE 25-PEM. Se determino la altura final alcanzada por el agua al ascender por capilaridad en la

probeta durante un periodo de 10 minutos y colocándose la muestra en posición vertical sumergida en agua 10 ± 1 mm.

- Absorción total de agua: determinado según la norma UNE-EN 520:2005+A1:2010, representa la cantidad total de agua que es capaz de absorber la muestra al estar sumergida en agua durante un periodo de 120 ± 2 min.

Posteriormente, en una segunda fase, se llevaron a cabo ensayos destinados a analizar la idoneidad de los compuestos de escayola desarrollados para su aplicación en la elaboración de prefabricados. Al igual que en el caso anterior, todos los ensayos se llevaron a cabo sobre series de tres muestras:

- Densidad aparente: medida según el método recogido en la norma UNE 102042:2023 como el cociente entre la masa y el volumen aparente de la muestra.
- Conductividad térmica: determinado mediante el método de la caja térmica empleando muestras de $30 \times 30 \times 3$ cm³.
- Carga de rotura a flexión en placas: siguiendo las indicaciones de la norma EN 12859:2011, y empleando para ello una prensa hidráulica Proeti S.A. con placas de $40 \times 30 \times 1.5$ cm³.
- Dureza frente al impacto: determinado según la norma EN 12859:2011, midiendo el diámetro que produce una bola de acero de 50 mm de diámetro al caer desde una altura de 50 cm.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados más relevantes obtenidos tras el estudio con los materiales desarrollados en este trabajo. Para ello, en una primera sección se analiza el comportamiento mecánico y frente al agua del material base de yeso con fibras textiles, y, posteriormente, se estudia su idoneidad para el diseño de placas prefabricadas para falso techo.

3.1. Resultados obtenidos en los compuestos de escayola con fibra textil

En primer lugar, en la Figura 1 se muestran los resultados obtenidos para la caracterización mecánica realizada sobre las muestras normalizadas RILEM de dimensión $4 \times 4 \times 16$ cm³.

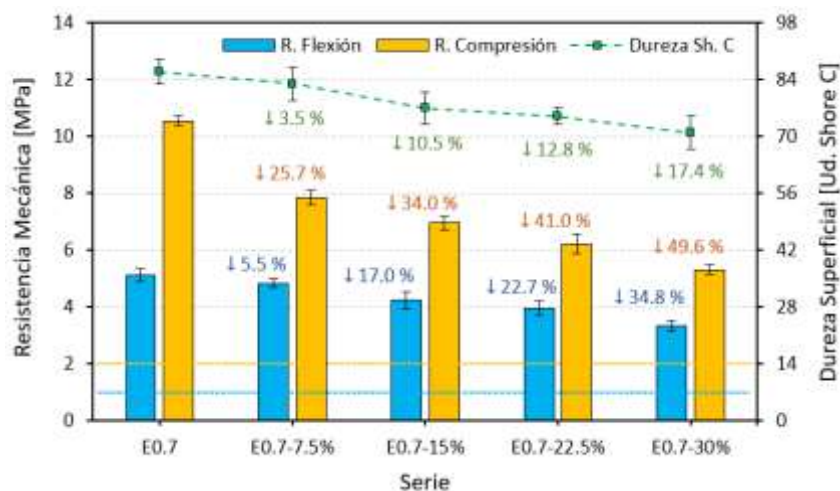


Figura 1. Resultados de los ensayos de caracterización mecánica.

Como se puede apreciar en la [Figura 1](#), la sustitución progresiva del material de escayola original por la fibra textil provoca una disminución en la resistencia mecánica de los compuestos. Así, se puede observar como para la muestra con mayor contenido en material reciclado, E0.7-30%, la disminución de la resistencia a flexión y compresión con respecto al escayola de referencia (E0.7), fue del 34.8% y del 49.6%, respectivamente. No obstante, a pesar de que esta disminución resulta significativa, en todos los casos se superaron los valores mínimos fijados por la normativa actual UNE-EN 13279-2 para la resistencia a flexión (1 MPa, línea azul a trazos) y a compresión (2 MPa, línea amarilla a trazos). De la misma manera, la dureza superficial Shore C se vio afectada con la incorporación de este material reciclado, en concordancia con los resultados obtenidos para la resistencia a compresión, y llegó a reducirse hasta en un 17.4% para el caso de la muestra con mayor contenido en fibra textil.

Estos resultados, se encuentran en concordancia con los obtenidos por otros investigadores que han trabajado con la incorporación de residuos procedentes de NFU en compuestos de yeso o escayola. Así, Serna *et al.*, encontraron en su investigación una relación similar conforme se incrementaba el contenido en caucho granular de fracción comprendida entre 1–2 mm y 2–4 mm [18]. Igualmente, en otros estudios previos llevados a cabo con adición de caucho granular de diámetro 0–0.8%, al sustituir el 30% del material de yeso original por este residuo se obtuvo una disminución de la resistencia mecánica a flexión y compresión del 29.7% y 41.3%, respectivamente frente a la referencia [19].

A continuación, en la [Tabla 2](#), se muestran los resultados obtenidos para el comportamiento frente a la acción del agua en los compuestos desarrollados en este trabajo.

Tabla 2. Resultados obtenidos tras los ensayos de comportamiento frente a la acción del agua.

Serie	Porosidad abierta [%]	Absorción total [%]	Capilaridad: altura máxima a los 40 min [mm]
E0.7	44.8 ± 1.0	44.6 ± 1.2	5.9 ± 0.2
E0.7-7.5%	44.2 ± 0.8	41.5 ± 1.0	4.8 ± 0.2
E0.7-15%	42.2 ± 1.3	40.2 ± 1.4	4.4 ± 0.1
E0.7-22.5%	39.7 ± 1.3	38.6 ± 2.2	3.9 ± 0.3
E0.7-30%	38.3 ± 1.4	37.3 ± 1.5	3.7 ± 0.2

Así pues, en la [Tabla 2](#) se observa el efecto beneficioso derivado del remplazo del material de escayola original por fibra textil a la hora de reducir la absorción total de agua y la porosidad abierta de los compuestos endurecidos. Este efecto se ve reflejado a su vez en la menor altura alcanzada por el agua en el ensayo de capilaridad, lo cual fue observado por Vidales *et al.*, en su estudio con materiales de escayola aligerados con residuos plásticos procedentes de cobertura de cables de baja tensión [20]. En este sentido, se puede afirmar que la adición de fibra textil provoca un efecto positivo, mejorando las propiedades frente al agua del compuesto original E0.7.

3.2. Resultados obtenidos en el estudio con prefabricados

En primer lugar, en la Figura 2, se muestran los resultados correspondientes a la conductividad térmica y densidad aparente de los compuestos escayola con fibra textil.

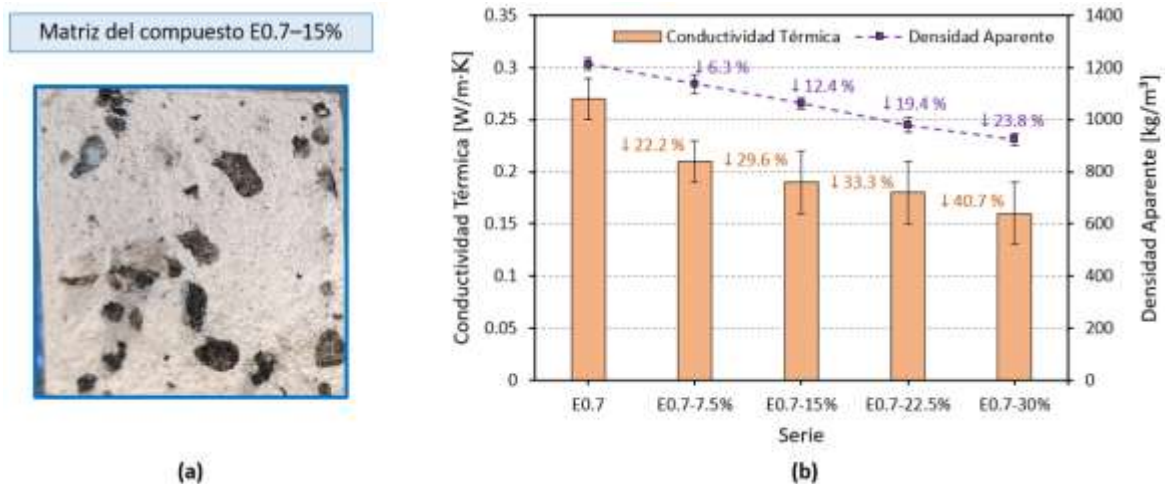


Figura 2. (a) Imagen de la matriz de los compuestos de escayola con fibra textil de NFU, y **(b)** Resultados del ensayo de conductividad térmica y densidad aparente de los compuestos.

Como se puede observar en la Figura 2a, existe una buena integración del residuo de fibra textil en la matriz de escayola, sin que se produzcan una disgregación del mismo al fraccionar la muestra. En lo referente a la Figura 2b, se observa como la disminución de la densidad aparente lleva aparejada una reducción en la conductividad térmica de los compuestos. Así, para la muestra E0.7-30% se ha producido una disminución de la conductividad térmica del 40.7% con respecto a la muestra de referencia sin fibra, E0.7. Esta reducción se encuentra en concordancia con los resultados obtenidos en los estudios llevados a cabo por Herrero *et al.* [12], y por Zaragoza-Benzal *et al.* [17]. Ambas autoras recogieron en sus investigaciones respectivas, cómo los residuos de NFU constituían una adición idónea para aumentar la resistencia térmica de los sistemas constructivos, contribuyendo de forma efectiva a una mejora en la eficiencia energética de las edificaciones.

Así pues, una vez analizado el beneficio que reportan este tipo de compuestos aligerados desde el punto de vista del incremento de la resistencia térmica final de los sistemas constructivos, se ha decidido desarrollar un novedoso prototipo de prefabricado. El proceso de elaboración y el estado final del mismo se recogen en la Figura 3a, en la que se puede observar la lámina de caucho reciclado añadida en la cara posterior de la placa prefabricada para mejorar su comportamiento termoacústico y mecánico. Esta iniciativa, que promueve aún más si cabe la utilización de materias primas recicladas está alineada con los objetivos recogidos en el Pacto Verde Europeo, aprobado por la Comisión Europea en el año 2019, y que promueve entre otros un uso eficiente de los recursos en el sector de la construcción. Por otro lado, en la Figura 3b, se muestran los resultados obtenidos para los ensayos de carga máxima de rotura a flexión en placas prefabricadas y de resistencia frente al impacto, determinado como el diámetro de la huella que se obtiene tras el contacto de la bola de acero en caída libre sobre el panel en cuestión.

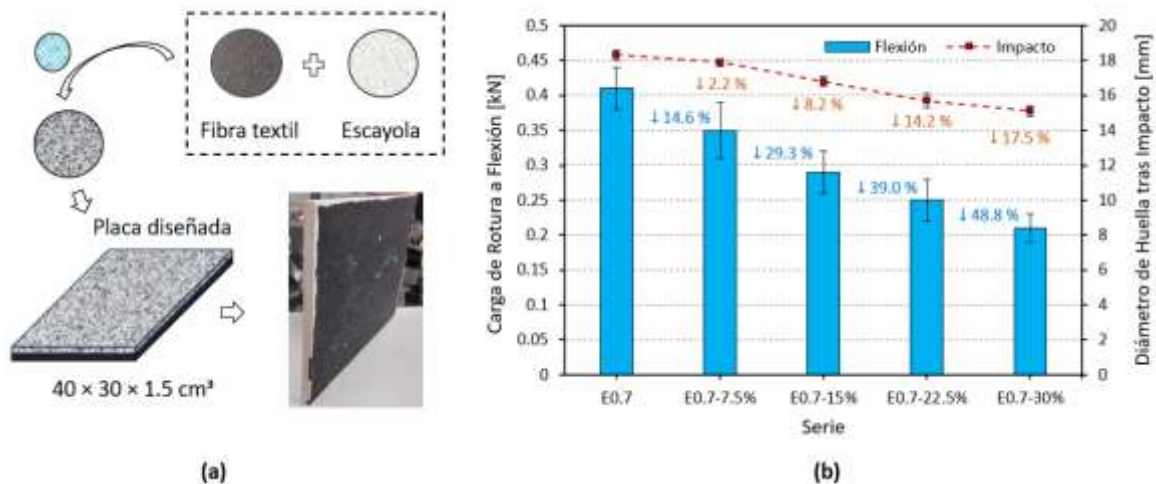


Figura 3. (a) Prototipo de placa prefabricada desarrollada, y, **(b)** Resultados de la carga máxima de rotura a flexión en placas y diámetro de la huella sobre las placas tras el ensayo de dureza frente al impacto.

Como se puede apreciar en la Figura 3a, la buena adherencia entre la banda de caucho aglomerada y el material de escayola permite la perfecta integración de ambos materiales en un único prefabricado, aligerado y con buen comportamiento térmico. Estos materiales, una vez ensayados a flexión como se muestra en la Figura 3b, presentaron una disminución progresiva de la carga máxima de rotura conforme se aumentaba el porcentaje de fibra textil adicionado. No obstante, al igual que ocurría con el ensayo a flexión en probetas normalizadas, incluso la muestra E0.7-30% que presentó una disminución de la resistencia de hasta el 48.8% superó el valor mínimo fijado por la normativa UNE-EN 12859 en 0.18 kN. Igualmente, se observa una mayor atenuación del impacto sobre su superficie que se refleja en la disminución del diámetro de la huella observada sobre la superficie del compuesto de escayola. Así, la muestra E0.7-30% presentó un diámetro de huella tras el impacto un 17.5% inferior a la muestra E0.7.

Resultados similares han sido observados en otras investigaciones previas donde se ha trabajado con fibra textil y residuos de EPS como adición en prefabricados con base yeso [17]. En cualquier caso, este trabajo explora novedosas posibilidades para la aplicación de materias primas recuperadas del reciclaje de NFU y apuesta por su integración en el desarrollo de productos de construcción sostenibles. Bajo el eje imbricador de la sostenibilidad, este trabajo contribuye a promover un uso eficiente de los recursos naturales disponibles y muestra una línea de trabajo para avanzar hacia un edificación más respetuosa con el medioambiente.

4. CONCLUSIONES

En esta investigación se ha explorado la posibilidad de desarrollar compuestos de escayola reemplazando el material original por fibra textil de NFU hasta alcanzar un volumen de sustitución del 30%. Las conclusiones más relevantes que se pueden extraer de la campaña experimental desarrollada se enumeran a continuación:

- La incorporación progresiva de fibra textil produjo una disminución en las resistencias mecánicas de los compuestos endurecidos. No obstante, en todos los casos se superaron los

valores mínimos de 1 MPa de resistencia a flexión y 2 MPa de resistencia a compresión, cumpliendo así con los requisitos fijados por la normativa actual.

- La incorporación de estas fibras recicladas reporta un efecto positivo a la hora de reducir la absorción total de agua en los compuestos de escayola y reduce a su vez la altura alcanzada tras el ensayo de capilaridad hasta en un 37.2%.
- Se ha comprobado a su vez como los nuevos compuestos elaborados con incorporación de fibra textil son más ligeros y poseen una menor conductividad térmica, lo que resulta beneficioso para su empleo en prefabricados.
- En los ensayos realizados sobre placas para falso techo se ha comprobado como todos los compuestos elaborados superaron la carga mínima de rotura de 0.18 kN, reduciendo a su vez la huella producida tras el ensayo de impacto.

Finalmente, cabe destacar que este trabajo puede ser complementado mediante la realización de ensayos químicos y de microscopía para conocer mejor la microestructura interna de los compuestos desarrollados. Adicionalmente, como futura línea de trabajo se propone testar los prefabricados desarrollados frente a la acción del fuego, así como analizar su comportamiento acústico para obtener así una caracterización completa de los mismos. Cabe destacar también que un análisis de ciclo de vida de estos compuestos impulsaría su futura aplicación en el sector de la edificación y sería un trabajo complementario interesante para esta investigación.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer al SIGNUS Ecovalor, S.L., el soporte y medios suministrados a través del Aula SIGNUS-ETSEM con referencia no. PAU2354090272.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Z. Xiao, A. Pramanik, A.K. Basak, C. Prakash, & S. Shankar. "Material recovery and recycling of waste tyres-A review". *Cleaner Materials*, vol. 5, septiembre 2022.
- [2] F. Valentini, & A. Pegoretti. "End-of-life options of tyres. A review", *Advanced Industrial and Engineerign Polymer Research*, vol.5, no. 4, pp. 201-213, octubre 2022.
- [3] V.K. Manupati, A.K. Kulatunga, P. Ray, & T.M. Rofin. "Sustainable management of EOL tyres: A remanufacturing supply chain network design", *Journal of Cleaner Production*, vol. 434, enero 2024.
- [4] A.S. Allam, & M.N. Bakht. "Supporting circularity in construction with performance-based deconstruction", *Sustainable Production and Consumption*, vol. 45, pp. 1-14, marzo 2024.
- [5] C. Zhang, M. Hu, F. Di Maio, B. Sprecher, X. Yiang, A. Tukker. "An overview of the waste hierarchy framework for analyzing the circularity in construction and demolition waste management in Europe", *Science of the Total Environment*, vol. 803, enero 2022.
- [6] E. Attouri, Z. Lafhaj, L. Ducoulombier, B. Linéatte. "The current use of industrialized construction techniques in France: Benefits, limits and future expectations". *Cleaner Engineering and Technology*, vol. 7, abril 2022.

- [7] Y. Kang, S.J. Chang, S. Kim. "Hygrothermal behavior evaluation of walls improving heat and moisture performance on gypsum boards by adding porous materials". *Energy and Buildings*, vol. 165, pp. 431-439, abril 2018.
- [8] D. Ferrández, A. Zaragoza-Benzal, P. Santos, L. Durães. "Characterisation of new sustainable gypsum composites with low-density polyethylene waste from single-use bags". *Journal of Building Engineering*, vol. 80, diciembre 2023.
- [9] O. López, R. Lozano, S. Herrero, P. Mayor, F. Hernández. "Effects of water absorption on the microstructure of plaster with end-of-life tire rubber mortars". *Construction and Building Materials*, vol. 150, pp. 558-567, septiembre 2007.
- [10] R.V. Lozano, O. López, S. Herrero, P.L. Mayor, F. Hernández. "Influencia de la incorporación de fibras de caucho procedente de neumáticos fuera de uso en morteros de yeso. Estudio de las propiedades mecánicas, térmicas y acústicas". *DYNA*, vol. 94, pp. 460-464, julio 2019.
- [11] R.V. Lozano, O. López, S. Herrero, P.L. Mayor, F. Hernández. "Mechanical Behavior of Plaster Composites Based on Rubber Particles from End-of-Life Tires Reinforced with Carbon Fibers". *Materials*, vol. 14, no. 4, julio 2021.
- [12] S. Herrero, P. Mayor, F. Hernández. "Influence of proportion and particle size gradation of rubber from end-of-life tires on mechanical, thermal and acoustic properties of plaster-rubber mortars". *Materials Design*, vol. 47, pp. 633-642, mayo 2013.
- [13] F. Castellón, M. Ayala, M. Lanzón. "Influence of tire rubber waste on the fire behavior of gypsum coatings of construction and structural elements". *Materiales de Construcción*, vol. 72, no. 345, marzo 2022.
- [14] S.N. Moghaddas Tafreshi, A. Amiri, A.R. Dawson. "Sustainable use of End-of-Life-Tires (ELTs) in a vibration isolation system". *Construction and Building Materials*, vol. 405, noviembre 2023.
- [15] R. Maderuelo-Sanz, A.V. Nadal-Gisbert, J.E. Crespo-Amorós, F. Parres-García. "A novel sound absorber with recycled fibers coming from end of life tires (ELTs)". *Applied Acoustics*, vol. 73, no. 4, pp. 402-408, abril 2012.
- [16] A. Calabi-Floody, C. Mingolet-Garrido, G. Valdés-Vidal. "Evaluation of the effects of textile fibre derived from end-of-life tyres (TFELT) on the rheological behaviour of asphalt binders". *Construction and Building Materials*, vol. 360, diciembre 2023.
- [17] A. Zaragoza-Benzal, D. Ferrández, E. Atanes-Sánchez, C. Morón. "New lightened plaster material with dissolved recycled expanded polystyrene and end-of-life tyres fibres for building prefabricated industry". *Case Studies in Construction Materials*, vol. 18, julio 2023.
- [18] A. Serna, M. del Río, J.G. Palomo, M. González. "Improvement of gypsum plaster strain capacity by the addition of rubber particles from recycled tyres". *Construction and Building Materials*, vol. 35, pp. 633-641, octubre 2012.
- [19] D. Ferrández, M. Álvarez, A. Zaragoza-Benzal, P. Santos. "Eco-Design and Characterization of Sustainable Lightweight Gypsum Composites for Panel Manufacturing including End-of-Life Tyre Wastes". *Materials*, vol. 17, no. 3, enero 2024.
- [20] A. Vidales, E. Atanes-Sánchez, M. del Río, C. Piña. "Analysis of the improved water-resistant properties of plaster compounds with the addition of plastic waste". *Construction and Building Materials*, vol. 230, enero 2020.