

Influencia del grado de dispersabilidad de la fibra de vidrio E en el comportamiento mecánico y la trabajabilidad de la escayola

Disperseability degree influence of glass fibre E in the mechanical behaviour and workability of plaster

M. del RÍO MERINO (*), P. COMINO (**)

(*) Dpto. de Construcciones Arquitectónicas y su Control. E. U. Arquitectónica Técnica. UPM

(**) Vetrotex

Fecha de recepción: 5-VII-00

Fecha de aceptación: 16-X-00

ESPAÑA

RESUMEN

Aunque existen muchos trabajos de investigación sobre el refuerzo del yeso con fibra de vidrio E en España, no hay publicaciones que asesoren a los usuarios (aplicadores de yeso proyectado, fabricantes de prefabricados como bloques o falsos techos, etc.) de los tipos de fibra de vidrio E más adecuados, atendiendo a su grado de dispersabilidad en la matriz, las longitudes, el porcentaje, e incluso el tipo de refuerzo, etc., a efectos de conseguir un aumento del comportamiento mecánico del yeso/escayola y unas ciertas condiciones de trabajabilidad de la pasta.

La empresa Vetrotex, a través de sus técnicos y en colaboración con el Departamento de Construcciones Arquitectónicas y su control (E. U. A. T. M.), decide acometer un estudio en profundidad de la escayola reforzada con fibra de vidrio E.

En este primer artículo se presentan las conclusiones sobre la influencia del grado de dispersabilidad de las fibras de vidrio en el comportamiento mecánico del compuesto y en su trabajabilidad.

El grado de dispersabilidad de las fibras en la matriz está estrechamente ligado al tipo de ensimaje utilizado en la fabricación de las fibras de refuerzo.

SUMMARY

Although there are many research studies about plaster strengthened with glass fibre E in Spain, there are no publications which advise the users (plasterers, manufacturers of prefabricated blocks or suspended ceilings, etc) about the most appropriated types of fibre E in respect to its disperseability degree in the matrix, its lengths, the percentage, or even the type of strengthening, etc. The study of the use of this strengtheners is to achieve an improvement in the mechanical behaviour of plaster as well as better conditions in the paste workability.

The company Vetrotex, with the technical personnel and together with the Department of Architectural Constructions and their control (E. U. A. T. M.) have started a serious research on plaster strengthened with E fibre.

Conclusions shown in this first article are about the influence of the disperseability degree of glass fibres in the mechanical behaviour of the compound as well as its workability.

The degree of dispersibility of the fibres in the matrix is closely related to the type of covering used in the production of the strengthening fibres.

INTRODUCCIÓN

La fibra de vidrio E en forma de hilo cortado se considera el refuerzo más idóneo para la escayola, por su inmejorable relación costo/mejora de la resistencia mecánica.

En la actualidad la fibra de vidrio E se utiliza, en general, como adición (mínima) en elementos prefabricados de yeso/escayola para evitar la desfragmentación de los mismos ante impactos, fuego, etc., gracias al “efecto cosido”, que les proporciona.

De los estudios consultados (1-6) sobre el comportamiento del compuesto yeso/escayola-fibra de vidrio E, se concluye que, en general, al incorporar como refuerzo a una matriz de yeso/escayola fibras cortas de vidrio E, se produce un aumento de la tenacidad del material compuesto, un aumento del módulo de Young, un aumento de la resistencia a flexión, un aumento de la energía de rotura al impacto y un mejor comportamiento ante el fuego. Estas mejoras dependen del porcentaje de fibra añadido, de la longitud de la fibra, de su orientación y, como se pretende demostrar, del grado de dispersabilidad de la misma (ensimaje).

Por otra parte, existen otros factores que derivan de los mecanismos de unión fibra-matriz y que influyen en el comportamiento final del compuesto: tipo de escayola, cantidad de agua de amasado, compactación de la pasta, condiciones de fraguado, etc. Estos factores, se mantendrán constantes a lo largo de todo el estudio.

Partimos del concepto esencial de que una fibra de vidrio estándar es aquélla que está constituida por un haz de filamentos intimamente ligados unos a otros por el efecto de varios de los componentes de un ensimaje. Existen ciertos ensimajes que unen fuertemente los filamentos de vidrio entre sí, de manera que éstos permanecen en forma de haz unido tanto antes como durante y tras un amasado. A este tipo de fibras le llamaremos fibras de alta integridad o simplemente integras.

En el extremo opuesto tendremos las fibras cuyos filamentos están unidos por un tipo de ensimaje especial que al contacto con el agua o con la humedad permite y favorece la desunión de los filamentos de manera que en el compuesto se generará una red de refuerzo de tipo filamental, esto es, millones y millones de filamentos reforzando la matriz. De esta manera se consigue una mayor superficie de contacto fibra-matriz. Consideraremos en este tipo de fibras un 100% de dispersión, cuando todos los filamentos se desunan durante el amasado en húmedo, otorgando un 100% de refuerzo filamental a la matriz.

INTRODUCTION

Glass fibre E in the shape of cut tread is considered to be the best strengthener for plaster due to its excellent relationship between cost and mechanical resistance.

Presently, glass fibre E is used as an additive (minimum) in plaster prefabricated elements to prevent the fragmentation in case of fire, impacts etc., thanks to the linking effect it provides.

From the research which studies (1-6) the behaviour of the glass fibre E-plaster compound, one can conclude that, in general, when incorporating short glass fibres E to a plaster matrix as a strengthening, the material toughness increases, as well as an increase in the Young module, an increase in flexion resistance, an increase in the break power to impact and an improvement in its behaviour towards fire are produced. These improvement depend not only on the percentage of added fibre but also on the length and orientation of the fibre. Moreover, it will depend as well on the degree of disperseability (covering) of that fibre as we tend to prove.

There are other factors derived from the mechanism of the fibre-matrix union, which influence on the final behaviour of the compound such as the type of plaster, the water quantity in the mixing, the paste compacting, the setting conditions, etc. These factors, will remain constant throughout the whole research study.

We start from considering the basic concept of glass fibre as one, which is formed by a bundle of filaments closely joined to each other due to the effect of the different components of the covering. There are certain which join the glass filaments strongly together, in such a way that they stay in a beam not only during but also after the mixing. These types of fibres are to be called high integrity fibres.

At the opposite end there are the fibres whose filaments are joined by a type of special covering which when in contact with water or moisture allows and helps the separation of filaments. In such a way the compound generates a filament-strengthening network, that is, millions and millions of filaments strengthening the matrix, obtaining a greater fibre-matrix contact surface. We consider a 100% dispersion in these fibres when all the filaments separate during the water mixing, supplying a 100% filament strengthening to the matrix.

MATERIALES UTILIZADOS

MATRIZ: ESCAYOLA, se realiza un estudio previo sobre la escayola, como matriz principal para que nos sirva de referencia en el análisis de los distintos materiales compuestos que se estudian.

La escayola que se utiliza a lo largo de todo el trabajo es E-35. Escayola especial, constituida fundamentalmente por sulfato de calcio semihidratado, con la posible incorporación de aditivos reguladores del fraguado, con mayor pureza que la escayola E-30 y con una resistencia mínima a flexotacción de 3,5 MPa. Se utiliza en trabajos de decoración, en la ejecución de elementos prefabricados para techos y en la puesta en obra de éstos (7-9).

REFUERZO: FIBRA DE VIDRIO E, en formato de hilos cortados a partir del corte de "roving" ensamblado, de diámetro de filamento aproximado de 12 a 16 micras y ensimajes de tipo resinas epoxídicas y de poliéster (aproximadamente 1% en peso). Las longitudes estudiadas han sido: 12, 25, 32 y 50 mm.

Los distintos tipos de fibras E utilizadas se diferencian por su grado de dispersabilidad en la matriz, de tal manera que las fibras analizadas han sido:

Fibras de alta integridad (nula dispersión): fibras con un 0% de dispersión de los filamentos en la matriz. El refuerzo será 100% en forma de hilos cortados con los haces de filamentos fuertemente ligados. El formato del "roving" es de 2.400 tex con hilos de base 80 tex y 14 micras de diámetro de filamento.

Fibras íntegras (baja dispersión): fibras caracterizadas por una dispersión en la matriz de un 10%, con 2.400 tex en forma de "roving" ensamblado y 57 tex en forma de hilo cortado, con 12 micras de diámetro de filamento.

Fibras semidispersables: fibras con dispersabilidad media. Para el estudio se han utilizado fibras con grado de dispersabilidad del 40% y el 60%. En ambos casos los hilos cortados proceden de "roving" ensamblado de 2.400 tex, con diámetros de filamentos entre 12 y 14 micras y con hilos de base comprendidos entre 30 y 60 tex (Figuras 1 y 2).

Ninguna de las fibras analizadas se presentan con tratamiento antiestático, fundamentalmente porque en la fabricación de productos de yeso/escayola se realiza el corte en ambiente húmedo y para evitar la formación de espuma que este tratamiento puede producir en el proceso de amasado fibra-matriz. Las fibras utilizadas son de la marca Vetrotex y sus referencias

MATERIALS USED

MATRIX: PLASTER, a previous study of plaster as main matrix is done in order to serve as a reference in the analysis of the different compound materials analysed.

The plaster used through the research study is E-35, a special plaster formed mainly by semihydrated calcium sulphate with the possible addition of setting regulators additive, with greater purity than E-30 and a minimum resistance to flexotraction of 3,5 MPa. It is used in ornaments and in the manufacture of prefabricated elements for ceilings as well as in the laying of those elements on site (7-9).

STRENGTHENING: GLASS FIBRE E, in the shape of "roving" cut threads, of 12 to 16 microns of filament diameter and mixture of EPOXY resins and polyester (approximately 1% in weight) is used as strengthener. The lengths of fibres analysed are 12, 25, 32 and 50 mm.

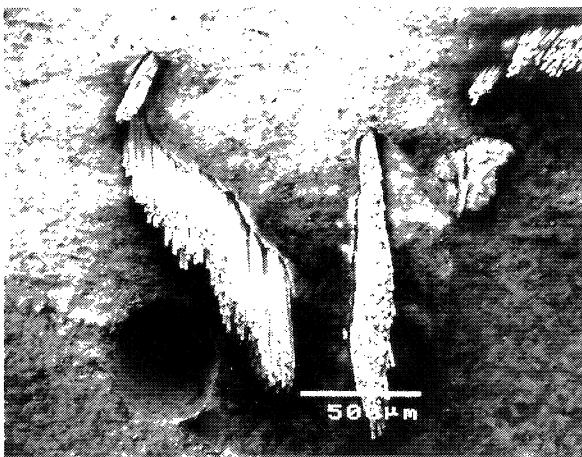
The different E fibres used differ in their degree of dispersability in the matrix, therefore, the fibres analyzed are:

High integrity fibres (no dispersion): fibres with 0% filament dispersion in the matrix. The strengthening will be 100% in the shape of cut threads with the strongly joint filament bundles. The "roving" format is of 2.400 tex with threads of base 80 tex and 14 microns in diameter of the filament.

Integral fibres (low dispersion): fibres characterised by a 10% dispersion in the matrix with 2.400 tex in the shape of assembled "roving" and 57 tex in cut thread shape with a 12 micron diameter of the filament.

Semidispersable fibres: Fibres with an average disperseability. For this study, fibres with a 40% to 60% dispersability have been used. In both cases, the cut threads belong to an assembled "roving" of 2.400 tex, with filament diameters between 12 and 14 microns and with base threads in between 30 to 60 threads (Figures 1 and 2).

None of the analysed fibres are presented with an antistatic treatment mainly because in the manufacturing of plaster products the cutting is done in humid environment. This is done so as to prevent the foam formation that this treatment can produce in the process of the fibre-matrix mixing. The fibres used are of Vetrotex making and their commercial



Figuras 1 y 2.- Fibra de vidrio semidispersable al 60%, en una matriz de escayola.

Figures 1 and 2.- 60% semidispersable glass fibre in plaster matrix.

comerciales: P243 (semidispersable al 60%); P292 (semidispersable al 40%); P207 (íntegra al 10%); P200 (alta integridad).

PLAN EXPERIMENTAL

Se realizan series de probetas prismáticas de dimensiones 4x4x16 cm, según el Pliego RY-85, cada serie consta de tres probetas. Sobre las series, se realizan ensayos a los 28 días, según lo especificado en el Pliego general de condiciones para la recepción de yesos y escayolas en las obras de construcción.

Se realizan dos tipos de ensayos: ensayos mecánicos, para determinar la resistencia a flexión y compresión de las probetas y ensayos para determinar la dureza superficial de los compuestos, Shore C.

El plan experimental, se divide en dos partes:

1º. Se realizan dos series de referencia, de escayola sin refuerzo, 8Ei y 8Ef (series 1 y 2), una de las series se confecciona al principio del estudio y la otra al final, ámbas series se realizan con una relación A/E = 0,8. El valor medio de ámbas series, se utilizará como valor comparativo con las series de escayola reforzada.

2º. Se realizan series con escayola, en las mismas condiciones anteriores pero reforzadas con fibras de vidrio E (dispersables al 40%, dispersables al 60%, dispersables al 10%, alta integridad 0%), en diferentes porcentajes de adición (0,25%, 0,5%, 0,75%, 1% y 2%) y diferentes longitudes (12, 25, 32, 40 y 50 mm). Para determinar cómo estas variables (tipo, longitud y porcentaje de fibra), afectan al comportamiento mecánico de la escayola.

references are: P243 (60% semidispersable); P292 (40% semidispersable); P207 (10% integral); P200 (high integrity).

EXPERIMENTAL PROCEDURE

Series of prismatic test pieces of 4x4x16cm are produced, following RY-85, each series being formed by three test pieces. Tests are performed on the series after 28 days according to the specifications established in the general condition standard for reception of plaster and gypsum in work under construction.

Two types of tests are performed: mechanical tests, in order to determine the flexion resistance and compressive strength of the test pieces and tests to determine the superficial hardness of the compounds, Shore C.

The research programme is performed in two parts:

1º Two reference series are made of plaster without strengthening, 8Ei and 8Ef (series 1 and 2), one of the series is done at the beginning of the study and the other at the end, both of them are produced with a relation A/E = 0.8. The average value of both series will be used as comparative value with the series of strengthened plaster.

2º Series of plaster are produced in the same conditions as the previous ones but strengthened with glass fibre E (dispersable at 40%, dispersable at 60%, dispersable at 10%, high integrity 0%), in different addition percentages (0.25%, 0.5%, 0.75%, 1% and 2%) and different lengths (12, 25, 32, 40, and 50 mm.). This is done to determine how these variables (type, length and fibre percentage) affect the mechanical behaviour of plaster.

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

Escayola: en primer lugar se presentan los resultados medios obtenidos en las series de probetas de escayola sin reforzar (Series 8Ei y 8Ef) (Tabla 1).

TEST RESULTS

Plaster: firstly, the average results obtained in the non-strengthened test pieces are shown (Series 8Ei and 8Ef) (Table 1).

TABLA 1 (*TABLE 1*)

Resultados de probetas de escayola sin reforzar
(Results from the plaster test pieces without strengthening)

Denominación (Name)	Peso (Weight)	R. Flexión (Flexion R)	R. Compr. (Compr. R)	Shore C
Media 8Ei+8Ef (Average 8Ei+8Ef)	247,50	30,49	30,88	64,25

Conclusiones sobre la escayola reforzada con fibra de vidrio E, semidispersable al 60%

Trabajabilidad. La dispersión que se produce en esta fibra es mayor que la conseguida con la dispersable al 40%.

Con los hilos cortados a una longitud de 12 mm, las fibras son visibles en la superficie, quedando los hilos algo desfibrados, pero se consigue 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%.

Resistencia a flexión: se consigue, con adiciones mínimas (a partir del 0,25%), 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 (Figura 3).

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

Resistencia a compresión: la resistencia a compresión disminuye, en general, frente a la matriz sin reforzar, debido a un incremento en la porosidad del material. Este aumento de la porosidad, se señala en aquellas probetas donde no se ha conseguido una dispersión homogénea de las fibras y éstas aparecen formando acumulaciones (visibles en la superficie de fractura) (Figura 4).

Conclusions on plaster strengthened with glass fibre E, semidispersable at 60%:

Workability: the dispersibility produced in this fibre is greater than the one achieved with the fibre dispersable at 40%.

Fibres can be seen at the surface with threads cut at a length of 12 mm, the threads appear a little shredded, although a homogeneous distribution of the fibre is achieved.

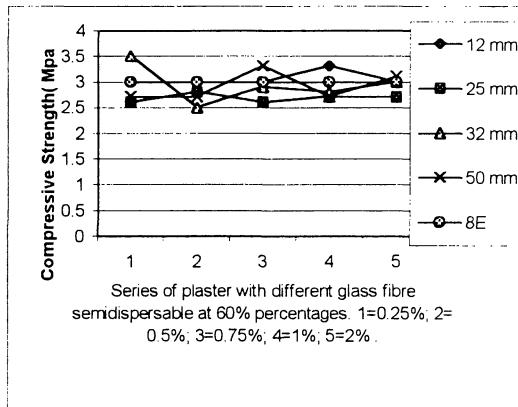
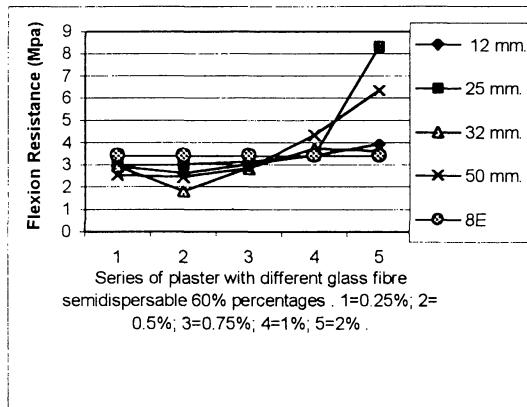
With threads of length 25 mm, with little addition of fibre, a good workability is obtained as well as a correct distribution, nevertheless, with percentages of fibre greater than 1% the mixing loses fluidity, and lack of homogeneity in the distribution of the fibre in the matrix is observed.

From 32 mm of length the fibres are practically invisible on the surface but a homogeneous distribution is not achieved, being greatly more difficult in percentages of addition of 2%.

Flexion resistance: The material continues to deform without showing a fragile breakage after the maximum fracture load with minimum additions (from 0.25%) as in the case of non-additivated plaster (Figure 3).

-The glass fibre and plaster compounds with a percentage of 2% and fibres of length 25 and 50mm. stand out.

Compressive strength: compressive strength diminishes, in general, in a non-strengthened matrix, due to an increase of the material porosity. This increase in the porosity is shown in the test pieces in which a homogeneous dispersion of the fibres has not been achieved, and they appear forming accumulations (visible on the fracture surface) (Figure 4).



Figuras 3 y 4.- Resistencia media a flexión y compresión de probetas de escayola reforzadas con fibra de vidrio E semidispersable al 60%, de diferentes longitudes y en distintos porcentajes (0,25, 0,5, 0,75, 1 y 2%).

Figures 3 and 4.- Flexion resistance and compressive strength of the series of plaster with different glass fibre E semidispersable at 60% percentages (0.25, 0.5, 0.75, 1 and 2%).

Los valores obtenidos de resistencia a compresión en los compuestos estudiados son muy similares entre ellos y, a su vez, a los valores obtenidos en las probetas de escayola sin reforzar, sin embargo al igual que en la resistencia a compresión, 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 aditivar.

-Se destaca el mejor comportamiento de las probetas realizadas con fibras de 12 y 50 mm con porcentajes de adición a partir del 1%.

Dureza superficial: para las series realizadas con fibras de longitudes a partir de 32 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 son muy similares a la escayola.

Por otra parte, a medida que aumenta el porcentaje de adición de fibras, en general, hay también un aumento de la dureza superficial.

Conclusiones sobre la escayola reforzada con fibra de vidrio E, semidispersable al 40%:

Trabajabilidad: la dispersión de los hilos es algo menor que con la fibra anterior, consiguiéndose resultados similares.

The values obtained for compressive strength in the analysed compounds are very similar among them, and also similar to the values obtained in the non-strengthened plaster test pieces. However, thanks to the fibres strengthening, the material, as in the case of the compressive strength, does not show an easy fracture, but the fragments in which the test pieces are divided are kept joined, after the fracture load, allowing the material to deform, once this has been overcome.

Compressive strength does not diminish with short length fibres, on the contrary, in all the addition percentages, extremely similar values to the ones of the non-additivated plaster are obtained.

-The improvement in the behaviour of test pieces made with 12 and 50 mm fibres and addition percentages starting from 1% stands out.

Superficial hardness: for the series produced with length over 32 mm, there is an increase in the values of superficial hardness compared to those of plaster without fibres, while for the other lengths of fibres, the values are very similar to those of plaster.

On the other hand, as the percentage of fibres increases, in general, there is also an increase in superficial hardness.

Conclusions on plaster strengthened with glass fibre E, semidispersable at 40%

Workability: The dispersion of threads is a little smaller than in the case of the previous plaster, getting similar result.

Con los hilos cortados a una longitud de 12 mm. Se consigue un reparto homogéneo de la fibra.

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

Con hilos de 32 mm de longitud, la fibra, prácticamente, no se ve en la superficie, pero no se consigue un reparto homogéneo de la fibra, dificultándose enormemente en porcentajes de adición del 2%.

Con los hilos de 50 mm, salvo para porcentajes de adición mínimos (0,25% y 0,5%) la trabajabilidad y el reparto de la fibra son mínimos.

Resistencia a flexión: los resultados obtenidos son menores que con las fibras anteriores.

Para porcentajes de fibra superiores al 0,5% y longitudes 25, 32 y 50 mm, se superan los valores de resistencia a flexión de la escayola (Figura 5).

Para las fibras de 32 y 50 mm de longitud, aunque se alcanza la carga de rotura, no llegan a aparecer fisuras en las probetas hasta por encima de valores del orden de 50 kp.

Resistencia a compresión: se consiguen superar los valores de la escayola sin aditivar, siendo mejores con porcentajes de adición mínimos y longitudes de 12 y 25 mm (Figura 6).

When using threads cut at a length of 12 mm. A homogeneous distribution of the fibre is achieved.

When using threads of 25 mm and a small addition of fibres a good workability and distribution is obtained whereas with fibre percentages greater than 1%, the mix loses fluidity and as a result, lack of homogeneity and distribution of the fibres in the matrix appear.

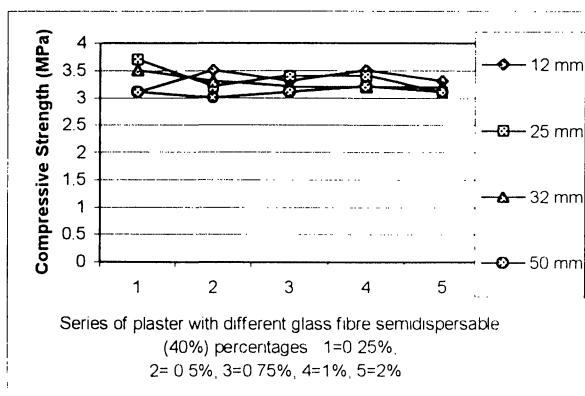
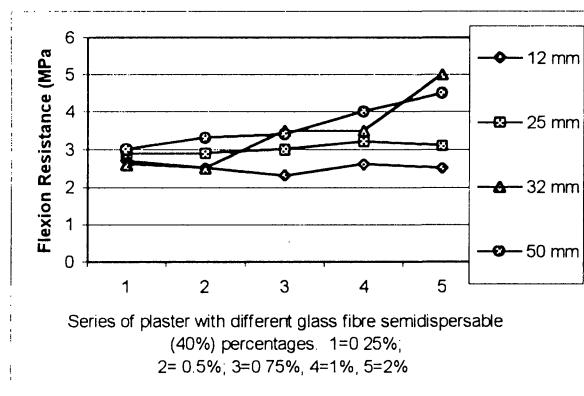
When using threads of fire of length 32 mm one can barely see them on the surface but the homogeneous distribution of the fibre is not achieved, being it extremely difficult in addition percentages of 2%.

Except for minimum addition percentages (0.25% and 0.5%), using threads of 50 mm. the workability and distribution are minimized.

Flexion resistance: the results obtained are smaller than with the previous fibres. For percentages of fibres greater than 0.5% and lengths 25, 32, and 50 mm, the values for flexion resistance of plaster are surpassed (Figure 5).

When using 32 and 59 mm long fibres, even when the fracture load is reached, cracks do not appear in the test pieces until values over 50 kp.

Compressive strength: values of the non-additivated plaster are surpassed, those values being even better with minimum addition percentages and lengths of 12 and 25 mm (Figure 6).



Figuras 5 y 6.- Resistencia media a flexión y compresión de probetas de escayola reforzadas con fibra de vidrio E semidispersable al 40%, de diferentes longitudes y en distintos porcentajes (0,25, 0,5, 0,75, 1 y 2%).

Figures 5 and 6.- Flexion resistance and compressive strength of the series of plaster with different glass fibre E semidispersable at 40% percentages (0.25, 0.5, 0.75, 1 and 2%).

Dureza Shore C: excepto para los compuestos realizados con fibras de 50 mm, los valores de dureza son mayores que los obtenidos con la escayola reforzada con las fibras anteriores.

-Los mejores resultados se han obtenido con la fibra de longitud 25 mm.

Conclusiones sobre la escayola reforzada con fibra de vidrio E íntegra al 10%

Trabajabilidad: al igual que con el vidrio de alta integridad, en la superficie de fractura de las probetas se puede observar la integridad de la fibra.

Con los hilos cortados a una longitud de 12 mm y 25 mm, se consigue una pasta de buena trabajabilidad, pero ,al aumentar el refuerzo, el reparto final es poco homogéneo.

Con hilos de 32 y 50 mm de longitud, salvo para porcentajes de adición (0,25% y 0,5%), la trabajabilidad y el reparto de la fibra son mínimos.

Resistencia a flexión: se obtienen mejores resultados que con la fibra semidispersable al 60%.

Además, como es habitual, mejora la resistencia con mayores porcentajes de adición, así como con mayores longitudes de fibra.

Con porcentajes de adición superiores a 0,75% y longitud de fibra a partir de 25 mm, a pesar de alcanzar la carga de rotura no aparecen fisuras en las probetas hasta por encima de valores superiores a 60 kp (Figura7).

Resistencia a compresión: se mejoran los valores obtenidos con la fibra semidispersable al 60%.

En todos los casos se superan los valores de resistencia de la escayola sola, excepto para las fibras de longitud 50 mm, donde los valores son similares a la escayola de referencia sin reforzar.

De nuevo, a menor longitud de fibra y menor porcentaje de adición, mejores resultados (Figura 8).

-Se destaca el comportamiento a compresión del compuesto realizado con fibras de 12 mm de longitud y 1% de adición, con un 32% de incremento de la resistencia frente a la escayola.

Dureza Shore C: excepto para las series realizadas con fibras de 50 mm de longitud, los resultados obtenidos mejoran a los de la fibra semidispersable al 60%, superándose en todos los casos los valores de dureza de la escayola.

Shore C Hardness: except for the compounds produced with 50 mm. fibres, the hardness values obtained are greater than those obtained with plaster strengthened with the previous fibres.

-The best results have been obtained with fibres of lengths 25 mm.

Conclusions on plaster strengthened with integral glass fibre E at 10%

Workability: the integrity of the fibre can be observed on the test pieces surface, as in the case of glass with high integrity.

Using cut threads of length 12 and 25 mm, a great workability is obtained in the paste, but when increasing the strengthening, the final distribution is not homogeneous.

When using 32 and 50 mm long threads, except for addition percentages of 0.25% and 0.5%, the workability and the fibre distribution are minimum.

Flexion resistance: better results than when using the semidispersable fibre at 60% are obtained.

In conclusion, the resistance improves with greater addition percentages as well as with greater fibre lengths.

With addition percentages greater than 0.75% and fibre length over 25 mm, although reaching the fracture load, there do not appear cracks in the test pieces until values greater than 60 kp are applied (Figure 7).

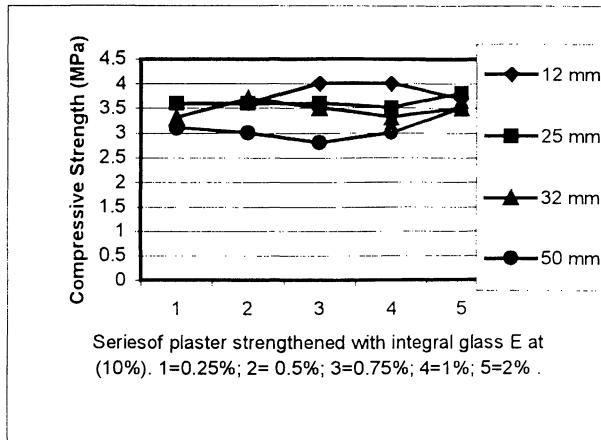
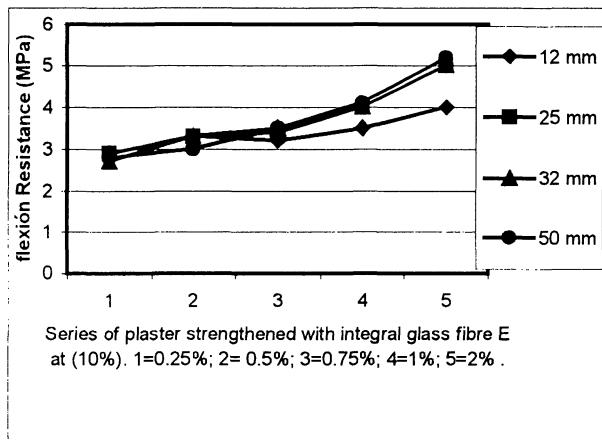
Compressive strength: the values obtained are improved from those obtained with semidispersable fibre at 60%.

In every occasion, the values of compressive strength for plaster alone, are surpassed, except for when using 50 mm long fibres, where the values are similar to those of the reference plaster without strengthening.

Again, the smaller the length of the fibre and the smaller addition percentage, the better the results (Figure 8).

-The behaviour towards compressive strength of the compound produced with 12 mm length and 1% addition stands out with a compressive strength increase of 32% to that of plaster.

Shore C hardness: expect for the series produced with 50 mm long fibres, the result obtained improve from those of the semidispersable fibre at 60%, increasing in all cases the hardness values of plaster.



Figuras 7 y 8.- Resistencia media a flexión y compresión de probetas de escayola reforzadas con fibra de vidrio E integras al 10%, de diferentes longitudes y en distintos porcentajes (0,25, 0,5, 0,75, 1 y 2%).

Figures 7 and 8.- Flexion resistance and compressive strength of the series of plaster with different glass fibre E integral at 10% percentages (0.25, 0.5, 0.75, 1 and 2%).

-Se destacan por su comportamiento, los compuestos reforzados con fibras de longitudes 25 y 32 mm.

Conclusiones sobre la escayola reforzada con fibra de vidrio E de alta integridad (0% de dispersión)

Trabajabilidad: en los hilos que se ven en la superficie de fractura de las probetas se puede observar que conservan su integridad, no se desfibran, ni parcialmente, dando lugar, en general, a un reparto muy irregular pero, en cambio, a una buena trabajabilidad.

Con el hilo cortado a 12 mm se consigue una buena trabajabilidad y un reparto bastante homogéneo de la fibra.

Con los hilos cortados a 25 mm a partir del 2% de adición empiezan los problemas de trabajabilidad.

Con hilos de 32 y 50 mm, aunque la trabajabilidad de la mezcla se mantiene, se produce un enrollamiento de los hilos dando lugar a apelotonamiento de las fibras. Los hilos, no afloran a la superficie.

Resistencia a flexión: se supera hasta en un 64% los valores de resistencia a flexión de la escayola de referencia.

También se mejoran los resultados obtenidos con la fibra semidispersable al 60% e íntegra al 10%. Se comprueba, de nuevo, que a mayor longitud y porcentaje de fibra, mejores resultados se obtienen (Figura 9).

-The behaviour of strengthened compounds with 25 and 32 mm long fibres stand out.

Conclusions of strengthened plaster with high integrity glass fibre E (0% dispersion)

Workability: in the threads that can be seen at the surface of the test pieces fractures, one can see that they maintain its integrity, they are not shredded, not even partially, creating generally an irregular distribution but a good workability instead.

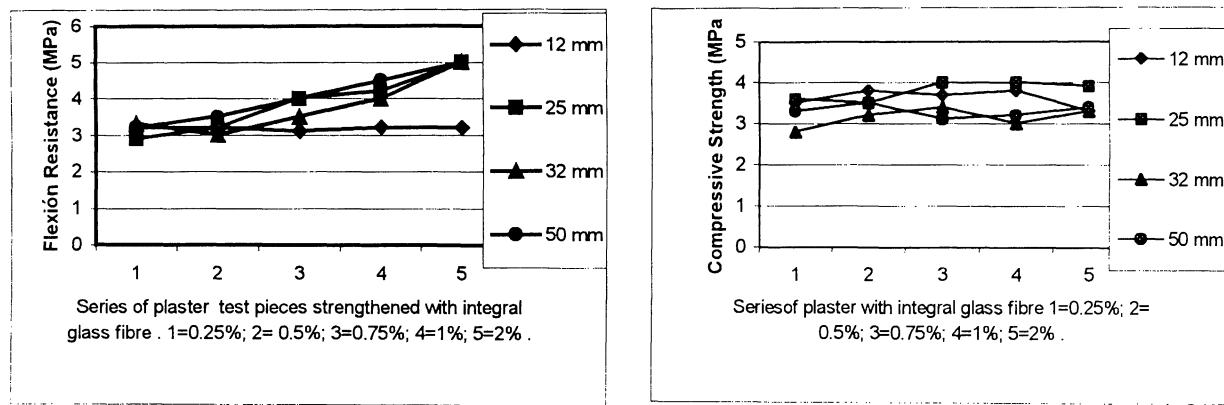
When using threads cut to 12 mm a good workability and a quite homogeneous distribution are obtained.

When using threads cut to 25 mm and starting from, a 2% addition is when the problems with workability arise.

When using threads cut to 32 and 50 mm, although the workability of the paste is maintained, the threads appear to be twisted forming lumps of the fibres. The threads do not show on the surface.

Flexion resistance: there is an increase of up to 64% in the values of flexion resistance towards the reference plaster.

The results obtained with the semidispersable fibre at 60% and integral at 10% are also improved. It is also proven that the greater the length and percentage of the fibre, the better the results (Figure 9).



Figuras 9 y 10.- Resistencia media a flexión y compresión de probetas de escayola reforzadas con fibra de vidrio E de alta integridad, en diferentes longitudes y en distintos porcentajes (0,25, 0,5, 0,75, 1 y 2%).

Figures 9 and 10.- Flexion resistance and compressive strength of the series of plaster with high integrity glass fibre E, in different percentages (0.25, 0.5, 0.75, 1 and 2%).

Para hilos superiores a 12 mm, a partir del 0,75% de adición, no se producen fisuras hasta muy por encima de la carga de rotura.

Resistencia a compresión: se superan los valores obtenidos con las fibras semidispersables al 60%, excepto en las series realizadas con fibras de 50 mm, de longitud (Figura 10).

Los valores más altos, se han obtenido con hilos de longitud 25 mm y adiciones superiores al 0,5%.

Dureza Shore C: mejores resultados con más porcentaje y longitud y, sobre todo, en las series realizadas con fibras de 25 mm de longitud.

En general, se obtienen mejores resultados que con las probetas realizadas con fibras semidispersables al 60%, excepto en las realizadas con fibras de 50 mm de longitud.

CONCLUSIONES SOBRE LA INFLUENCIA DEL TIPO DE FIBRA DE VIDRIO EN EL REFUERZO DE LA ESCAYOLA

Una vez analizados por separado cada una de las fibras propuestas, se puede concluir en lo siguiente sobre los aspectos estudiados.

Trabajabilidad: en general, la trabajabilidad disminuye a medida que aumenta la longitud del hilo y el porcentaje de adición. Además, para la misma relación agua/escayola, a medida que aumenta la longitud de la fibra y el porcentaje de adición, empeoran las condiciones de la mezcla, obteniéndose una mala

-When using threads greater than 12 mm, in a 0.75% addition, cracks do not appear until levels much higher than the fracture load.

Compressive strength: the obtained values of the fibres semidispersable at 60% are surpassed, except in the series made with fibres of length 50 mm (Figure 10).

The high values have been obtained with threads 25 mm long and additions greater than 0.5%.

Shore C hardness: better results than with a greater percentage and length have been obtained, especially so in the series produced with fibres 25 mm long.

In general, better results are reached than using test pieces manufactured with semidispersable fibres at 60%, except in the one made with fibres of 50 mm.

CONCLUSIONS ON THE INFLUENCE OF THE TYPE OF GLASS FIBRE IN PLASTER STRENGTHENING

Once separately analysed each of the proposed fibres, one can conclude from the different aspects that:

Workability: in general, workability diminishes as the length of the thread and the addition percentage increase. Even more, maintaining the same relationship water/plaster, as the length of the fibre and the addition increase, the condition of the mix worsen, obtaining a bad dispersion of the fibres and

dispersión de las fibras y, por tanto, una distribución no homogénea en la probeta. Todo esto da lugar a una cierta dispersión en los resultados de los ensayos.

-En concreto: las fibras semidispersables, tienen comportamientos similares, más agudizado en la de grado 40%. Se desfiran mínimamente en contacto con el agua, por lo que se produce un buen reparto para adiciones pequeñas y, en cambio, una disminución de la fluidez de la pasta para porcentajes de adición superiores al 1%, lo que da lugar a una baja trabajabilidad y un reparto no homogéneo de las fibras en la matriz.

Las fibras más íntegras consiguen un peor reparto de la fibra pero una buena trabajabilidad.

Resistencia a flexión: en general, 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, hasta la longitud crítica. Por otra parte, con mínimos porcentajes de adición se impide la separación de las partes en que quedan divididas las probetas después de alcanzar la carga de rotura.

-En concreto: los mejores valores de resistencia a flexotracción, se han obtenido con las fibras más íntegras.

-Las fibras semidispersables al 60%, han obtenido muy buenos resultados para las fibras de longitud 50 mm y las fibras semidispersables al 40%, han sido las que han tenido peor comportamiento.

Resistencia a compresión: en general, a menor longitud y porcentaje de adición, mejores valores de resistencia a compresión, que, en general, son muy similares a los obtenidos en la escayola sin aditivar. Por otra parte, con mínimos porcentajes de adición se impide la separación de las partes en que quedan divididas las probetas después de alcanzar la carga de rotura.

-En concreto: se obtienen resultados similares con las dos fibras íntegras, superándose los resultados obtenidos en las probetas reforzadas con las fibras semidispersables, siendo la semidispersable al 40% la que peores resultados ha obtenido.

Dueza Shore C: aumenta con el porcentaje de adición y la longitud de fibra, siempre que se consiga una dispersión homogénea de las fibras en la matriz y que las fibras no aparezcan en superficie.

Se han obtenido muy buenos resultados con las fibras íntegras (excepto con longitudes de 50 mm), superando los valores obtenidos con las fibras semidispersables.

therefore a heterogeneous distribution in the test piece.

- In briefly: semidispersable fibres, have a similar behaviour, more sharply seen in the ones of 49% dispersion. The fibres are minimally shredded when in contact with water and therefore a good distribution for small additions is produced. On the contrary, there is a decrease in the paste fluidity for percentages greater than 1%, resulting in a low workability and a heterogeneous distribution of the fibres in the matrix.

The less integral fibres show a worse distribution of the fibre but a good workability.

Flexion resistance: generally speaking, flexion resistance increases when the percentage of fibres added to the matrix increases, as well as with the increase of the fibres lengths up to the critical length. On the other hand, with minimum addition percentages the separation of the parts of the test pieces after reaching the fracture load is prevented.

-In briefly: the best results for flexion resistance have been obtained with more integral fibres.

-Semidispersable fibres at 60% have obtained good results for fibres of 50 mm length, and semidispersable fibres at 40% are the ones which have shown the worst behaviour.

Compressive strength: in general the smaller the length and addition percentage, the better the values for compression strength, which are very similar to the ones obtained in non-additivated plaster. On the other hand, with minimum addition percentages the separation of the parts in which the test pieces are divided after the fracture load has been reached, is prevented.

-In briefly: similar results are obtained with both integral fibres, surpassing the results obtained in the test pieces strengthened with semidispersable fibres, being the semidispersable at 40% the one which has shown the worst results.

Shore C hardness: increases with the addition percentage and the fibre length, in the case when one obtains a homogeneous dispersion of the fibres in the matrix and that the fibres do not appear in the surface.

Very good results have been obtained with integral fibres (except with lengths of 50 mm) increasing the values obtained with semidispersable fibres.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) Alcaide, N.: "Yeso reforzado con fibra de vidrio y fluidificante". Cátedra de materiales de construcción. ETSAM, 1992.
- (2) Baoid, D. Remedios, J.: "Yeso reforzado con tejidos y velos de fibra de vidrio E". Cátedra de materiales de construcción. ETSAM, 1989.
- (3) Catedra de materiales de construcción. ETSAM. UPM.: "V. Jornada sobre aplicaciones arquitectónicas de los materiales compuestos y aditivados", 1999.
- (4) Comino Almenara. P. I.: "Realizaciones en GRC en la construcción". Arquimacom 96. Sevilla, Págs.419-427.
- (5) M. del Río Merino: "Elaboración y aplicaciones constructivas de paneles prefabricados de escayola aligerada y reforzada con fibra de vidrio E y otros aditivos". Tesis doctoral, 1999.
- (6) Vega Sánchez.: "Yeso reforzado con fibra de vidrio en distintos porcentajes". Cátedra de materiales de construcción. ETSAM, 1991.
- (7) AENOR: UNE-102-032. Yesos y escayolas de construcción. Métodos de ensayos", 1984
- (8) B.O.E-R.Y.85. Pliego de recepción de yesos, 1985.
- (9) Arredondo, F.: "Estudio de materiales II. El yeso". Edit. Instituto Eduardo Torroja, 1980.

* * *

MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Monográfico dedicado a

LOS MATERIALES COMPUESTOS EN LA CONSTRUCCIÓN

La revista MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN, editada en el Instituto de Ciencias de la Construcción EDUARDO TORROJA, dedica un número doble (Nº 247/248) a: *Los Materiales Compuestos en la Construcción*.

Los Materiales Compuestos en la Construcción es una temática muy actual ya que incide en el desarrollo y aplicación de Nuevos Materiales ("Composites"), que son el futuro en el campo de la Construcción. Uno de los sectores productivos que más influyen en el PIB es el de la construcción, con lo cual resulta necesario involucrar al sistema de I+D en el desarrollo de nuevos materiales compuestos basados en el cemento. En estos términos se presentaba en la última convocatoria de proyectos de investigación de la CICYT y dentro del Programa Nacional de Materiales, lo referente a las investigaciones en el Área de Materiales Compuestos (B.O.E. 7 de noviembre de 1997). *Los Materiales Compuestos en la Construcción* constituyen un tema estratégico, tanto para los ingenieros de caminos, canales y puertos como para los ingenieros de materiales.

Este número monográfico se compone de dos partes. La parte I se dedica a los materiales compuestos de matriz de hormigón. Son tratados temas claves como la dosificación, la interfase en sistema acero-hormigón y la implantación de nuevas fibras como son las acrílicas. La parte II se concentra en los denominados materiales compuestos de matriz orgánica, analizándose en profundidad las nuevas tecnologías tipo sandwich, textiles o de parrilla.

En este número especial se recogen trabajos de investigación originales e inéditos, en los que también se presentan las amplias posibilidades de aplicación de estos materiales. Los autores de estos trabajos, tanto los nacionales como los internacionales, son especialistas reconocidos en su respectivos campos científicos.

Los artículos que componen este número especial son:

- **Materiales Compuestos en la Construcción: Introducción /Composite Materials in Building: Introduction/**
A. Miravete
- **Dosificación de hormigón reforzado con fibras de acero /Mix design of steel fiber reinforced concrete/**
E. Moreno y M. Fernández Cánovas
- **Estudio de la interfase en los hormigones reforzados con fibras /Interface study of fiber reinforced concrete/**
A. Pacios y M. Fernández Cánovas
- **Hormigones reforzados con fibras acrílicas /Concretes reinforced with acrylic fibres/**
T. Armet
- **Fabricación y diseño de estructuras parrilla /Manufacture and design of composite grids/**
Stephen W. Tsai, Kevin K.S. Liu y Philippe M. Manne
- **Características de los elementos resistentes tipo sandwich construidos en materiales compuestos avanzados a partir de tejidos tridimensionales /Characteristics of sandwich-type structural elements built of advanced composite materials from three dimensional fabrics/**
L. Castejón, M.A. Jiménez y A. Miravete
- **Materiales compuestos realizados a partir de nuevas tecnologías textiles /Composite materials from new textile technologies/**
M.A. Jiménez, L. Castejón y A. Miravete
- **Los composites y la construcción: su ayer, hoy y mañana /Composites and construction: yesterday, today and tomorrow/**
J. Manso
- **Conclusiones finales /Final conclusions/**
A. Miravete