

# Compuestos de yeso con adición de fibras textiles posconsumo de algodón

## *Gypsum compounds with the addition of post-consumer textile fibres of cotton*

Anabel Patricia Castillo Rodríguez <sup>(\*)</sup>, Justo García Navarro <sup>(\*\*)</sup>

### RESUMEN

La sostenibilidad en la construcción es clave en la reducción del consumo de recursos como materiales y energía, es fundamental adoptar acciones eficientes en procesos de construcción como la reutilización de residuos. Por ello, el presente trabajo analiza la influencia de la incorporación de residuos textiles posconsumo de algodón en las propiedades físico-mecánicas de compuestos de yeso. Se realizó un trabajo experimental en donde se ensayaron probetas de yeso adicionadas con fibras posconsumo de algodón en diferentes formatos, y longitudes (20 y 35mm), adiciones de 0,5% y fibras de 35mm de longitud incrementaron la resistencia a flexión y compresión en un 5,9% y 11% respectivamente, y la absorción de agua por capilaridad descendió un 26% con el 1% de adición. Finalmente se observó que las fibras reducen el desprendimiento de fragmentos de yeso al momento de alcanzar la carga de rotura, mejorando la tenacidad de los compuestos.

**Palabras clave:** Residuos textiles; valorización textil; materiales sostenibles; propiedades físico-mecánicas; yeso.

### ABSTRACT

*Sustainability in construction is key in reducing the consumption of resources such as materials and energy, it is essential to adopt efficient actions in construction processes such as the reuse of waste. Therefore, this paper analyzes the influence of the incorporation of post-consumer textile waste of cotton on the physical-mechanical properties of gypsum compounds. An experimental work was carried out where plaster specimens were tested added with post-consumption cotton fibers in different formats, and lengths (20 and 35mm), additions of 0.5% and fibers of 35mm in length increased the resistance to flexion and compression by 5.9% and 11% respectively, and the absorption of water by capillarity decreased by 26% with 1% addition. Finally, it was observed that the fibers reduce the detachment of gypsum fragments when reaching the breaking load, improving the toughness of the compounds*

**Keywords:** Textile waste; textile recovery; sustainable materials; physical-mechanical properties; gypsum.

(\*) MSc. Arquitecta. Investigadora del Grupo de Investigación Sostenibilidad en la Construcción y la Industria. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid (España).

(\*\*) Dr. Arquitecto. Catedrático de Ingeniería Agroforestal. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid (España).

Persona de contacto/Corresponding author: [anabel.castillo@upm.es](mailto:anabel.castillo@upm.es) (A. Castillo Rodríguez)

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2082-0412> (A. Castillo Rodríguez); <http://orcid.org/0000-0002-5268-1587> (J. García Navarro).

---

**Cómo citar este artículo/Citation:** Anabel Patricia Castillo Rodríguez, Justo García Navarro (2023). Compuestos de yeso con adición de fibras textiles posconsumo de algodón. *Informes de la Construcción*, 75(571): e506. <https://doi.org/10.3989/ic.6205>

**Copyright:** © 2023 CSIC. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia de uso y distribución Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

Recibido/Received: 07/07/2022  
Aceptado/Accepted: 20/04/2023  
Publicado on-line/Published on-line: 11/10/2023

## 1. INTRODUCCIÓN

La producción de materiales de construcción supone impactos ambientales en fases como transporte, proceso de construcción, uso de la edificación, mantenimiento e inclusive su demolición, por ello se deben dedicar esfuerzos hacia la transformación del flujo de materiales hacia una economía circular (1, 2). La sostenibilidad en construcción resulta clave para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, y el consumo de recursos naturales; según estadísticas el sector de la construcción representa cerca del 40% del consumo total de energía final de la Unión Europea y el 36% del total de CO<sub>2</sub> de emisiones (3).

Sin embargo, alcanzar la sostenibilidad en la gestión de recursos implica evaluar la eficiencia en términos de ahorro de recursos naturales, disminuir la generación de residuos y su reutilización (4). Materiales sostenibles y respetuosos con el medio ambiente, elaborados a partir de materias primas secundarias y procesos de reciclaje sostenibles podrían contribuir a la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>, y la reincorporación de residuos de otros sectores como el textil, en la elaboración de materiales y productos de la construcción (5).

En la Unión Europea (UE) se desechan aproximadamente 5,8 millones de toneladas de textiles al año, de las cuales solo 1,5 millones de toneladas (25%) son reciclados por organizaciones benéficas y empresas industriales. Esto sin contar con los residuos textiles de la industria textil, que representa una enorme cantidad de materia prima secundaria que no se utiliza (6). En 2017, el 73% de las prendas producidas terminaron en vertederos o incineradoras y se prevé que hasta el 2030 la industria textil tenga un crecimiento de hasta el 81%, lo que representará un impacto ambiental sin precedentes (7, 8). La demanda de textiles se ha incrementado debido al desarrollo económico y poblacional, por lo que alrededor del 60% de fibras textiles son de origen petroquímicos (fibras sintéticas como poliéster), el 37% restante son de origen natural, en donde predomina el algodón, planta asociada al agotamiento del agua y contaminación por pesticidas en sus cultivos; sin embargo, el algodón es el producto no alimentario más cultivado a nivel mundial (9, 10).

La huella de la industria textil se extiende más allá del uso de materias primas. En 2015 sus emisiones de gases de efecto invernadero ascendieron a los 1200 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>, emisiones superiores a las de todos los vuelos internacionales y transporte marítimo del 2015 (11). Adicionalmente, las actividades de tratamiento húmedo (teñido, acabado, impresión) son las principales fuentes de residuos tóxicos, y el proceso de hilado y tejido dependen del uso de energías fósiles. Por lo cual, las emisiones de gases de efecto invernadero, uso del agua, químicos y residuos generados son los principales retos de la industria (12).

### 1.1. Reciclaje de textiles en la construcción

Entre las primeras investigaciones referente al uso de los residuos textiles posconsumo (prendas de vestir) en materiales de construcción está el trabajo de Lee (2003), en donde se estudió el coeficiente de absorción de residuos no tejidos de poliéster, con la finalidad de encontrar un nuevo material de menor costo e impacto ambiental que pueda sustituir a materiales aislantes como la lana de vidrio y lana de roca (13).

La gran cantidad de residuos textiles y diversidad de fibras como el algodón, lana, seda, poliéster, nylon, se han estudiado como refuerzo en matrices de distintos tipos, materiales de aislamiento y aligeramiento de materiales, debido a su bajo costo, baja densidad, disponibilidad, ahorro de energía y preservación el medio ambiente (14). La principal dificultad al emplear textiles posconsumo es determinar las fibras de las que están compuestas. Blanch et al. (15), mediante el uso de imágenes hiperespectrales, ha mejorado los procesos de clasificación en de textiles empleando infrarrojos; del mismo modo, Koopera (16) ha desarrollado maquinaria para la clasificación de textiles en base a su composición y color. Determinar las fibras que componen las prendas recicladas permite conocer sus características y viabilidad como material de refuerzo, ya que al tener una alta relación superficie/volumen, las fibras son altamente resistentes (17).

Las fibras de algodón son las fibras naturales más empleadas en las prendas de vestir. Residuos obtenidos a partir de pantalones vaqueros de algodón 100%, se emplearon en la elaboración de hormigón poliéster, alcanzando un incremento de hasta un 40% su resistencia a compresión (18). Cuando se emplea fibras de algodón en geopolímeros hay que considerar variantes como las dimensiones, tipo de fibra, el tratamiento previo de fibras y su orientación en el compuesto (19). En geopolímeros a base de cenizas volantes, permite la disminución la densidad del compuesto conforme se aumenta el contenido, ya que facilita el ingreso de burbujas de aire residual a través de la mezcla, aumentando su porosidad (20).

Sin embargo, hay que considerar porcentajes máximos de adición del 2.1%, ya que a medida que se aumenta este porcentaje sus resistencias mecánicas disminuyen debido a los problemas de unión entre la fibra y la matriz (21). Finalmente, la ceniza volante previene la degradación de la tela de algodón a altas temperaturas, y se recomienda una orientación horizontal de las fibras ya que aporta una mayor resistencia a la deformación que al estar orientadas verticalmente; sin embargo, variables como la longitud, espesor, tipo de fibra, tratamiento previo, pueden modificar su rendimiento (21, 22).

La aplicación del algodón en capas para elaboración de paneles de cal hidráulica permitió una mejor porosidad al emplearse las fibras saturadas, sin embargo, el aumento de agua disminuye las resistencias mecánicas (23). Respecto a las adiciones en los compuestos, variarán dependiendo de la matriz. Es así como en el caso de los ladrillos de cemento se considera óptimo hasta un 5% de adición (24). En paneles de epoxi verde se han realizado adiciones de hasta un 20% de fibras (25). Al analizar las fibras respecto a las propiedades físico-mecánicas de geopolímeros, se encontró que fibras de algodón y sisal presentaron mejoras en su resistencia a compresión (14%) y flexión (6%) (26).

Mientras que fibras obtenidas de residuos de alfombras y lana merina aumentó un 50% la resistencia a flexión (27). Otras fibras como el tencel, viscosa, cáñamo, modal y micromodal, presentaron mejores comportamientos a flexión y compresión, sobresaliendo las fibras de viscosa y cáñamo respectivamente en matrices de resina epoxi (28). El uso de fibras sintéticas como el nailon, en morteros de cemento incremento de la resistencia a tracción (35%) y tenacidad fue 13 veces superior que las muestras sin refuerzo (29). Las fibras con mayor longitud y con características elastoméricas poseen una excelente compatibilidad con los morteros (30).

Las fibras naturales como el sisal y lino presentaron una buena adhesión y mejoras en el comportamiento mecánico, probablemente debido a que las fibras naturales presentan un alto grado de flexibilidad lo que permite doblarse en lugar de fracturarse en la matriz (31). El lino ha mostrado buenos resultados de resistencia a compresión en adiciones del 4.1%, en geopolímeros con cenizas volantes en donde presentó un aumento de su resistencia a compresión de 19,4 a 91 MPa (32). Sin embargo, hay que tener en cuenta que la tela de sisal y lino estudiadas fueron compradas ya que se deseaba que el tejido tuviera un espacio-

miento entre la trama y la urdimbre específico, para facilitar la unión de la fibra y la matriz, cabe destacar que estos tipos de fibras han presentado buenos resultados al emplearse en materiales de construcción por lo cual sería conveniente el estudiar la viabilidad de obtener este tipo de fibras recicladas.

A continuación, se presenta un resumen de los estudios antes descritos, la Tabla 1 detalla el autor, tipo de fibra (residuo textil posconsumo) empleada, porcentaje de adición y propiedades del compuesto obtenido.

**Tabla 1.** Estudios de materiales y productos adicionados con fibras textiles.

| Autor/Ref.                  | Matriz                                     | Residuo                                                 | % Adición | Resultados (% sobre el yeso de referencia) * |            |             |          |         |           |
|-----------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------|----------------------------------------------|------------|-------------|----------|---------|-----------|
|                             |                                            |                                                         |           | Espesor mm                                   | Densidad % | Porosidad % | Dureza % | Comp. % | Flexión % |
| Peña P. et al., 2018. (18)  | Hormigón de poliéster                      | Algodón (residuo de vaqueros)                           | 0,5       | 40                                           |            |             |          | + 7     | +9        |
|                             |                                            |                                                         | 1         | 40                                           | n/a        | n/a         | n/a      | +4      | +10       |
|                             |                                            |                                                         | 1,4       | 40                                           |            |             |          | +1,5    | +5        |
| Alomayri et al., 2013 (19)  | Geopolímero (cenizas volantes)             | Algodón (hilo)                                          | 1,4       | 40                                           | -9         | +18         |          | +50     | +37       |
|                             |                                            |                                                         | 2,1       | 40                                           | -13        | +24         |          | +116    | +62       |
|                             |                                            |                                                         | 2,8       | 40                                           | -17        | +40         | n/a      | +100    | +43       |
|                             |                                            |                                                         | 4,1       | 40                                           | -78        | +52         |          | +66     | +39       |
| Alomayri, et al., 2013 (20) | Geopolímero                                | Algodón (hilo)                                          | 0,3       | 10                                           | -4         | +15         |          | +21     | +5        |
|                             |                                            |                                                         | 0,5       | 10                                           | -5,5       | +25         |          | +157    | +10       |
|                             |                                            |                                                         | 0,7       | 10                                           | -9         | +35         | n/a      | - 61    | +2        |
|                             |                                            |                                                         | 1         | 10                                           | -12        | +50         |          | -51     | -1,5      |
| Alomayri, et al., 2014 (22) | Geopolímero (cenizas volantes)             | Algodón (tela) capas                                    | 4,5       | 50                                           |            |             | +29      | +215    | +113      |
|                             |                                            |                                                         | 6,2       | 50                                           | n/a        | n/a         | +36      | +270    | +287      |
|                             |                                            |                                                         | 8,3       | 50                                           |            |             | +38      | +355    | +325      |
| Barbero et al., 2016 (23)   | Paneles de cal hidráulica natural          | Algodón (hilo) Capas                                    | B         | 30                                           | -33        | n/a         | -49      | +107    | -83       |
|                             |                                            |                                                         | C         | 30                                           | -30        |             | -52      | +136    | -89       |
| Rajput et al., 2012 (24)    | Ladrillos (cemento portland)               | Algodón y papel (residuo fábrica)                       | A         | 80                                           | -8         |             |          | +138    |           |
|                             |                                            |                                                         | B         | 80                                           | -16        | n/a         | n/a      | +124    | n/a       |
|                             |                                            |                                                         | C         | 80                                           | -10        |             |          | +113    |           |
| Hassan et al., 2020 (25)    | Paneles (epoxi verde)                      | Algodón                                                 | 10        | 5                                            |            |             |          |         | +366      |
|                             |                                            |                                                         | 15        | 5                                            | n/a        | n/a         | n/a      | n/a     | +403      |
|                             |                                            |                                                         | 20        | 5                                            |            |             |          |         | +430      |
| Silva et al., 2020 (26)     | Geopolímeros (ceniza volante)              | Algodón Sisal                                           | 1         | 50                                           |            |             |          | +14     | +5        |
|                             |                                            |                                                         | 1         | 50                                           | n/a        | n/a         | n/a      | +1,5    | +6        |
| Alzeer et al., 2012 (27)    | Geopolímeros (metacaolín)                  | Lana de alfombra Lana merino                            | 5         | 10                                           |            |             |          |         | +50       |
|                             |                                            |                                                         | 5         | 10                                           | n/a        | n/a         | n/a      | n/a     | +56       |
| Özen et al., 2020 (28)      | Material compuesto (resina epoxi y fibras) | Tencel                                                  | 50        | 25                                           | 112,51     |             |          | +10     | +18       |
|                             |                                            | Cáñamo                                                  | 50        | 25                                           | 131,5      |             |          | +75     | +21       |
|                             |                                            | Modal                                                   | 50        | 25                                           | 117,9      | n/a         | n/a      | +16     | +10       |
|                             |                                            | Micromodal                                              | 50        | 25                                           | 126,1      |             |          | +43     | +29       |
|                             |                                            | Viscosa                                                 | 50        | 25                                           | 118,9      |             |          | +45     | +47       |
| Spadea et al., 2015 (29)    | Mortero de cemento (Disbocret Unitech R4)  | Nailon (redes de pesca) Longitud fibra: 0,5- 1 y 1,5 cm | 1         | 40                                           |            |             |          | -31     | +32       |
|                             |                                            |                                                         | 1,5       | 40                                           | n/a        | n/a         | n/a      | -27     | +32       |
|                             |                                            |                                                         | 1         | 40                                           |            |             |          | -16     | +32       |
|                             |                                            |                                                         | 1,5       | 40                                           |            |             |          | -20     | +35       |
| Habib et al., 2013 (30)     | Mortero de cemento                         | Nailon (longitud 1,5 cm)                                | 0,5       | 40                                           |            |             |          | +40     | +80       |
|                             |                                            |                                                         | 1         | 40                                           | n/a        | n/a         | n/a      | +57     | +135      |
|                             |                                            |                                                         | 1,5       | 40                                           |            |             |          | +75     | +150      |
| Olivito et al., 2014 (31)   | Prefabricados de cemento                   | Sisal y lino (capas tela bidireccional)                 | 2,9       | 5                                            |            |             |          |         | +17,8     |
|                             |                                            |                                                         | 2,1       | 5                                            |            |             |          |         | +5,78     |
|                             |                                            |                                                         | 2,9       | 8                                            | n/a        | n/a         | n/a      | n/a     | +10       |
|                             |                                            |                                                         | 2,1       | 8                                            |            |             |          |         | +7,7      |
| Assaedi et al., 2015 (32)   | Geopolímero (cenizas volantes)             | Tela de lino                                            | 2,4       | 15                                           |            |             | +14      | +131    | +222      |
|                             |                                            |                                                         | 3,0       | 15                                           | n/a        | n/a         | +18      | +250    | +322      |
|                             |                                            |                                                         | 4,1       | 15                                           |            |             | +21      | +369    | +411      |

\*Los resultados se presentan en porcentajes tomando como referencia la probeta sin adición de fibras.

Podemos determinar que, para mejorar las características mecánicas, el formato más empleado ha sido el hilo, un número muy limitado de estudios emplearon los residuos textiles en formato de tela y su aplicación se realizó por capas; Alomayri, et al., (2013) obtuvo los mejores resultados con esta aplicación y el uso de tres capas de tela de algodón mostrando un aumento de su resistencia a flexión y compresión de hasta un 300%.

Respecto al tipo de fibras empleadas, las fibras naturales tuvieron mayor demanda como el algodón, sisal, lana, lino, las cuales se han convertido en una propuesta muy interesante si consideramos que son ligeras y poseen una alta resistencia, por ello se pueden llegar a considerar como una alternativa a las fibras convencionales como aramita, carbono, vidrio, las cuales desde un punto de vista ambiental resultan altamente contaminantes. Adicionalmente las fibras naturales presentan un alto grado de flexibilidad que les permite doblarse en lugar de fracturarse cuando se procesan o se mezclan energéticamente con una matriz.

La función principal del refuerzo con las fibras textiles fue proporcionar ductilidad y control de la fisuración, mejorando su resistencia a la flexión, no obstante, en algunos casos la resistencia a compresión disminuyó o las mejoras eran inferiores a las obtenidas en la resistencia a flexión. Spadea et al., (2015) determinó que la disminución en la resistencia a la compresión del mortero examinado (hasta -37%), se debió al empleo fibras muy cortas las cuales fueron de 0,5 - 1 y 1,5 cm longitud, hay que tener en cuenta también la trabajabilidad de la mezcla, ya que a medida que se aumenta su longitud pueden presentarse problemas en el amasado porque estas tienden a enmarañarse entre sí.

En los estudios los métodos convencionales de mezcla de fibras naturales en las resinas se han basado habitualmente en mezcla o agitación mecánica. Este proceso no permite la incorporación de una fracción de gran volumen de fibras y tiene la tendencia a dañar las fibras, aglomerarlas y/o generar burbujas de aire durante la preparación de la muestra. Respecto a los porcentajes de adiciones estos varían del 0,5 al 50% y dependerán sobre todo en el tipo de matriz y materiales con los que estemos trabajando, en el caso de materiales compuestos con resinas se han alcanzado adiciones de hasta el 50%, pero en el caso de morteros con adiciones superiores al 4% presentaron problemas de trabajabilidad y un descenso en los resultados de resistencia a flexión y compresión, sin embargo a medida que se aumenta el porcentaje de fibras obtendremos un material más poroso y menos denso. Por lo tanto, se ha encontrado que el tipo de fibra, las dimensiones, la cantidad y el tratamiento previo de las fibras afectan las propiedades finales de los compuestos resultantes, por lo cual todos estos son factores se deben tomar en cuenta al momento de determinar el refuerzo de un material con fibras textiles.

En el caso específico de las fibras textiles posconsumo de algodón, estas se han empleado en la elaboración de compuestos a base de cemento, ceniza volante, resinas epoxi; sin embargo, los estudios en matrices de yeso son muy limitados, por ello se ha decidido estudiar la influencia de los residuos textiles posconsumo en las propiedades de los yesos para posibles aplicaciones como refuerzo. Entre las investigaciones que han analizado la influencia de las fibras de

algodón podemos mencionar a Kalkan (2017), que investigó yesos de nueva generación, compuestos de cemento Portland ordinario blanco 29% (WOPC), cal hidratada en polvo 5,5% (HPL), piedra pómez 45% (NPA), perlita expandida 8,5% (EPA), calcita en polvo 6-11% (PCF) y cuatro tipos de fibras (longitud 2-5 cm) obtenidas de fábricas de reciclaje de textiles; y empleó una relación de agua del 0,73 a 1,02 en función del residuo y porcentaje de fibra empleada. Ramírez et al., estudio paneles de escayola que incorporan un 45% en peso de material de cambio de fase, Para ello se ha mejorado previamente sus prestaciones mecánicas y físicas mediante adiciones binarias: fibras de polipropileno y dispersión de melanina formaldehído, en donde se menciona que la incorporación de fibras no afecta de manera significativa la disminución de peso y el incremento de la proporción de fibras disminuye la densidad húmeda y seca de la muestra ya que incrementa el volumen sin apenas añadir masa. G. Vasconcelos et al., (2015) analizó muestras de yeso, corcho granulado y fibras textiles recicladas de neumáticos (poliamida). El corcho fue determinante en la resistencia a compresión, ya que en porcentajes del 5% y 7 % disminuyeron la resistencia a compresión, y las fibras jugaron un papel fundamental en el aumento de la energía de fractura. Tasán (2011) estudió morteros de yeso y escayolas reforzados con fibras de eslingas textiles de un solo uso (6mm de longitud), compuestas por poliéster. Analizaron muestras con el 5%, 7,5% y 10% de adición: las probetas de yeso con adiciones de 10% alcanzaron una mejor resistencia mecánica, y las muestras con escayola con el 7,5% de adición y adiciones superiores disminuyeron la resistencia de las muestras.

En los estudios analizados se han empleado las fibras textiles en el refuerzo de compuestos de yeso con una relación de agua que varía del 0,73 al 1,02; las adiciones inferiores al 2% de fibras presentan mejores resultados, ya que a medida que se aumenta este porcentaje se presentan problemas en el amasado y pérdida de resistencia a flexión y compresión. Se determinó un mejor rendimiento a compresión con la adición de las fibras textiles en bajos porcentajes, mejora en la fractura y fisura de las muestras ensayadas. Hay que tener en cuenta que en todos los casos las fibras se han empleado en formato de hilo. En el caso de las placas de escayola reforzadas con fibras de polipropileno y aligeradas con EPS alcanzan una mayor tenacidad, como consecuencia de la deformabilidad, evitando la rotura frágil de las placas (36-37).

En base a lo revisado podemos destacar que en compuestos de yeso se han empleado adiciones máximas del 10%; no obstante, las mejores resistencias flexión y compresión se obtuvieron con adiciones del 0,5% al 1,5%; en lo que respecta a la longitud de fibras empleadas en yesos, estas oscilan entre 0,6 cm a 5 cm, ya que a medida que se aumenta la longitud de la fibra se presentan problemas en el amasado y homogeneidad de la pasta, ya que éstas tienden a enmarañarse. La relación de A/Y fluctúa entre los 0,65-1,02; sin embargo, una relación A/Y: 0,80 deja de cumplir con los requerimientos mínimos especificados en la norma española UNE-EN 13279-1 (38), que establece una resistencia a flexión mínima de 1N/mm<sup>2</sup> y a compresión 2 N/mm<sup>2</sup>, por lo cual será conveniente una relación entre 0,65-0,75 para la elaboración de probetas en el presente estudio. La Tabla 2 detalla los mejores resultados porcentuales obtenidos de los estudios de matrices de yeso (33-35) con incorporación de fibras textiles, en cada una de las propiedades analizadas.

**Tabla 2.** Resultados físico-mecánicos destacados en compuestos de yeso y fibras textiles.

| Matriz/Autor                              | Residuo                                   | Relación agua | % Adición | Resultados (% sobre el yeso de referencia) * |          |                          |                       |
|-------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------|-----------|----------------------------------------------|----------|--------------------------|-----------------------|
|                                           |                                           |               |           | Densidad %                                   | Dureza % | Resistencia Compresión % | Resistencia Flexión % |
| Compuesto de yeso (Kalkan, 2017 (33))     | Algodón                                   | 0,73          | 0,75      | n/a                                          | n/a      | +18                      | -10                   |
|                                           |                                           | 0,82          | 1,5       |                                              |          | +3                       | -15                   |
|                                           |                                           | 0,93          | 2         |                                              |          | -28                      | -17                   |
|                                           |                                           | 1,02          | 3         |                                              |          | -30                      | -32                   |
|                                           | Algodón + poliéster                       | 0,70          | 0,75      | n/a                                          | n/a      | +61                      | +19                   |
|                                           |                                           | 0,74          | 1,5       |                                              |          | +53                      | +13                   |
|                                           |                                           | 0,78          | 2         |                                              |          | +27                      | +9                    |
|                                           |                                           | 0,86          | 3         |                                              |          | +6                       | -17                   |
|                                           | Algodón + poliéster + acrílico            | 0,74          | 0,75      | n/a                                          | n/a      | +53                      | +18                   |
|                                           |                                           | 0,84          | 1,5       |                                              |          | +18                      | -8                    |
|                                           |                                           | 0,91          | 2         |                                              |          | -13                      | -16                   |
|                                           |                                           | 0,96          | 3         |                                              |          | -16                      | -18                   |
| Yeso FGD (Vasconcelos, et al., 2015 (34)) | Fibras textiles de neumáticos (poliamida) | 0,80          | 1         | -4,3                                         | n/a      | +5,6                     | n/a                   |
|                                           |                                           | 0,80          | 2         | -3,4                                         |          | -8,2                     |                       |
|                                           |                                           | 0,80          | 3         | -6,7                                         |          | +10,5                    |                       |
| Mortero de yeso (Tasán Cruz, 2011(35))    | Poliéster (eslingas)                      | 0,73          | 5         | -1,2                                         | -0,3     | -14,4                    | -3,8                  |
|                                           |                                           | 0,73          | 7,5       | -1,2                                         | -1,1     | -18,5                    | -1,1                  |
|                                           |                                           | 0,73          | 10        | -1,2                                         | -2,0     | -19,8                    | +10                   |
| Mortero escayola (Tasán Cruz, 2011(35))   | Poliéster (eslingas)                      | 0,76          | 5         | -0,4                                         | +3,4     | +4,1                     | +5,2                  |
|                                           |                                           | 0,76          | 7,5       | -0,3                                         | +2,0     | -1,8                     | +14                   |
|                                           |                                           | 0,76          | 10        | -1,2                                         | +2,5     | -10,8                    | +1,8                  |

\*Los resultados se presentan en porcentajes tomando como referencia la probeta sin adición de fibras.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Materiales

Para la elaboración de las probetas se utilizó Yeso LONGIPS -tipo B1, de Saint-Gobain Placo Ibérica, que cumple con las especificaciones de las normas UNE-EN 13279-1. En cuanto a las fibras textiles se emplearon fibras de algodón obtenidas de textiles reciclados posconsumo, los formatos de fibra N y NH se obtuvieron de un pantalón vaquero (98% algodón + 2% elastano) con un tejido tipo sarga, para lo cual se retiraron botones y cremallera; el formato de residuo N, en el caso del formato de fibra NH la tela se recortó en cuadrados de 20x20

mm y 35x35 mm, posteriormente se separaron manualmente las fibras hasta obtener los hilos; el formato de fibra B se obtuvo de un jersey (algodón 100%) con tejido de punto por urdimbre; para obtener la fibra tipo C se obtuvo de un jersey (algodón 100%) con tejido punto por trama; para los dos últimos formatos de fibra (C y B), se cortó la tela con una longitud de 20mm y 35mm y 0,5mm de espesor. En la Figura 1, se muestran los cuatro tipos de formatos de fibra.

### 2.2. Dosificaciones empleadas

La revisión bibliográfica permitió determinar las características, tipo de fibra, el formato y adiciones de las fibras, así como prever el posible comportamiento de las fibras en la matriz, en base a esto los porcentajes de fibra elegidos. Se ha determinado emplear porcentajes de adición de 0,5% y 1,0% ya que en base a la revisión documental adiciones superiores al 1,5% muestran un descenso en las resistencias mecánicas de los compuestos como se observa en las Tablas 1 y 2.

Las fibras poseen dos longitudes 20 mm y 35 mm, ya que en base a los estudios analizados el uso de fibras con longitudes inferiores a los 6 mm presentó descensos en las resistencias mecánicas y lo mismo ocurre con las fibras mayores a los 50 mm, en donde adicionalmente se presentan problemas en el amasado ya que conforme se aumenta la longitud los compuestos tienden a enmarañarse dificultando una distribución homogénea de las fibras en la mezcla.

Se empleó una relación A/Y (relación agua yeso) 0,65 determinado mediante el método de amasado a saturación, según la UNE-EN 13279-2, y considerando además que la ficha técnica del yeso LONGIPS sugiere una relación A/Y inferior a 0,8. Adicionalmente en base a la literatura analizada se determinó como idónea una relación A/Y entre 0,65 a 0,75. En



Figura 1. Fibras recicladas posconsumo de algodón: fibra tipo N (a), fibra tipo NH (b), fibra tipo B (c), fibra tipo C (d). Fuente: Propia.

la Tabla 3 se detallan las dosificaciones empleadas en el presente trabajo.

**Tabla 3.** Dosificaciones y series de probetas de yeso con fibras textiles, A/Y: 0,65.

| Nº Serie | Denominación | % de fibra | Longitud de la fibra (mm) | Formato de fibra |
|----------|--------------|------------|---------------------------|------------------|
| 1        | REF          | 0,0        | 0                         | 0                |
| 2        | N1           | 0,5        | 20                        | N                |
| 3        | N2           | 1,0        | 35                        | N                |
| 4        | N4           | 0,5        | 20                        | N                |
| 5        | N5           | 1,0        | 35                        | N                |
| 6        | NH1          | 1,0        | 20                        | NH               |
| 7        | NH2          | 1,0        | 35                        | NH               |
| 8        | B1           | 0,5        | 20                        | B                |
| 9        | B2           | 1,0        | 35                        | B                |
| 10       | B4           | 0,5        | 20                        | B                |
| 11       | B5           | 1,0        | 35                        | B                |
| 12       | C1           | 0,5        | 20                        | C                |
| 13       | C2           | 1,0        | 35                        | C                |
| 14       | C4           | 0,5        | 20                        | C                |
| 15       | C5           | 1,0        | 35                        | C                |

REF: Referencia, N: Recorte tela sarga, NH: hilo tela sarga, B: recorte tejido urdimbre, C: recorte tejido trama.

Es importante resaltar los siguientes aspectos:

- Se elaboraron 15 series, cada serie está conformada por tres probetas, con dimensiones de 40x40x160 mm (0,256 cm<sup>3</sup>).
- Se confeccionó una serie denominada REF (referencia) sin adición de fibras para comparar con esta serie los resultados obtenidos en las muestras con adición de fibras.
- Se estudiaron cuatro tipos de formato de fibra, identificados como N (recorte tela sarga), NH (hilo tela sarga), B (recorte tejido punto por urdimbre) y C (recorte tejido punto por trama).
- Todas las muestras se elaboraron con una relación A/Y de 0,65.
- Las fibras se emplearon en dos longitudes 20 mm y 35 mm.
- Se empleó dos adiciones de fibras 0,5% y 1,0%.

### 2.3. Preparación de las muestras

Se utilizó un molde triple de 0,256 cm<sup>3</sup> para la elaboración de las 45 probetas, que componen 15 series; una serie de referencia y 14 fueron adicionadas con cuatro formatos de residuo textil de algodón N (recortes de tela sarga), NH (hilos de tela sarga), B (recortes de tela con tejido punto por urdimbre) y C (recortes de tela con tejido punto por trama), con una relación A/Y de 0,65; y adiciones de 0,5% y 1,0%. Como se describe en la Tabla 3.

Para la elaboración de las probetas se colocaron las fibras textiles de algodón posconsumo durante 3 minutos en el agua para su saturación, debido al comportamiento higroscópico de las fibras la relación A/Y puede verse modificada, sin embargo, debido a los bajos porcentajes de adición de fibras

empleadas en el presente estudio (0.5 y 1.5) está modificación es mínima.

Una vez saturadas las fibras se incorporó el yeso, realizó el amasado, la mezcla se vertió en los moldes procurando una distribución homogénea de las fibras en los moldes con la ayuda de una espátula, para evitar la aparición de coqueas, se elevó el molde unos 10mm desde uno de sus extremos y se dejó caer, esta operación se repitió unas 5 veces. Debido a que las fibras tenían una longitud máxima de 35mm y un espesor de 0.5mm a excepción de fibra NH (hilo), no se enmarañaron las fibras.

Una vez alcanzaron la resistencia adecuada se desmoldaron las probetas, estas se secaron durante 7 días a temperatura ambiente, se colocaron en estufa durante 24 horas a una temperatura de  $40 \pm 2$  °, se retiraron y se dejaron enfriar hasta alcanzar la temperatura del laboratorio, para su posterior ensayo físico-mecánico. Las muestras se elaboraron y ensayaron en el Laboratorio de Materiales de la Escuela Técnica Superior de la Edificación de la Universidad Politécnica de Madrid. La temperatura de la sala de ensayos fue de 21,2°C y la humedad relativa del aire 68,0%.

### 2.4. Ensayos realizados

Las probetas se sometieron a ensayos de densidad, resistencia a flexión y compresión en base a la norma UNE-EN 13279-2:2014 Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 2: Métodos de ensayo (39). Para los ensayos de absorción por capilaridad las recomendaciones de la RILEM (40), este ensayo determina el nivel de ascensión de agua que experimenta una probeta sumergida en agua hasta una profundidad de 10 mm durante 10 min, se han pesado las probetas para determinar la cantidad de agua absorbida en gr. En la Figura 2, se pueden observar los ensayos de dureza superficial shore C y de resistencia a flexión.

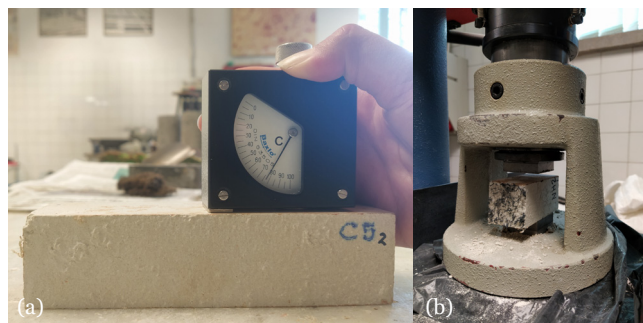


Figura 2. (a) Dureza Shore C en probeta C5. (b) Ensayo a compresión en prensa monitorizada modelo AUTOTEST-SW.

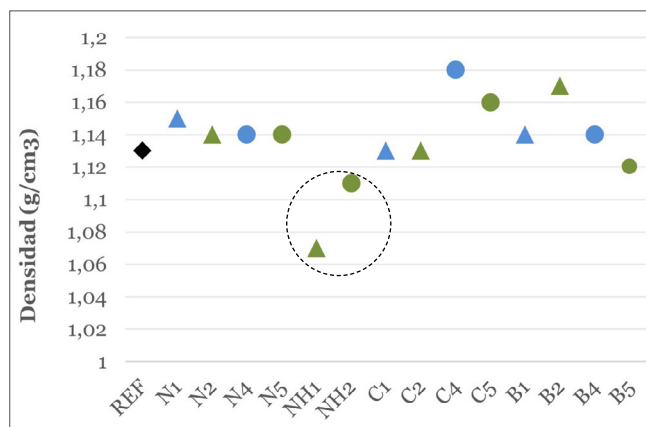
## 3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 3.1. Densidad

El peso empleado para el cálculo de la densidad fue el obtenido después del secado en estufa de las muestras, y el volumen se determinó por las dimensiones de la probeta (4x4x16 cm). Los resultados se muestran en la Figura 3. La probeta de referencia alcanzó una densidad de 1,13 g/cm<sup>3</sup>, las series con adición de fibras presentan densidades similares a la probeta de referencia a excepción de las muestras NH1 y NH2, en las

cuales se redujo un 6% y 2% respectivamente; en ambos casos se empleó el mismo porcentaje de adición.

Sin embargo, las fibras con una longitud de 20mm fueron las que obtuvieron los mejores resultados. Esto se debe a la relación masa/volumen de la fibra NH que, al ser tan ligera y ocupar un mayor volumen en la matriz de yeso, permitió alcanzar densidades más bajas que los otros formatos de fibra estudiados. Finalmente, para obtener muestras más ligeras será necesario aumentar el porcentaje de adición; sin embargo, en base a la revisión documental con adiciones superiores al 4%, se presentaron problemas de amasado y los compuestos tuvieron menores resistencias a flexión y compresión.

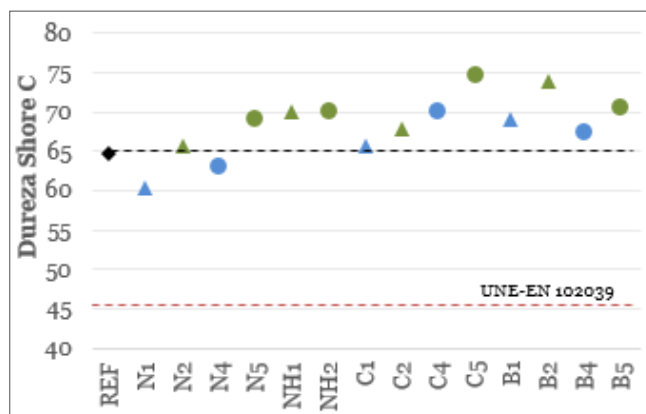


Nomenclatura: Probeta de referencia: ◆. Longitud de la fibra: △ 20 mm, ○ 35 mm. Porcentaje de adición: 0,5% y 1,0%.

Figura 3. Resultados de densidad (g/cm³) de los compuestos analizados.

### 3.2. Dureza Shore C

Los resultados obtenidos de este ensayo se muestran en la Figura 4. Según la información especificada en la ficha técnica del yeso Longips, su dureza superficial es  $\geq 45$  unidades Shore C con una relación A/Y de 0,8; y las muestras realizadas tuvieron una relación A/Y de 0,65 debido a esto su dureza alcanzó 64,73 unidades Shore C.



Nomenclatura: Probeta de referencia: ◆. Longitud de la fibra: △ 20 mm, ○ 35 mm. Porcentaje de adición: 0,5% y 1,0%.

Figura 4. Resultados de dureza shore C (shore C) de los compuestos analizados.

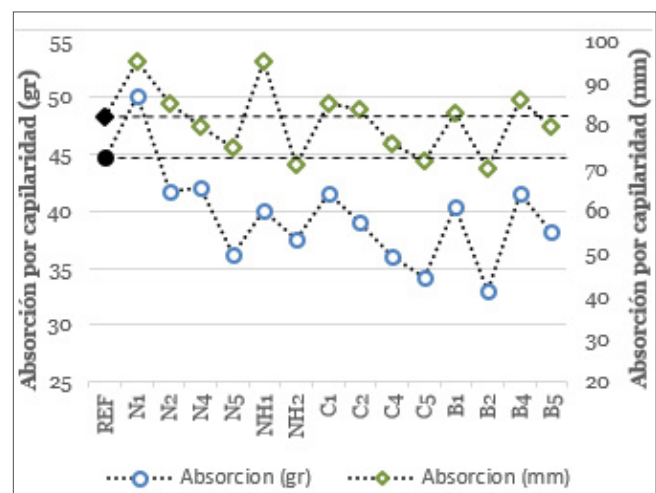
En general se puede observar que los valores se encuentran por encima del valor de referencia, y respecto a las adiciones empleadas, las muestras con el 1% presentan resultados superiores a las muestras con adiciones del 0,5%. El formato del residuo no ha influido en los resultados, por lo cual podemos determinar que la dureza está proporcionalmente relacionada con el aumento del porcentaje de fibra empleada y el aumento en su longitud. Esto se puede constatar en la probeta C5, la cual contiene 1% de adición en fibras de 35mm de longitud, dando como resultado un incremento en su dureza de un 14,78%.

De acuerdo con las normas UNE-EN para yesos de construcción y aglomerantes a base de yeso para la construcción, la dureza superficial mínima que deben cumplir estos compuestos es 65 unidades Shore C, mientras que para yesos de la construcción aligerados indica  $\geq 45$  unidades Shore C. Por lo tanto, en el caso de los compuestos estudiados se cumple con estos requerimientos a excepción de las series N1 y N4, que tienen una dureza superficial mínima por debajo de lo establecido en la normativa, pero superior a la dureza requerida en yesos aligerados.

### 3.3. Absorción de agua por capilaridad

Se observa que a mayor cantidad de fibras textiles las muestras disminuyen la absorción de agua. A pesar de ser el algodón una fibra que absorbe agua con gran facilidad, su capacidad de absorción es inferior a la del yeso, por lo cual contribuye a un descenso de la absorción del agua en los compuestos.

En la Figura 5, se observa que la muestra B2 absorbió 11,5 gr de agua menos que la probeta de referencia, es decir que redujo en un 26% su capacidad de absorción; respecto a los centímetros que ascendió el agua en la probeta B2, fueron 12 mm por debajo de la referencia, es decir un 12% menos de ascensión en mm respecto a la referencia.



Nomenclatura: Probeta de referencia: ◆. Longitud de la fibra: △ 20 mm, ○ 35 mm. Porcentaje de adición: 0,5% y 1,0%.

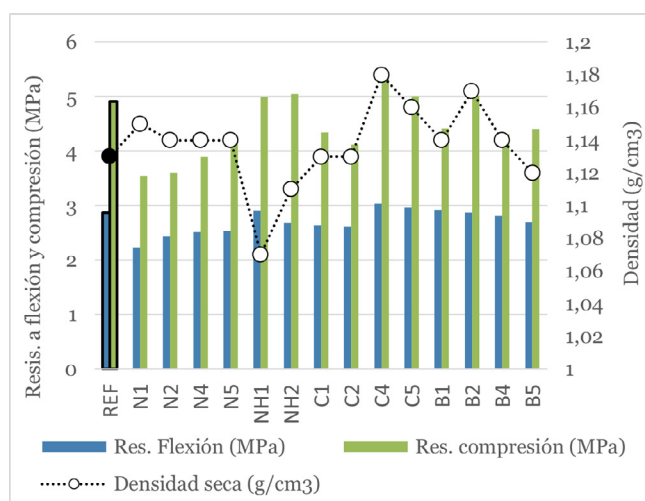
Figura 5. Resultados de absorción de agua por capilaridad.

Cabe mencionar que a pesar de ser menor la cantidad de agua absorbida, las fibras facilitaron el ascenso del agua de forma vertical, ya que el agua se absorbió con mayor rapidez y faci-

lidad por medio de las fibras a través de la probeta. Debido a esto algunas muestras con fibras presentaron una mayor altura en mm de agua ascendida respecto a la referencia a pesar de haber absorbido una menor cantidad de agua en gr (probeta NH1).

### 3.4. Resistencia a flexión y compresión

En la Figura 6 se pueden observar las probetas tras el ensayo a flexión; el formato de hilo en las probetas NH2 obtuvo una mejor distribución en la mezcla, la adición de fibras mejoró la tenacidad de las muestras, las probetas con la adición de fibras posterior al ensayo de flexión se mantuvieron unidas por las fibras las dos partes de la probeta como se observa en la Figura 7.



Nomenclatura: Probeta de referencia: ◆. Longitud de la fibra: △ 20 mm, ○ 35 mm. Porcentaje de adición: 0,5% y 1,0%.

Figura 6: Resistencia a flexión y compresión vs densidad en compuestos de yeso con fibras textiles.



Figura 7. Probetas con hilo formato NH2 (a), probetas con recortes de fibra N1 (b). Fuente: Propia.

Podemos evidenciar una disminución de la resistencia a flexión en gran número de las muestras; sin embargo, algunas muestras presentaron incremento en su resistencia, sobresaliendo la serie C4 y C5 con un incremento en sus resistencias de 5,9% y 3,48% respectivamente, casos en los que las fibras empleadas poseen una longitud de 35mm; por el contrario, la muestra con una longitud de 20mm como la probeta N1, presentó un descenso del 23% en su resistencia, confirmando que la longitud de la fibra juega un papel fundamental en la resistencia de los compuestos.

Respecto a la resistencia a compresión, las muestras C4, C5, NH2, NH1 y B2 con una adición del 1% de fibras en diferentes formatos y una longitud de 35 mm, alcanzaron un incremento en su resistencia de hasta el 11% (C4) respecto a la referencia. La serie con formato N, tuvo un descenso en su resistencia a compresión del 28%, a diferencia de la serie con adición de fibras NH, que debido a su formato en hilo incrementó su resistencia 1,5 MPa, evidenciando la influencia del formato de la fibra en el refuerzo ya que el formato N corresponde a recortes de tela y NH a formato de hilo, adicionalmente como se observa en la Figura 8, las fibras en formato hilo empleadas en la muestra NH2 mejoraron la tenacidad de la muestra.



Figura 8. Probeta sometida a ensayo a compresión (a), probeta NH2 posterior a ensayo de resistencia a compresión.

Los resultados evidencian que las resistencias de los materiales disminuyen a medida que se incorporan fibras de menor longitud, o en formato de recortes de tela, mientras que las fibras en formato de hilo presentan mejores resultados ya que se adhieren y distribuyen mejor en el material.

La densidad de las muestras está relacionada con la resistencia a compresión y flexión en los compuestos con formato de fibra tipo N, C y B, en los que se establece una pérdida de resistencia conforme disminuye la densidad de los compuestos. No obstante, en las muestras con formato tipo NH, la resistencia mecánica no se ve influenciada por la disminución de su densidad, siendo la serie NH1 la menos densa y con un comportamiento mecánico superior a la referencia. En general se cumple con esta relación entre densidad y resistencia a flexión y compresión: cuanto mayor es el porcentaje de adición (1%) y el largo de la fibra (35mm), mayor es la dureza (+14,78%), resistencia a flexión (5,9%) y compresión (11%) respecto a las probetas de referencia.

El aumento en la adición de las fibras al 1% mejoró las resistencias a compresión y flexión de los compuestos y también aumentó sus densidades, aunque como hemos observado anteriormente, la densidad está directamente relacionada con el formato del residuo y su relación masa/volumen; además, los hilos con diámetros mayores aumentaron las densidades, mientras que los más delgados como el hilo del formato NH disminuyó la densidad de las muestras.

En los ensayos a compresión se evidencia como la adición de fibras evita el desprendimiento de grandes fragmentos de yeso en el momento de alcanzar la carga de rotura, manteniendo unidas las partes de la probeta, al contrario de lo que sucede con la probeta sin adiciones. Por lo cual podemos afirmar que la incorporación de las fibras mejora la tenacidad del compuesto obtenido.

#### 4. CONCLUSIONES

El presente trabajo analiza la reutilización de fibras textiles posconsumo de algodón obtenidas de prendas de vestir (pantalón y jersey), en diferentes formatos (longitud, tipo de tejido, hilo/recorte de tela), como material en la elaboración de probetas de yeso. Las probetas de yeso se sometieron a ensayos físico-mecánicos de densidad, dureza shore C, absorción de agua por capilaridad, resistencia a flexión y compresión. Los principales hallazgos fueron:

- En base a la revisión documental, se constata que los residuos textiles se pueden valorizar en distintos formatos, tales como: tela, recortes o hilos, ampliando sus posibilidades de uso y aplicaciones. La longitud de la fibra se identificó como el factor más influyente en las características físico-mecánicas de los compuestos. Longitudes inferiores a los 6 mm producen un peor comportamiento mecánico de los compuestos, y longitudes superiores a los 50 mm, presentar problemas en el amasado ya que las fibras tienden a enmarañarse entre sí, dificultando una distribución homogénea de las fibras en la matriz.
- Respecto al porcentaje de adición, no es conveniente emplear adiciones superiores al 7% ya que el residuo sobrepasa en volumen al yeso dificultando el amasado, por lo cual se consideran adecuadas adiciones entre 0,5% a 1,5%. Finalmente, residuos en formato de hilo y con diámetros inferiores a 0,25mm permiten obtener compuestos más ligeros, mientras que hilos con diámetros superiores a 1mm o con tejidos cuya separación de trama y urdimbre sean superior a 1,5 mm mejoran la dureza superficial y resistencia a flexión y compresión de los compuestos.
- En la fase experimental se observa que la incorporación del 1% de fibras textiles posconsumo de algodón (formato NH - hilo) en matrices de yeso, permitió reducir la densidad de los compuestos un 6%, debido a la relación masa/volumen del residuo. Por lo cual se recomienda el uso del

residuo en formato de hilo en la obtención de compuestos con menores densidades.

- Respecto a la dureza superficial, la longitud de la fibra fue determinante. Los compuestos con 1% de adición de fibras formato C (recorte punto por trama), con una longitud de 35mm, aumentaron un 14,78% su dureza respecto a la probeta de referencia, y conforme se disminuyó esta longitud de la fibra a 20mm, la dureza decreció.
- Por otra parte, con adiciones del 0,5% y fibras de mayor longitud (35mm) se evidencia un incremento en la resistencia a flexión y compresión en un 5,9% y 11% respectivamente, destacándose el formato de fibra C compuesto por recortes de tela. La adición de fibras evita el desprendimiento de grandes fragmentos de yeso en el momento de alcanzar la carga de rotura, mejorando la tenacidad de los compuestos.
- Finalmente, la absorción de agua por capilaridad disminuyó a medida que se incrementó la cantidad de fibras, y el 1% de adición disminuyó hasta un 26% la capacidad de absorción.

Por tanto, se han comprobado experimentalmente algunos de los resultados obtenidos del análisis de la literatura, verificando la influencia de los textiles en el comportamiento físico-mecánico de los compuestos de yeso. Los resultados muestran un mejor comportamiento mecánico al emplearse fibras en formato de recortes de tela, y compuestos más ligeros con el uso de fibras en formato de hilo.

Desde el punto de vista ambiental, el reciclaje fibras y recortes textiles, en la elaboración de materiales permite incorporar a la cadena productiva estos residuos, los cuales pueden aportar mejoras en las propiedades físico-mecánicas de los compuestos. Sin embargo, se considera necesario continuar con la investigación y analizar muestras con formatos de fibras con mayor longitud y diámetro para determinar con exactitud la influencia de estas variables en las propiedades de los compuestos a base de yeso.

#### REFERENCIAS

- (1) Green Building Council España, Asociación Sostenibilidad y Arquitectura and Centro Complutense de Estudios e Información Ambiental. (2010). Cambio global España 2020-2050. Sector Edificación. La imprescindible reconversión del sector frente al reto de la sostenibilidad. Cambio Global España 2020/50. Sector Edificación, abril. Recuperado de [https://gbce.es/archivos/ckfinderfiles/Investigacion/CGE\\_Edificacion\\_baja.pdf](https://gbce.es/archivos/ckfinderfiles/Investigacion/CGE_Edificacion_baja.pdf).
- (2) Cândido L., Kindlen W., Demori R., Carli L., Mauler R. and Oliveira R. (2011). The recycling cycle of materials as a design project tool. *J. Clean. Prod.*, 19(13), 1438-1445. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.04.017>.
- (3) González Vallejo P., Solís Guzmán J., Llácer Pantió R. and Marrero Méndez M. (2015). La construcción de edificios residenciales en España en el período 2007-2010 y su impacto según el indicador Huella Ecológica. *Informes de la Construcción*, 67(539), e111. <http://doi.org/10.3989/ic.14.017>.
- (4) Ley 10/1998, de 21 de abril, de residuos. BOE 96, (1998). Jefatura del Estado. Recuperado de <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1998-9478>.
- (5) Giesekam J., Barrett J., Taylor P., Owen A. (2014). The greenhouse gas emissions and mitigation options for materials used in UK construction. *Energy Build.*, 78, 202-214. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.04.035>.
- (6) Briga-Sá A., Nascimento D., Teixeira N., Pinto J., Caldeira F., Varum H. and Paiva A. (2013). Textile waste as an alternative thermal insulation building material solution. *Construction and Building Materials*, 38, 155-160, doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.08.037>.
- (7) Ellen Macarthur Foundation and Circular Fibres Initiative (16 de enero de 2022). A new textiles economy: Redesigning fashion's future. Recuperado de <http://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications>.
- (8) Global Fashion Agenda (5 de febrero de 2022). Copenhagen Fashion Summit. Presented at Global Fashion Agenda. Recuperado de: <https://www.globalfashionagenda.com/>.
- (9) Sandin G. and Peters G.M. (2018). Environmental impact of textile reuse and recycling – A review. *Journal of Cleaner Production*, 184, 353-365. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.266>.
- (10) Textile Exchange (2018). Textile Sustainability united in action: Accelerating Sustainability in Textiles & Fashion. Presented at Textile Sustainability Conference.

- (11) International Energy Agency. (2016). Energy, Climate Change & Environment: 2016 insights. pp. 113. <https://www.iea.org/reports/energy-climate-change-and-environment-2016-insights>.
- (12) Steffen W., Richardson K., Rockström J., Cornell S.E., Fetzer I., Bennett E.M., Biggs R., Carpenter S.R., De Vries W., De Wit C.A. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223). <https://doi.org/10.1126/science.1259855>.
- (13) Lee Y. (2013). Sound absorption properties of recycled polyester fibrous assembly absorbers. *AUTEX Research Journal*, 3(2), Recuperado de [http://www.autexrj.com/cms/zalaczone\\_pliki/5-03-2.pdf](http://www.autexrj.com/cms/zalaczone_pliki/5-03-2.pdf).
- (14) Rubino C., Stefanizzi P. (2018). Textile wastes in building sector: A review. *Modelling, Measurement and Control B*, 87(3), 172-179, doi: [https://doi.org/10.18280/mmc\\_b.870309](https://doi.org/10.18280/mmc_b.870309).
- (15) Carolina B., Saeys W., Lambrechts A. (2019). Hyperspectral imaging for textile sorting in the visible–near infrared range. *Journal of Spectral Imaging*, 8, ID-a17. <http://doi.org/10.1255/jsi.2019.a17>.
- (16) Koopera (25 de marzo de 2022). Reutilización y reciclaje Koopera. Recuperado de <https://www.koopera.org/preparacion-para-la-reutilizacion/>.
- (17) De Araújo M. (2011). 1 - Natural and man-made fibres: Physical and mechanical properties. *Fibrous and Composite Materials for Civil Engineering Applications*, 3-28. <http://doi.org/10.1533/9780857095583.1.3>.
- (18) Peña-Pichardo P., Martínez-Barrera G., Martínez-López M., Ureña-Núñez F. and dos Reis, João Marciano Laredo. (2018). Recovery of cotton fibers from waste Blue-Jeans and its use in polyester concrete. *Construction and Building Materials*, 177, 409-416. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.137>.
- (19) Silva, G., Kim, S., Aguilar, R., Nakamatsu, J. (2020). Natural fibers as reinforcement additives for geopolymers – A review of potential eco-friendly applications to the construction industry. *Sustainable Materials and Technologies*, 23, e00132. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2019.e00132>.
- (20) Alomayri T., Shaikh F.U.A., Low I.M (2013). Characterisation of cotton fibre-reinforced geopolymer composites. *Composites Part B: Engineering*, 50, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.01.013>.
- (21) Alomayri T., Shaikh F.U.A., Low I.M. (2013). Thermal and mechanical properties of cotton fabric-reinforced geopolymer composites. *J. Mater. Sci.*, 48(19), 6746-6752, <https://doi.org/10.1007/s10853-013-7479-2>.
- (22) Alomayri T., Shaikh F.U.A., Low I.M. (2014). Effect of fabric orientation on mechanical properties of cotton fabric reinforced geopolymer composites. *Materials & Design*, 57, 360-365. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.01.036>.
- (23) Barbero-Barrera, M.d.M., Pombo, O., Navacerrada, M.Á. (2016). Textile fibre waste bindered with natural hydraulic lime. *Composites Part B: Engineering*, 94, 26-33. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.03.013>.
- (24) Rajput, D., Bhagade, S.S., Raut, S.P., Ralegaonkar, R.V., Mandavgane, S.A. (2012). Reuse of cotton and recycle paper mill waste as building material. *Construction and Building Materials*, 34, 470-475. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.02.035>.
- (25) Hassan, T., & Jamshaid, H. (2020). Acoustic, mechanical and thermal properties of green composites reinforced with natural fibers waste. *Polymers*, 12(3), 654. <https://doi.org/10.3390/polym12030654>.
- (26) Silva G., Kim S., Aguilar R. and Nakamatsu J. (2020). Natural fibers as reinforcement additives for geopolymers – A review of potential eco-friendly applications to the construction industry. *Sustainable Materials and Technologies*, 23, e00132. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2019.e00132>.
- (27) Alzeer, M., MacKenzie, K.J.D. (2012). Synthesis and mechanical properties of new fibre-reinforced composites of inorganic polymers with natural wool fibres. *Journal of Materials Science*, 47(19), 6958-6965. <https://doi.org/10.1007/s10853-012-6644-3>.
- (28) Özen, M.; Demircan, G., Kisa, M., İlik, Z. (2020). Investigation of usability of waste textile fabrics in composites. *Emerging Materials Research*, 9(1), 18-23. <https://doi.org/10.1680/jemmr.18.00106>.
- (29) S. Spadea, I. Farina, A. Carrafiello, F. Fraternali (2015). Recycled nylon fibers as cement mortar reinforcement. *Constr. Build. Mater.*, 80, 200-209. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.01.075>.
- (30) Habib, A., Begum, R., Alam, M. (2013). Mechanical properties of synthetic fibers reinforced mortars. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 4(4). <https://www.researchgate.net/publication/235936125>
- (31) Olivito, R.S., Cevallos, O.A., Carrozzini, A. (2014). Development of durable cementitious composites using sisal and flax fabrics for reinforcement of masonry structures. *Materials & Design*, 57, 258-268. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.11.023>.
- (32) Assaedi, H., Alomayri, T., Shaikh, F. U., Low, I. (2015). Characterisation of mechanical and thermal properties in flax fabric reinforced geopolymer composites. *Journal of Advanced Ceramics*, 4(4), 272-281. <https://doi.org/10.1007/s40145-015-0161-1>.
- (33) Kalkan Ş. (2017). Technical investigation for the use of textile waste fiber types in new generation composite plasters. M.S. thesis, Univ. İzmir Katip Çelebi Üniversitesi., Turquía.
- (34) Vasconcelos G., Lourenço P.B., Camões A., Martins A. and Cunha S. (2015). Evaluation of the performance of recycled textile fibres in the mechanical behaviour of a gypsum and cork composite material. *Cement and Concrete Composites*, 58, 29-39. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2015.01.001>.
- (35) Tasán Cruz D.M. (2011). Caracterización de morteros de yeso reforzados con fibras recuperadas de eslingas textiles de un solo uso. M.S. thesis, Universidad Politécnica de Madrid., Madrid. Recuperado de <http://oa.upm.es/10836/>
- (36) Ramírez, A.O., Santos, A.G., González, F.J.N. (2011). Caracterización física y mecánica de placas de yeso con materiales de cambio de fase incorporados para almacenamiento de energía térmica mediante calor latente. *Materiales de Construcción*, 61(303), 465-484. <https://doi.org/10.3989/mc.2011.53309>.
- (37) Santos, A.G. (2009). Escayola reforzada con fibras de polipropileno y aligerada con perlas de poliestireno expandido. Escayola reforzada con fibras de polipropileno y aligerada con perlas de poliestireno expandido. *Materiales de Construcción*, 59(293), 105-124. <https://doi.org/10.3989/mc.2009.41107>.

- (38) UNE-EN (2009). *UNE-EN 13279-1: 2009 Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 1: Definiciones y especificaciones*. UNE Normalización Española.
- (39) UNE-EN (2014). *UNE-EN 13279-2:2014 Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 2: Métodos de ensayo*. UNE Normalización Española.
- (40) RILEM (1980). TC 25-PEM. Protection et erosion des monuments: Recommandés pour mesurer l'artération des pierres et évaluer l'efficacité des méthodes de traitement. Matériaux et Constructions. International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures.