

Análisis de los refuerzos mixtos de fibras de vidrio E y fibras AR en la escayola, como alternativa a los refuerzos monofibras (homogéneos)

Analysis of the strengthenings of mixed glass fibers E and fibers AR in plaster, as an alternative to monofiber (homogeneous) strengthenings

M. del RÍO MERINO*, P. COMINO**

(*) Dpto. de Construcciones Arquitectónicas y su Control. E. U. Arquitectura Técnica . U. P. M. Madrid

(**) Vetrotex. Servicio Técnico-Comercial y Centro Técnico de Aplicaciones. Madrid

Fecha de recepción: 28-IV-02

Fecha de aceptación: 10-VI-02

ESPAÑA

RESUMEN

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

En un primer artículo se presentaron las conclusiones sobre la influencia del grado de dispersabilidad de las fibras de vidrio en el comportamiento mecánico del compuesto y en su trabajabilidad (1).

En este segundo artículo se presentan los resultados y conclusiones del estudio de los refuerzos mixtos de fibras de vidrio E en combinación al 50% con fibras de vidrio AR, como alternativa a los refuerzos actuales homogéneos.

PALABRAS CLAVE: yeso, escayola, fibra de vidrio E, fibra de vidrio AR, yeso reforzado, refuerzos mixtos de fibras

SUMMARY

The company Vetrotex in collaboration with the Department of Architectural Constructions and their control (E.U.A.T) of the Polytechnic University of Madrid, have deeply researched on plaster strengthened with glass fiber E.

The conclusions of the influence of the dispersibility of glass fiber in the compound mechanical behavior and in its workability have been published in an earlier article (1).

Here now are the results and conclusions of a study on mixed strengthenings of glass fibers E and AR combined at a 50%, as an alternative to the homogenous strengthening.

1. 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. De los estudios consultados (2) sobre el comportamiento del compuesto yeso/escayola-fibras de vidrio E, se concluye que, en general, al incorporar como refuerzo a una matriz de yeso/escayola fibras

KEYWORDS: gypsum, plaster; glass fiber E, glass fiber AR, gypsum strengthened, fibers mixed strengthenings

1. INTRODUCTION

Glass fiber E, in the shape of cut thread is considered the most suitable strengthening for plaster, due of its excellent relation cost/mechanical resistance improvement. From the studies available on the behavior of plaster/glass fiber E compound (2), it can be concluded that when glass fiber E is introduced as a strengthening to a matrix of gypsum/plaster, it produces an increase of the compound toughness.

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 del grado de dispersabilidad (*) de la misma (ensimaje) (1).

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.

2. MATERIALES UTILIZADOS

2.1. MATRIZ

ESCAVOLA, se realiza un estudio previo sobre la escayola, 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 Escayola E-35 (3).

2.2. 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: 25 y 50 mm. Los distintos tipos de fibras E utilizadas se diferencian por su grado de dispersabilidad en la matriz:

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

(*) 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 les 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 va a generar una red de refuerzo de tipo filamental, esto es, millones y millones de filamentos reforzando la matriz. De esta manera, se va a conseguir una mayor superficie de contacto fibra-matriz. Entenderemos 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.

In addition, an increase in the Young module, an increase in flexion resistance, an increase in the impact fracture energy as well as a better behavior against fire are revealed. These improvements depend on the percentage of added fiber, of the fiber length, its orientation and of the dispersibility degree () of the fiber (1).*

On the other hand, there are other factors derived from the joint mechanisms of the fiber and the matrix that influence on the compound final behavior: type of plaster, water quantity in the batch, batch compaction, setting conditions, etc. These factors will be maintained constant through out the study.

2. MATERIALS USED

2.1. MATRIX

PLASTER, a previous study on plaster has been carried out to use as reference for the analysis of the different material compounds being researched. The plaster being used throughout the study is Plaster E-35 (3).

2.2. STRENGTHENING

GLASS FIBER E, in short cut threads, from assembled “roving” cut, of an approximate filament diameter of 12 to 16 microns and OILING of the epoxy resin type and polyester (approximately 1% in weight) is used. The lengths studied have been 25 and 50 mm. The different types of E fibers used can be distinguished by the matrix dispersibility degree.

Fibers of high integrity (null dispersion): Those are the fibers with a 0% filament dispersion in the matrix. The strengthening is of 100% in cut thread shape with

() We started from the basic concept that a standard glass fiber is, that which is formed by a bundle of filaments closely linked to each other due to several oiling components. There are several oilings which strongly join together the glass fibers among them, in such a way that these stay in a bundle shape before, throughout and after the mixing. This type of fibers is called fiber of great integrity, or whole fibers.*

At the other end, there are fibers with filaments joined by a special type of oilings which in contact with water or moisture, allows and favors the separation of the filaments so that, a filament strengthening web is formed. In other words, millions and millions of filaments will strengthen the matrix. By doing this a greater surface of contact matrix-fiber will be reached. A 100% dispersion in this type of fibers is understood when all the filaments separate when mixing in humid giving a 100% filament strengthening to the matrix.

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 2400 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.

Ninguna de las fibras analizadas se presentan con tratamiento antiestático fundamentalmente por que 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 comerciales: P243 (semidispersable al 60%); P292 (semidispersable al 40%); P207 (íntegra al 10%); P200 (alta integridad).

FIBRA DE VIDRIO AR, también en formato de hilos cortados. La fibra se denomina comercialmente Cem-FIL 70/30. Se compone de hilos diseñados para separarse en filamentos en contacto con la humedad. Estos hilos, denominados dispersables, fueron, en principio, diseñados para sustituir las fibras de amianto. Tiene 20 micras de diámetro y longitudes de 12 y 24 mm.

Este tipo de fibras no se suele incorporar a una matriz de escayola, pues, en medio ácido, no es necesaria la utilización de fibras resistentes a los álcalis.

3. 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.

filament bundles tightly joined together. The “roving” format is of 2.400 tex with threads of 80 tex base and 14 microns filament diameter.

Whole fibers (low dispersion): fibers characterized by a 10% dispersion in the matrix with 2.400 tex in assembled “roving” shape and 57 tex in cut thread shape with 12 microns filament diameter.

Semidispersible fibers: fibers with an average dispersibility. Fibers with 40% and 60% dispersibility have been used for this study. In both proportions, the cut threads come from “roving” ensamblado of 2.400 tex, with a filament diameter in between 12 and 14 microns and base threads of 30 to 60 tex.

None of the analyzed fibers includes antistatic treatment because; in the manufacture of plaster/gypsum products the cutting is done in humid environment, to avoid the formation of foam that this treatment can produce in the matrix-fiber mixings.

The fibers use are supplied by Vetrotex with the following commercial reference: P243 (semidispersible at 60%), P292 (semidispersible at 40%), P 207 (whole at 10%) and P200 (high integrity).

GLASS FIBER AR, also used in cut threads. The fiber is commercially known as Cem-FIL 70/30. Threads designed to be separated in filaments when in contact with moisture form it. These threads, called dispersible, were initially designed to substitute asbestos fibers. Its diameter is 20 microns and lengths of 12 and 24 mm.

This type of fiber cannot be included in a plaster matrix, since in an acid environment the use of alkalis resistant fibers is not needed.

3. TESTING PROCEDURE

Prismatic test pieces are manufactured with dimensions 4x4x16 cm, in accordance with standard RY-85. Each sample series is composed by three test pieces. Tests are performed on the series to be analyzed after 28 days as specified in the general specifications for gypsum and plaster in construction works.

Two types of tests are performed: mechanical tests, in order to determine the flexion and compressive strength of the samples, and tests to determine the Shore C, compound superficial hardness.

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. Ambas series se realizan con una relación A/E= 0,8. El valor medio obtenido en los ensayos realizados sobre ambas series, se utilizará como valor comparativo con las series de escayola reforzada.

2º. Se realizan series de probetas prismáticas de dimensiones 4x4x16 cm, con escayola E-35 y una relación A/E constante de 0,8, reforzadas con fibras de vidrio AR 70/30 al 50% y distintos tipos de fibra de vidrio E al 50% (dispersables al 40%, dispersables al 60%, dispersables al 10%, alta integridad), en diferentes porcentajes de adición sobre el peso de la escayola (0,25%, 0,5%, 0,75%, 1% y 2%) y diferentes longitudes (25, 40 y 50 mm). Estas probetas se someten a ensayos de resistencia mecánica (flexión y compresión) y de dureza superficial para determinar si, en comparación con los resultados obtenidos en las probetas reforzadas con un tipo de fibra únicamente (1), se obtienen mejoras (Tablas 1, 2 y 3).

The testing procedure is divided in two parts:

1º. Two reference series are made with plaster without strengthening, 8Ei and 8Ef(series 1 and 2). One of the series is manufactured at the beginning of the study and the other one at the end. Both series are made with an A/E=0.8. The mean value obtained in the tests performed on both series will be used as a reference value for the strengthened plaster series.

2º. Series of prismatic test pieces of dimensions 4x4x16 cm are manufactured with E-35 plaster and a constant A/E relation of 0.8. These series are strengthened with glass fiber AR 70/30 at 50% (40% dispersable, 60% dispersable, 10% dispersable and high integrity), with different addition percentages in relation to plaster weight (0.25%, 0.5%, 0.75%, 1% and 2%) and different lengths (25, 40 and 50 mm). These test pieces are tested for mechanical strengths (flexion and compression) and superficial hardness to determine if, compared with the results obtained with samples strengthened with one fiber type only (1), they show improvements (Tables 1, 2 and 3).

TABLA 1/TABLE 1

Resultados medios de probetas de escayola sin reforzar/(Average results of non-strengthened plaster samples)

Escayola/Plaster 0.8	R. Flexión/Flexion R. (MPa)	R. Compresión/Compres. S. (MPa)	Shore C
Media/Average 8Ei+8Ef	3.049	3.088	64.25

TABLA 2/TABLE 2

Resultados medios de probetas de escayola reforzadas con un único tipo de fibra de vidrio y longitudes 25 y 50 mm
(Average results of plaster samples strengthened with only one type of glass fiber and lengths 25 and 50 mm)

Fibra Fiber	% adición % addition	R. Flexión/Flex. R. (MPa)		R. Comp./Compr. S. (MPa)		Shore C	
		25 mm	50 mm	25 mm	50 mm	25 mm	50 mm
E-60%	0.25	3	2.5	2.6	3.2	65	67
	0.5	3	2.4	2.8	3	64	69
	0.75	3.1	2.8	2.6	3.1	65	69
	1	3.4	4.3	2.7	3.2	64.5	69
	2	8	6.3	2.3	3.1	64	68
E-40%	0.25	2.9	3	3.8	3.2	70	67
	0.5	2.9	3.3	3.2	3	69.5	69
	0.75	3.1	3.4	3.4	3.1	70	69
	1	3.2	4	3.4	3.2	70	69
	2	3.2	4.5	3.2	3.1	67	68
E-10%	0.25	2.9	2.8	3.7	3.1	67	71
	0.5	3.3	3	3.6	3	68	67
	0.75	3.4	3.5	3.6	2.8	69	66
	1	4	4.1	3.5	3	69	67
	2	5	5.2	3.8	3.5	70	70
E-0%	0.25	2.9	3.2	3.7	3.3	69.5	68
	0.5	3.2	3.5	3.6	3.5	70	68
	0.75	4	4	4	3.1	70.5	68
	1	4.2	4.5	4	3.2	71	69
	2	5	5	3.9	3.5	71	70
AR	0.25	3	3.2	2.6	3.1	62	66
	0.5	3.2	3.6	2.9	3.1	66	68.6
	0.75	3.5	3.6	2.9	3.3	66	67.3
	1	3.6	3.7	3	3.5	67	68.3
	2	3.3	**	3	**	69	**

TABLA 3/TABLE 3

Resultados medios de probetas de escayola reforzadas con fibras de vidrio E al 50% y fibras AR al 50% y longitudes 25 y 50 mm
(Average results of plaster samples strengthened with glass fibers E at 50% and AR fibers at 50% and lengths 25 and 50 mm)

Fibra Fiber	% adición % addition	R. Flexión/Flex. R. (MPa)		R. Comp./Compr. R. (MPa)		Shore C	
		25 mm	50 mm	25 mm	50 mm	25 mm	50 mm
AR+E-60%	0.25	3.2	3.1	3.1	3	69	68
	0.5	3.5	3.2	3.3	3.5	70	71
	0.75	3.5	3.4	2.9	3.3	70	71
	1	3.8	3.5	3.1	3.4	71	71.5
	2	4.2	**	3.2	**	70	**
AR+E-40%	0.25	2.8	2.6	2.8	2.7	65.6	64.3
	0.5	2.7	2.6	2.5	2.5	64.3	65.6
	0.75	2.7	2.6	2.5	2.7	65	66.3
	1	2.9	3.3	2.8	3	65	71
	2	**	**	**	**	**	**
AR+E-10%	0.25	2.6	2.4	2.7	2.9	65	66
	0.5	2.9	3	2.6	2.8	66	68.5
	0.75	3.3	3.2	2.6	2.9	65	68.5
	1	3.3	3.1	3.2	3.2	73	70.5
	2	4.7	4.5	2.9	3	71	69.5
AR+E-0%	0.25	3.2	2.7	3.1	3	67	68
	0.5	2.8	3	3.3	3	66.5	71
	0.75	3.1	3.4	3	3	66.5	68
	1	3.8	3.6	3.2	3.4	69	73
	2	4.1	4.5	3.5	3.3	69	72

** No ha sido posible realizar estas probetas por falta de trabajabilidad en la mezcla

** These tests pieces were impossible to manufacture because they lacked workability

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En general, y como es habitual en la escayola reforzada con fibras, al reforzar la escayola con fibras de vidrio E y AR al 50% se produce un aumento en los valores de los ensayos de resistencia mecánica y de dureza superficial frente a los valores de los ensayos realizados sobre la escayola sin fibras.

Este aumento de la resistencia es mayor en la resistencia a flexión y en la dureza superficial que en la resistencia a compresión del compuesto, dependiendo directamente del porcentaje de adición de las fibras y de su longitud. A mayor porcentaje de adición y a mayor longitud de fibra se obtienen mejores resultados.

A continuación se presentan las conclusiones en particular de cada compuesto de escayola reforzada con fibras de vidrio E y AR, que se ha analizado, comparando los resultados obtenidos en los ensayos realizados, con los resultados de los mismos ensayos sobre compuestos reforzados con fibras de vidrio E únicamente, realizados con la misma longitud de fibra y el mismo porcentaje de adición de la misma añadido y con los resultados obtenidos sobre probetas de escayola sin reforzar.

4. DISCUSSIONS AND CONCLUSIONS

As it is common in fiber strengthened plaster, compared to the values obtained in tests with non-strengthened plaster, an increase in mechanical strengths values and superficial hardness is produced in plaster strengthened with glass fiber E and AR at a 50%.

This increase in strength is greater in flexion strength and superficial hardness than in compound compression, depending on the addition percentage of fibers and their lengths. The greater the addition percentage and the greater the fiber length, the better results obtained.

Conclusions are shown, in particular, for every plaster compound strengthened with E and AR glass fibers. They have been studied comparing the results obtained with those from the same tests performed with plaster compound strengthened with glass fiber E only, and the same fiber length and same addition percentage. In addition those results have been compared with the results obtained in non-strengthened plaster samples.

• La escayola reforzada con fibra de vidrio AR y fibra de vidrio E semidispersable (40%-60%)

Trabajabilidad: utilizando este tipo de refuerzo mixto, se tiene dificultad en la realización de la pasta, fundamentalmente, cuando el porcentaje de adición de la fibra es superior al 1% y con las fibras de 50 mm de longitud. Esto se debe a que los hilos de la fibra de vidrio E no permanecen íntegros totalmente, sobre todo en las fibras dispersables al 60%, y esta desfibración, junto con la total dispersión de los hilos AR con los que se mezcla, tiene como consecuencia que la superficie de vidrio en contacto con la escayola sea elevada y, por tanto, que la cantidad de agua absorbida por las fibras sea muy elevada resultando una pasta muy seca.

Resistencia mecánica: cuando se mezclan las fibras AR y las fibras dispersables al 60%, se obtiene una importante mejora en el ensayo de resistencia a flexión, sobre todo en porcentajes de adición menores del 1%, superándose los valores obtenidos con las otras combinaciones de fibra, así como los valores de la escayola reforzada únicamente con la fibra de vidrio E.

También en el ensayo de resistencia a compresión, en general, se superan los resultados de la escayola sola así como se superan los valores de todas las combinaciones de fibras estudiadas.

En cambio, con el refuerzo mixto de fibras AR y fibras de vidrio E dispersables al 40%, disminuyen los valores obtenidos con las fibras por separado y los obtenidos con la escayola sin aditivar, excepto en las probetas realizadas con fibras de 50 mm de longitud y un refuerzo del 1%.

Dureza Shore C: los resultados obtenidos con el refuerzo mixto de AR y fibra E semidispersable son los mejores resultados de todos los refuerzos mixtos analizados, así como superan los valores obtenidos en las probetas reforzadas únicamente con la fibra de vidrio E.

• La escayola reforzada con fibra de vidrio AR y fibra de vidrio E íntegra al 10%

Trabajabilidad: se consigue un reparto de la fibra bastante homogéneo y se pueden añadir todos los porcentajes de fibra previstos, pues la pasta resulta bastante fluida, debido a que el hilo de la fibra de vidrio E permanece íntegro y, por otra parte, la dispersión del hilo AR, impide que los hilos de vidrio E se depositen en el fondo, favoreciendo un correcto reparto.

Esto tiene su excepción, con adiciones de fibra superiores al 1% donde aparecen burbujas y afloran los

• Plaster strengthened with glass fiber AR and E semidispersable (40%-60%)

Workability: using this type of mixed strengthening, the paste workability is difficult, basically when the percentage of fiber addition is greater than 1% and with 50 mm long fibers. This is because the threads of glass fiber E do not stay whole completely, especially in the 60% dispersable fibers. This defibering, together with the total dispersion of AR threads with which it is mixed, brings as a consequence that the glass surface in contact with plaster is high. Therefore, the quantity of water absorbed by the fibers is extremely high forming a very dry paste.

Mechanical strength: when the AR fibers are mixed with dispersable fibers at 60%, a great improvement in the flexion resistance test are obtained, especially so with addition percentages smaller than 1%, overpassing the values obtained with other fiber combinations, as well as the values obtained for plaster strengthened with only glass fiber E.

In the compressive strength test, in general, the results of the non-strengthened plaster are surpassed, as well as the other combinations of fibers have also been surpassed.

Nevertheless, with mixed strengthenings of fiber AR and glass fiber E dispersable at 40%, the values obtained decrease in comparison with each fiber separately and with the results obtained with non-additivated plaster, except in the sample made with 50 mm long fiber and strengthening of 1%.

Shore C Hardness: the results obtained with the mixed strengthening semidispersible of AR and E fibers are the best results of all the mixed strengthenings analyzed, and they all overpass those values obtained in the samples strengthened with only glass fiber E.

• Plaster strengthened with glass fiber A and E whole at 10%

Workability: a homogeneous distribution of the fiber is achieved. All the percentages of fiber planned can be added because the paste obtained is quite fluid. This is due to the fact that the thread of the glass fiber E stays whole, and on the other hand, the dispersion of the AR thread, prevents the deposit of threads of glass fiber E at the bottom, ensuring a correct distribution.

An exception can be found with fiber additions greater than 1% where bubbles appear and the threads show

hilos, dando lugar a un reparto poco homogéneo de las fibras y disminuyendo la trabajabilidad.

Resistencia mecánica: para igual longitud de fibra y porcentaje de adición, los valores obtenidos en el ensayo de resistencia a flexión son similares a los obtenidos en la escayola reforzada únicamente con fibra de vidrio E, pero en cambio los resultados de los ensayos de resistencia a compresión son peores.

Dureza Shore C: los resultados obtenidos en los ensayos son muy irregulares aunque todos similares a los resultados de los compuestos reforzados únicamente con la fibra de vidrio E.

• La escayola reforzada con fibra de vidrio AR y fibra de vidrio E-alta integridad

Trabajabilidad: utilizando la fibra de vidrio E de alta integridad en la mezcla como refuerzo se obtiene una pasta no excesivamente seca y, por tanto, un reparto bastante homogéneo de la fibra, incluso con porcentajes elevados de adición y longitud de fibra 50 mm.

Resistencia mecánica: los resultados obtenidos en los ensayos realizados son peores que en el caso del refuerzo con fibras de alta integridad únicamente.

Dureza Shore C: los resultados obtenidos en los ensayos realizados son peores que en el caso del refuerzo con fibras de alta integridad únicamente.

• Influencia de las combinaciones de fibra (E-AR 70/30) en el refuerzo de la escayola

En general, con este tipo de refuerzo se obtienen mejores resultados que los obtenidos con un refuerzo homogéneo de fibra de vidrio AR, pero en cambio se obtienen, en general, resultados más bajos que los obtenidos al reforzar la escayola únicamente con fibra de vidrio E (1).

Trabajabilidad: al igual que ocurría con los refuerzos homogéneos de fibras de vidrio E, aparecen dos grupos de fibras diferenciados por su comportamiento.

Por una parte, las fibras de alta integridad e integras al 10% combinadas con las fibras AR, que dan lugar a pastas fluidas (lógicamente menos fluidas a medida que aumenta el porcentaje de adición y la longitud de fibra añadida) debido a que los hilos que conforman las primeras permanecen íntegros y los hilos de las fibras AR se desfibran, mejorando el reparto e impidiendo su depósito en el fondo.

up. This leads to a small homogenous distribution of the fibers and a decrease of the workability.

Mechanical strength: for the same fiber length and addition percentage, the values obtained in the flexion resistance tests are similar to those obtained with plaster strengthened with only glass fiber E. However, the compressive strength results are lower.

Shore C hardness: the results obtained in the tests are very irregular although all of them are similar to the results obtained with plaster strengthened with glass fiber E only.

. Plaster strengthened with glass fiber AR and glass fiber E-high integrity:

Workability: using high integrity glass fiber E in the mixing as a strengthening, a not excessively dry paste is obtained and therefore a quite homogeneous fiber distribution, even with high addition percentages and fiber length 50 mm.

Mechanical strength: the results obtained in the tests performed are worse than the ones obtained with strengthenings of only high integrity fibers.

Shore C hardness: the results obtained in the test performed are weaker than those obtained with strengthenings of only high integrity fibers.

. Influence of fiber combinations (E-AR 70/30) in plaster strengthening

In general, better results are obtained with this type of strengthening than with a homogeneous glass fiber AR. In contrast, basically lower results are obtained compared to the plaster strengthened with only glass fiber E (1).

Workability: similarly to what happened with the homogenous strengthenings of glass fiber E, two fiber groups differentiated by their behavior can be distinguished.

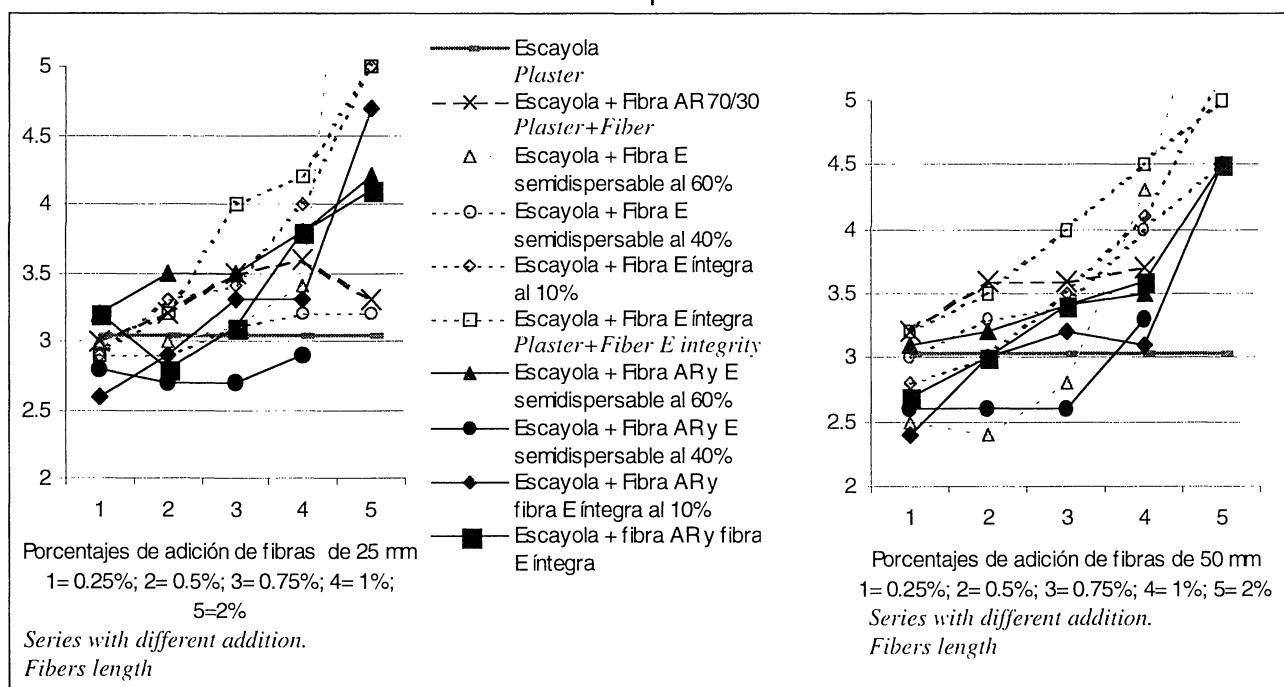
On the one hand, there are the high integrity and whole fibers to 10% combined with AR fibers, which become fluid pastes (logically less fluid as the addition percentage and the fiber length increases). This is so because the threads, which form the first ones, stay whole and the threads of glass fiber AR are defibrated, improving the distribution and preventing their placement at the bottom.

Por otra parte, las fibras de vidrio E, integras al 40% y 60% que se comportan de forma similar al combinarse con las fibras AR, pues sufren una pequeña desfibración, que, unida a la que se produce en la fibra AR, da lugar a una pasta seca y difícil de trabajar (peor a medida que aumenta la longitud de la fibra y el porcentaje de adición de la misma), de forma que ciertos compuestos son inviables de confeccionar.

Resistencia a flexión: se constata que no hay mejoras de la resistencia a flexión con los refuerzos mixtos de fibras de vidrio E y AR, excepto al combinar la fibra E-dispersable al 60% con la AR donde se superan los resultados obtenidos con la fibra E sola e, incluso, se superan los resultados obtenidos en las combinaciones estudiadas hasta el 1% de adición, comparando compuestos realizados con la misma longitud de fibra (Figuras 1 y 2).

On the other hand, there are the glass fiber E, whole at 40% and 60% which behave similarly when they are combined with AR fibers, because they suffer a small defibration, which joined to the one produced in the AR fiber; gives way to a dry paste and difficult workability (worse as the fiber length and addition percentage increases), in such a way that certain compounds are impossible to manufacture.

Flexion resistance: improvements to flexion strength can bee seen with the mixed strengthenings of glass fibers E an AR, except when combining the E fiber dispersible at 60% with AR fiber; where the results overpass those obtained with only fiber E. Comparing compounds manufactured with the same thread length, they even surpass the results obtained in the studied combinations up to 1% addition (Figures 1 and 2).



Figuras 1 y 2.- Valores medios de la resistencia a flexión de compuestos de escayola reforzados con fibras de vidrio de longitud 25 y 50 mm.

Figures 1 and 2.- Average values for flexion resistance of plaster compounds of plaster strengthened with glass fibers of length 25 and 50 mm.

Resistencia a compresión: en todos los casos estudiados se reducen los resultados obtenidos con los refuerzos homogéneos de fibras de vidrio E e incluso con respecto a la escayola sin aditivar, excepto en los composites realizados con refuerzo mixto de fibra E dispersable al 60% y AR, donde se mejoran los resultados obtenidos con la fibra E sola así como se superan los valores obtenidos con el resto de los refuerzos analizados (Figuras 3 y 4).

Dureza Shore C: los refuerzos combinados de la fibra AR con las fibras: E semidispersable al 40%; E íntegra al 10% y E íntegra obtienen valores de dureza por debajo de los obtenidos en los refuerzos no combinados, para la misma longitud de fibra y el mismo porcentaje de adición

Compressive strength: in all cases studied the results obtained decrease with homogenous strengthenings of glass fiber E and even in relation with non-additivated plaster. Except for the compounds made with mixed strengthening of E fiber dispersible at 60% and AR where an improvement of the results obtained with E glass fiber only, and the obtained values overpass those of the other strengthenings analyzed (Figures 3 and 4).

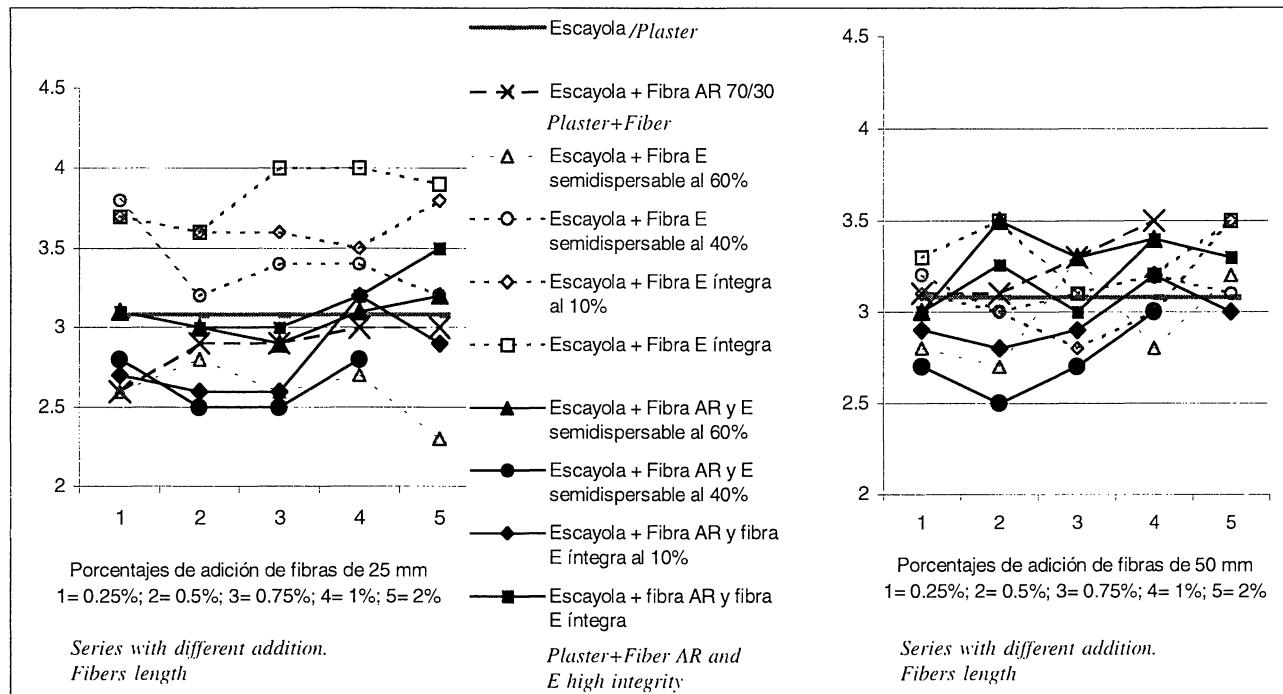
Shore C hardness: the combined strengths of fiber AR with other fibers: E semidispersable at 40%, E whole at 10% and E whole obtain hardness values lower than the ones obtained in the homogeneous strengthenings, and even in

de fibras, e incluso, en ocasiones, por debajo de los valores obtenidos en la escayola sin aditivar (Figuras 5 y 6).

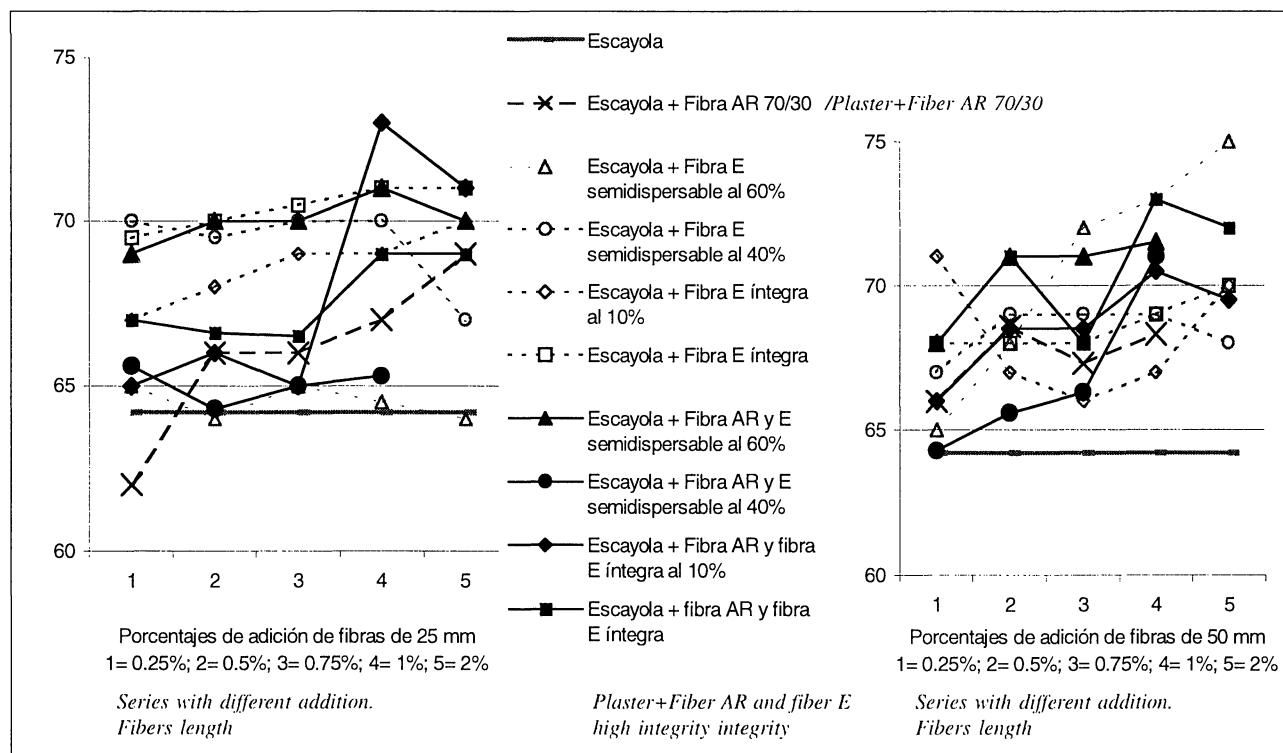
Con la fibra E semidispersable al 60%, se obtienen mejores resultados que con el resto de las combinaciones e incluso con respecto al refuerzo de la fibra sola.

some occasions smaller than the values obtained with non additized plaster (Figures 5 and 6).

With semidispersible fiber E at 60%, better results are obtained than with the rest of combinations and even regarding the strengthening with only one fiber.



Figuras 3 y 4.- Valores medios de la resistencia a compresión de compuestos de escayola reforzados con fibras de vidrio de longitud 25 y 50 mm.
Figures 3 and 4.-Compressive strength average values of plaster compounds strengthened with glass fibers of length 25 and 50 mm.



Figuras 5 y 6.- Valores medios de la dureza Shore C de compuestos de escayola reforzados con fibras de vidrio de longitud 25 y 50 mm.
Figures 5 and 6.- Shore hardness average values of plaster compounds strengthened with glass fibers 25 and 50 mm.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) Del Río Merino, M; Comino Almenara, P.- "Influencia del grado de dispersabilidad de la fibra de vidrio E, en la trabajabilidad y el comportamiento mecánico de la escayola": Materiales de construcción nº 261 vol. 51, págs.: 33-45. Edit: Instituto Eduardo Torroja. 2001
- (2) Alcaide, N.- "Yeso reforzado con fibra de vidrio y fluidificante". Cátedra de materiales de construcción. ETSAM. 1992.
- (3) Baoíd, D, Remedios, J.- "Yeso reforzado con tejidos y velos de fibra de vidrio E". Cátedra de materiales de construcción. ETSAM. 1989
- (4) Cátedra de materiales de construcción. ETSAM. UPM. "V. Jornada sobre aplicaciones arquitectónicas de los materiales compuestos y aditivados". 1999
- (5) Comino Almenara. P.- "Realizaciones en GRC en la construcción". Arquimacrom 96. Sevilla. Págs: 419-427.
- (6) Del Río Merino, M.- "Elaboración y aplicaciones constructivas de paneles prefabricados de escayola aligerada y reforzada con fibra de vidrio E y otros aditivos". Tesis doctoral. 1999
- (7) Vega Sánchez.- "Yeso reforzado con fibra de vidrio en distintos porcentajes". Cátedra de materiales de construcción. ETSAM. 1991.
- (8) B.O.E-R.Y.85. "Pliego de recepción de yesos". 1985
- (9) AENOR.- UNE-102-032. "Yesos y escayolas de construcción. Métodos de ensayos". 1984
- (10) Arredondo, F.- "Estudio de materiales II. El yeso". Edit. Instituto Eduardo Torroja. 1980.

* * *