

ESTADO DEL ARTE SOBRE EL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE LA ESCAYOLA REFORZADA CON FIBRAS DE VIDRIO E

(STATE OF THE ART OF THE PHYSICAL-MECHANICAL PERFORMANCE OF FIBREGLASS-E REINFORCED PLASTER)

Mercedes del Río Merino*, Francisco Hernández Olivares**, Pablo Comino Almenara***

(*) Dpto. de construcciones arquitectónicas y su control. E. U. Arquitectura Técnica

(**) Dpto. de construcción y tecnología arquitectónica. E.T.S. Arquitectura. U. Politécnica

(***) Vetrotex, Jefe del Servicio Técnico-Comercial y del Centro Técnico de aplicaciones

Fecha de recepción: 13-X-04

ESPAÑA

614-14

RESUMEN

En este artículo se presentan los resultados y las conclusiones obtenidas en diferentes estudios, sobre el comportamiento físico y mecánico, realizados en probetas de yeso/escayola reforzadas mediante la incorporación de fibras, y, en concreto, de fibras de vidrio E, en formato de hilos cortados. Este tipo de fibras son las más utilizadas en la actualidad para el refuerzo en prefabricados de yeso/escayola, en España.

SUMMARY

This article contains a discussion of the results and conclusions obtained in different studies to determine the physical and mechanical performance of fibre-reinforced plaster/scagliola specimens. The reinforcement used in this case is short filaments of fibreglass-E, the type of fibre most widely used at this time in Spain to reinforce prefabricated plaster/scagliola.

1. INTRODUCCIÓN

De los tres procedimientos que se utilizan en la actualidad para mejorar las prestaciones del yeso:

1. Adición de fibras.
2. Aumento de la cohesión intercrystalina, disminuyendo la relación A/E o utilizando aditivos como fluidificantes y superfluidificantes.
3. Combinación de los dos anteriores.

Es el refuerzo del yeso/escayola mediante la adición de fibras el que se analiza en este artículo y, concretamente, la adición de fibras de vidrio.

Las fibras se utilizan desde la antigüedad para reforzar materiales frágiles (tapial, adobe), en general, el refuerzo actúa mejorando el comportamiento físico-mecánico de la matriz.

El comportamiento de estos compuestos depende, en primer lugar, del tipo de fibra añadida, y luego de otros factores, como: porcentaje de fibra, longitud de la fibra, orientación, superficie de la fibra, etc.

Las funciones principales de cada una de las fases del compuesto son:

- La matriz sirve para unir las fibras y proteger su superficie durante la fabricación y manipulación del compuesto, a fin de transferir el esfuerzo a las fibras por adherencia o fricción.

- Además debe ser química y térmicamente compatible con las fibras.

- Las fibras deben tener la resistencia a tracción y el módulo de elasticidad mayor que la matriz y, si se trata de matrices frágiles, debe mantener unida la matriz una vez que se producen fisuras.

- Por último, la interfase es la superficie límite entre las fibras y la matriz, debiendo ser estable.

Las fibras a añadir en una matriz de yeso/escayola pueden ser naturales o artificiales.

Fibras naturales:

Se han encontrado varias referencias bibliográficas sobre la adición de fibras naturales en el refuerzo del yeso/escayola (1) (2). Las más utilizadas son las fibras cortas de celulosa, sisal y esparto, pero, de todas ellas, con la que se obtuvieron mejores resultados, fue con la fibra de sisal.

Fibras artificiales:

En la Tabla 1, dentro del grupo, se destacan diferentes tipos de fibras artificiales

De todas estas fibras, las más adecuadas para su adición en el yeso/escayola como refuerzo, son las fibras poliméricas y las fibras de vidrio, ya que el resto son excesivamente caras y de prestaciones mecánicas muy superiores al yeso/escayola, con lo cual estarían infraaprovechadas.

Existe un trabajo pormenorizado del comportamiento de la escayola reforzada con diversas fibras poliméricas (4).

En cuanto a las fibras de vidrio, que son las fibras que más se utilizan como refuerzo en los prefabricados de escayola, se presentan en este artículo los resultados de diversos estudios donde se determina el refuerzo más adecuado atendiendo al tipo de fibra, longitud de la fibra, porcentaje de adición, etc. (5-11).

1.1. Fibra de vidrio E

Las fibras de vidrio constituyen el refuerzo más utilizado en la realización de los materiales compuestos.

Están formadas fundamentalmente por sílice, que se asocia a diversos óxidos (alúmina, alcalinos y alcalinotérreos),

y se obtiene por fusión de la mezcla de estos materiales, pasando por la hilera y sometándose a una operación de estirado.

Sus principales características son:

Excelente adherencia fibra-matriz, gracias a recubrimientos (ensimajes) apropiados para la mayoría de las matrices orgánicas; buenas propiedades dieléctricas e interesante relación características/coste.

Estas fibras se presentan en distintos formatos: tejidos, mat, hilos cortados, etc.

De todas estas posibilidades que existen en el mercado, son las fibras de vidrio E, en formato de hilo cortado, las más utilizadas para el refuerzo de los elementos prefabricados de yeso/escayola.

Esta fibra se consigue por estirado a grandes velocidades de los filamentos de vidrio E (boro-silicato, prácticamente exento de álcalis) (12).

En la Tabla 2, se resumen las principales características de esta fibra.

En la actualidad, la fibra de vidrio se añade en pequeñas cantidades en placas de escayola con aplicaciones en falsos techos, en bloques de escayola y en placas de yeso laminado para protección contra el fuego, con la intención de evitar, mediante el cosido por las fibras, que los fragmentos en que pudieran romperse estos elementos, por efecto del fuego o de algún impacto, se desprendan.

2. PLAN DE ENSAYOS

Para alcanzar el objetivo del estudio se confeccionaron series de probetas prismáticas de dimensiones 4x4x16 cm (tres probetas por serie), según el Pliego RY-85 (13). Sobre las probetas se realizaron ensayos de flexión, compresión e impacto y se registraron los valores de dureza superficial (Shore C) y los pesos después de fraguado y a los siete días.

TABLA 1
Fibras artificiales de refuerzo (3)

De origen inorgánico	Fibra de vidrio (A, C, D, E, R, AR)
	Fibras cerámicas
	Fibras metálicas
	Fibras mixtas (cerámicas+metal): boro.
De origen orgánico	Fibras poliméricas
	Fibras de aramida.
	Fibra de carbono (HR, HM).

TABLA 2
Características de la fibra de vidrio E (12)

Características del vidrio E: <i>Densidad (en fibras)</i> <i>Diámetro del filamento de fibra</i> <i>Número de filamentos en un hilo</i> <i>Dureza (escala MOHS)</i> <i>Absorción de agua (a 20°C y 65% HR)</i> <i>Índice de refracción</i>	2.54 g/cm ³ 8-10 micras 204 6.5 < 0.1% 1.55
Propiedades mecánicas: <i>Resistencia a tracción</i> <i>Módulo de Young</i> <i>Resistencia a la tracción s/ filamento virgen</i> <i>R. a la tracción referido al vidrio en un compuesto unidireccional</i> <i>Alargamiento a la rotura en el compuesto</i>	250° MPa 80 GPa 350 0 MPa 2200 MPa 3%
Propiedades térmicas: <i>Coefficiente de conductibilidad térmica</i> <i>Calor específico</i> <i>Coefficiente de dilatación térmica</i> <i>Punto de reblandecimiento dilatométrico</i> <i>Punto de recibido</i>	1 W/m °C 0.2 cal/g °C 5.10 /°C 710-720 °C 660 °C

El orden de realización de las probetas fue:

1. En primer lugar se realizó la serie de referencia 8E, escayola sin aditivar con una relación A/E=0,8.

2. Posteriormente se realizaron probetas de escayola (A/E=0,8) y fibra de vidrio E de diferentes longitudes (12, 25, 32 y 50 mm), así como en diferentes porcentajes de adición (0,25%, 0,5%, 0,75%, 1% y 2%) sobre el peso de la escayola.

2.1. Materiales utilizados

Escayola: la escayola que se utilizó a lo largo de todo el trabajo fue E-35 (7). Escayola especial, constituida fundamentalmente por sulfato de calcio semihidrato, con la posible incorporación de aditivos reguladores del fraguado, con mayor pureza que la escayola E-30 y con una resistencia mínima a flexotracción de 3,5 MPa.

Tipo de fibra E utilizada: a la vista de los resultados obtenidos en estudios sobre el tema (5 y 6), se decide trabajar con una fibra de vidrio E, en formato de hilos cortados de diámetro 12 micras y ensimaje de resina epoxi poliéster (1% en peso), esta fibra la fabrica Vetrotex y la comercializa con el nombre de P-243. Las longitudes de fibra ensayadas han sido: 12, 25, 32 y 50 mm.

3. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

3.1. Trabajabilidad

Con los hilos cortados a una longitud de 12 mm las fibras son visibles en la superficie, quedando los hilos algo

desfibrados, consiguiéndose un reparto homogéneo de la fibra.

Con hilos de longitud 25 mm, con poca adición de fibra se consigue una buena trabajabilidad y reparto mientras que con porcentajes de fibra superiores al 1% la mezcla pierde fluidez, apareciendo falta de homogeneidad en el reparto de la fibra en la matriz.

A partir de 32 mm de longitud las fibras prácticamente no son visibles en la superficie pero no se consigue un reparto homogéneo de la fibra, dificultándose enormemente en porcentajes de adición del 2%.

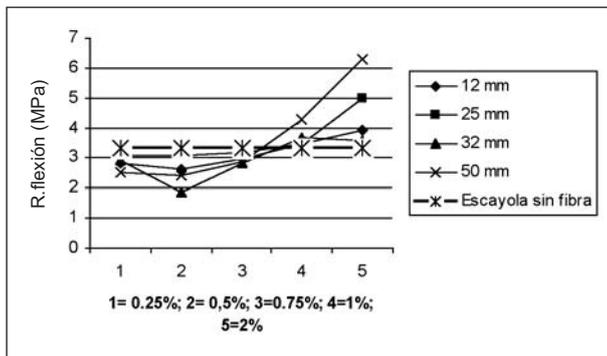
3.2. Resistencia a flexión

En las Gráficas 1 y 2 (página siguiente), se presentan los resultados medios obtenidos en los ensayos de resistencia a flexión sobre las probetas.

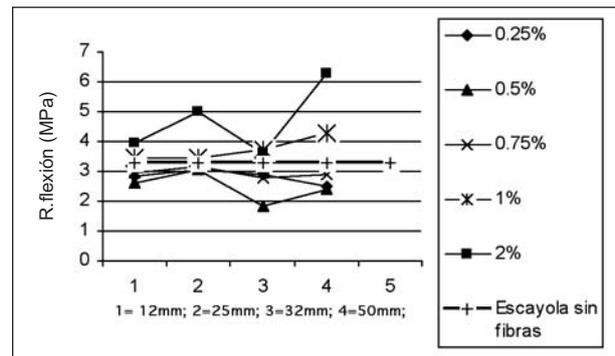
De los resultados se deduce que la resistencia a flexión aumenta con el porcentaje de fibras añadidas a la matriz, siempre que se consiga una dispersión homogénea de las mismas y con el aumento de la longitud de las fibras.

Además, hasta con adiciones mínimas (0,25%) se consiguen mejoras importantes en la tenacidad del material, posibilitando que después de la máxima carga de rotura, el material siga deformándose y no aparezca una rotura frágil, como en el caso de la escayola sin aditivar.

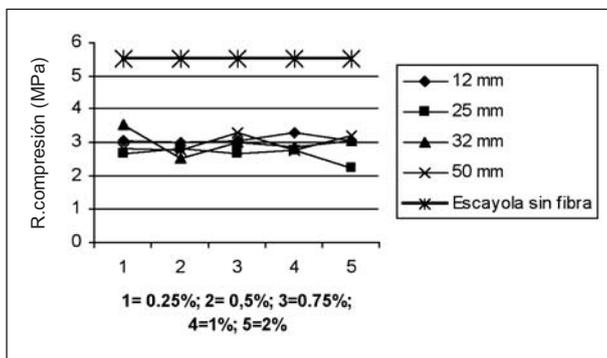
Se destacan los compuestos de escayola y fibra de vidrio en porcentaje del 2% con fibras de longitudes 25 y 50 mm.



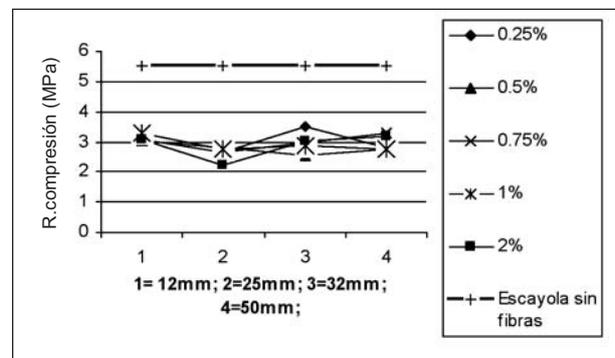
Gráfica 1.- Resistencia media a flexión de probetas de escayola reforzadas con fibra de vidrio E de diferentes longitudes.



Gráfica 2.- Resistencia media a flexión de probetas de escayola reforzadas con fibra de vidrio E, en diferentes porcentajes de adición.



Gráfica 3.- Resistencia media a compresión de probetas de escayola reforzadas con fibra de vidrio E de diferentes longitudes.



Gráfica 4.- Resistencia media a compresión de probetas de escayola reforzadas con fibra de vidrio E, en diferentes porcentajes de adición.

3.3. Resistencia a compresión

La resistencia a compresión, como es habitual, disminuye frente a la matriz sin reforzar (Gráficas 3 y 4), debido a un incremento en la porosidad del material. Este aumento de la porosidad, es mayor en probetas con mayor adición de fibras por ser en aquellas probetas donde no se ha conseguido una dispersión homogénea de las mismas, apareciendo éstas formando acumulaciones (visibles incluso en la superficie de fractura).

Los valores obtenidos de resistencia a compresión en todos los compuestos estudiados son muy similares entre ellos, suponiendo una reducción de casi el 50% frente a la escayola sin reforzar.

Al igual que en la resistencia a flexión, gracias al refuerzo de las fibras, el material no tiene una rotura frágil, sino que los fragmentos en que quedan divididas las probetas se mantienen cosidos, después de la carga de rotura, permitiendo al material deformarse, una vez superada ésta.

Con fibras de pequeña longitud, no disminuye la resistencia, sino que en todos los porcentajes de adición se obtienen valores de resistencia similares a los de la escayola sin aditar.

Se destaca el mejor comportamiento de las probetas con adición de fibras del 1% y 12 mm de longitud.

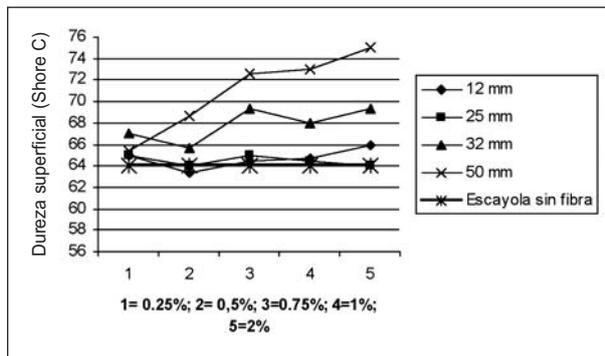
3.4. Dureza superficial

Para las series realizadas con fibras de longitudes 32 y 50 mm, se superan los valores de dureza superficial de la escayola sin fibras, mientras que para el resto de las longitudes de fibra, los valores obtenidos son muy similares a la escayola sin reforzar.

Por otra parte, a medida que aumenta el porcentaje de adición de fibras, en general, se constata un aumento de la dureza superficial (Gráfica 5).

3.5. Resistencia ante el impacto

Se realizan probetas de escayola ($A/E=0,8$), con dimensiones tipo placa $13 \times 6 \times 1$ cm de espesor, y probetas de escayola reforzada con fibra de vidrio E de 25 mm de longitud, con diferentes porcentajes de adición (0,1; 0,5; 1 y 2%). Sobre estas probetas se realizan ensayos de impacto con bola de acero de 30 mm de diámetro y 110 g de peso, dejando caer la bola desde 25 cm de altura, sobre un suelo de arena donde se apoyan las probetas.



Gráfica 5.- Dureza superficial de probetas de escayola reforzadas con fibra de vidrio E de diferentes longitudes.

En la Gráfica 6, se registra la energía absorbida por las probetas hasta la rotura.

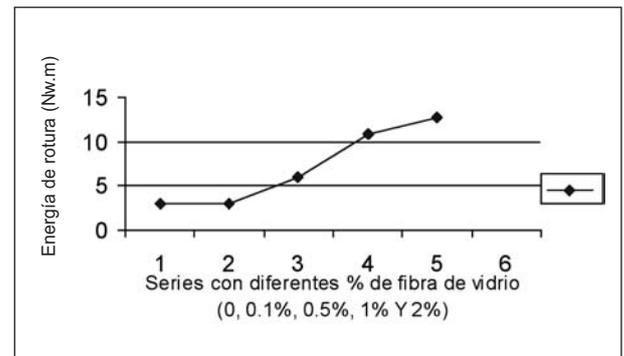
De los resultados se puede concluir que la adición de fibras de vidrio E, en una matriz de escayola, aumenta la energía consumida hasta la rotura, y que además, desde mínimas adiciones de fibra (0,5%), las partes en que quedan rotas las probetas no se desprenden.

4. CONCLUSIÓN FINAL

Del estudio realizado se concluye como más idóneo el refuerzo del yeso/escayola mediante la adición de fibra corta de 25 mm de longitud, en un 2% sobre el peso del conglomerante, a fin de conseguir, con esta adición, incrementos importantes de la resistencia a flexión, manteniendo una buena trabajabilidad. No se descarta la utilización de fibras de mayor longitud, en piezas de mayor dimensión, que las probetas utilizadas.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas de la E.T.S.A.M. y el equipo de viviendas de bajo coste del Instituto Eduardo Torroja. CICYT N.PB 87/0805.
- (2) Oteiza, I.: "Estudio del comportamiento de la escayola reforzada con fibras de sisal, para componentes en viviendas de bajo coste". Tesis doctoral.
- (3) Antequera, P.; Jiménez, L.; Miravete, A.: "Los materiales compuestos de fibra de vidrio". Edit: secretariado de publicaciones. Zaragoza, 1991.



Gráfica 6.- Relación entre la energía de rotura y el porcentaje de fibra de vidrio E añadida a la escayola.

- (4) García Santos, A.: "Modelo teórico del comportamiento mecánico del yeso y sus compuestos fibrosos poliméricos". Tesis doctoral.
- (5) del Río Merino, M.; Hernández Olivares, F.: "Escayola reforzada por la acción sinérgica entre aditivos del hormigón (superfluidificantes, fluidificantes y aireantes-plasticantes) y fibras de vidrio E". Mater Construcc Vol. 50, nº 260, pp. 27-38, 2000.
- (6) del Río Merino, M.; Comino Almenara, P.: "Influencia del grado de dispersabilidad de la fibra de vidrio tipo E en el comportamiento mecánico y la trabajabilidad de la escayola". Mater Construcc Vol. 51, nº 261, pp. 33-44, 2001.
- (7) del Río Merino, M.; Comino Almenara, P.: "Análisis de los refuerzos mixtos de fibras de vidrio E y fibras AR en la escayola, como alternativa a los refuerzos monofibras (homogéneos)". Mater Construcc Vol. 52, nº 268, pp. 33-42, 2002.
- (8) Vega Sánchez. "Yeso reforzado con fibra de vidrio en distintos porcentajes". Cátedra de materiales de construcción. ETSAM. 1991.
- (9) Alcaide, N.: "Yeso reforzado con fibra de vidrio y fluidificante". Cátedra de materiales de construcción. ETSAM. 1992.
- (10) Baoid, D; Remedios, J.: "Yeso reforzado con tejidos y velos de fibra de vidrio E". Cátedra de materiales de construcción. ETSAM. 1989.
- (11) Cátedra de materiales de construcción. ETSAM. UPM. "V. Jornada sobre aplicaciones arquitectónicas de los materiales compuestos y aditivados", 1999.
- (12) Catálogos Vetrotex.
- (13) AENOR.- UNE-102-032. "Yesos y escayolas de construcción. Métodos de ensayos" 1.984. B.O.E-R. Y.85. Pliego de recepción de yesos, 1985.
