# Hormigones reforzados con fibras acrílicas

# *Concretes reinforced with acrylic fibres*

**TOMÁS AMAT RUEDA, Dr. Ing. de Caminos, Canales y Puertos. IETCC (CSIC)**

MADRID/ESPAÑA

Fecha de recepción: 19-VI-97
Fecha de aceptación: 10-IX-97

*RESUMEN*

*El presente artículo está basado en trabajos realizados en el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, teniendo por objetivo evaluar el comportamiento de los hormigones reforzados con fibras acrílicas de poliacrilonitrilo, estudiando la influencia que tiene sobre sus propiedades físicas y mecánicas.*

*SUMMARY*

*This article is based on works, carried out at the IETcc, aimed to evaluat the behaviour of concretes reinforced with acrylic polyacrylonitrile fibres, and to study the influence they have on concrete physical and mechanical properties.*

## 1. CARACTERÍSTICAS DE LAS FIBRAS

Las fibras suministradas por COURTAULDS Fibres son fibras acrílicas de poliacrilonitrilo que se denominan **SEKRIL**, y cuyas características mecánicas se indican en la Tabla I.

## *1. CHARACTERISTICS OF THE FIBRES*

*Fibres provided by COURTAULDS are acrylic, from polyacrylonitrile. They are called SEKRIL and their mechanical characteristics are stated in Table I.*

TABLA I *(TABLE I)*

| | S-900 | S-920 | S-940 |
|---|---|---|---|
| Densidad *(Density)* *(g/cm$^3$)* | 1,18 | 1,18 | 1,18 |
| Diámetro *(Diameter)* (micras) | 37,5 | 53 | 80 |
| Resitencia: *(Resistance:)* N·mm$^{-2}$ | 350 | 270 | 300 |
| Módulo de Elasticidad: *(Elasticity module:)N·mm$^{-2}$* | 8.850 | 6.750 | 6.500 |

## 2. CEMENTO UTILIZADO. AMASADO

Los cementos utilizados han sido un P-I-45, cemento sin adiciones y de alta resistencia inicial,

## *2. CEMENT USED. MIXING*

*The cements used have been a P-I-45 without additions and of high initial resistance, and P-II-35 A,*



(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://materconstrucc.revistas.csic.es

y P-II-35 A, cuyo análisis químico, en tanto por ciento, es el indicado en la Tabla II.

Se han estudiado diversos métodos para conseguir una buena dispersabilidad de las fibras para obtener la máxima homogeneidad del composite. El método utilizado ha sido batir las fibras mediante aire comprimido a alta presión, produciéndose un incremento de volumen; posteriormente se han utilizado dos métodos de dispersión: el primero fue mezclando las fibras en el agua, vertiendo el agua y las fibras en la mezcla en seco de los áridos con el cemento, método con el que no se consiguió una buena dispersabilidad; el segundo método consistió en mezclar, en seco, las fibras ya batidas por el aire a presión, con los áridos finos, consiguiéndose una mejor homogeneidad, aun cuando se siguen creando "erizos".

*whose chemical analysis, in percentage, appears here in Table II.*

*Several methods have been studied to get a good dispersability of the fibres in order to obtain the maximum homogeneity of the composite.One of the method used has been: to shake the fibres by means of highly compressed air which results in an augment of volume; later two dispersion methods have been used: the first is by mixing the fibres in water, and then pouring them into the dry mixture of aggregates and cement (this method did not give a good dispersability); the second method consisted in mixing dry fibre, already beatten/shaken by compressed air, with fine aggregates getting a better homogeneity, even though there is still formation of "spikes".*

TABLA II *(TABLE II)*

| | P-I-45 | P-II-35 A |
|---|---|---|
| P.F. | 1,54 | 1,90 |
| R.I. | 2.10 | 5,97 |
| $SiO_2$ | 19,5 | 21,74 |
| $Al_2O_3$ | 4,30 | 6,11 |
| $Fe_2O_3$ | 2,48 | 3,38 |
| CaO | 63,10 | 54,1 |
| MgO | 2,10 | 1,97 |
| $SO_3$ | 3,90 | 3,74 |
| $N_2O$ | 0,18 | 0,44 |
| $K_2O$ | 0,80 | 0,65 |

## 3. ENSAYOS REALIZADOS

### 3.1. Tenacidad e Indice de Tenacidad a flexotracción

3.1.a. Mezclas estudiadas

La dosificación del hormigón se indica en la Tabla III.

Las series estudiadas con dicho hormigón han sido:

1) Hormigón sin fibra
2) Hormigón con S-900 de 10 mm, con un volumen $V_f$ de fibra del 1 %.
3) Hormigón con S-900. L 10 mm $V_f$ 2 %.

## *3. TESTS INVOLVED*

### *3.1. Tenacity and flexotraction Strength Rate*

*3.1.a. Mixtures dosage*

*Concrete dosage is shown in the following (Table III).*

*The series studied with such concrete have been:*

*1) Concrete without fibre*
*2) Concrete with a 10 mm. S-900, with a volume $V_f$ of 1 % fibre*
*3) Concrete with L 10 mm. S-900, $V_f$ 2 %*



(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://materconstrucc.revistas.csic.es

TABLA III *(TABLE III)*

| MATERIAL *(MATERIAL)* | CARACTERÍSTICAS *(CHARACTERISTICS)* | DOSIFICACIÓN *(DOSAGE)* kg/m$^3$ |
|---|---|---|
| Cemento *(Cement)* | I/45 A | 350 |
| 0-5 mm | Normalizada RC 88 *(Standardized EC 88)* | 840 |
| 5-20 mm | Árido silíceo natural *(Natural silica sand)* | 1.100 |
| Agua *(Water)* | Potable, de Madrid *(Madrid, drinking water)* | 200 |
| Fibras *(Fibers)* | Sekril S-900 L 10 mm | $V_f$ = 1% y 0,1% |
| | L 24 mm | |
| | Sekril S-920 L 10 mm | $V_f$ = 2% y 0,2% |
| | L 24 mm | |

TABLA IV *(TABLE IV)*

| DESIGNACIÓN HORMIGÓN *(CONCRETE DESIGNATION)* | CONO DE ABRAMS *(ABRAMS CONE)* |
|---|---|
| Sin fibra *(Without fiber)* | 4 |
| S-900. L 10 mm $V_f$ 1% | 0,5 |
| S-900. L 10 mm $V_f$ 2% | 0,5 |
| S-900. L 24 mm $V_f$ 1% | 0,5 |
| S-900. L 24 mm $V_f$ 2% | 0 |
| S-920. L 10 mm $V_f$ 1% | 0,5 |
| S-920. L 24 mm $V_f$ 2% | 0 |

4) Hormigón con S-900. L 24 mm, $V_f$ 1 %
5) Hormigón con S-900. L 24 mm, $V_f$ 2 %
6) Hormigón con S-920. L 10 mm, $V_f$ 1 %
7) Hormigón con S-920. L 24 mm, $V_f$ 2 %

Las medidas del cono de Abrams, obtenidas para dichos hormigones, fueron las que aparecen en la Tabla IV.

Se confeccionaron en el laboratorio series de tres probetas prismáticas de cada hormigón, de 10 x 10 x 45 cm, la realización de las mismas fue algo compleja, no lográndose una distribución homogénea de las fibras, sobre todo en las de mayor contenido.

Posteriormente se hicieron hormigones reforzados con pequeñas cantidades de fibras; las series fueron:

1) Hormigón sin fibra
2) Hormigón con S-900 de 10 mm, con un volumen $V_f$ de fibras del 0,1 %
3) Hormigón con S-900. L 10 mm, $V_f$ 0,2 %
4) Hormigón con S-900. L 24 mm, $V_f$ 0,1 %
5) Hormigón con S-900. L 24 mm, $V_f$ 0,2 %
6) Hormigón con S-920. L 10 mm, $V_f$ 0,1 %
7) Hormigón con S-920. L 24 mm, $V_f$ 0,1 %
8) Hormigón con S-920. L 10 mm, $V_f$ 0,2 %
9) Hormigón con S-920. L 24 mm, $V_f$ 0,2 %

*4) Concrete with L 24 mm. S-900, $V_f$ 1 %*
*5) Concrete with L 24 mm. S-900, $V_f$ 2 %*
*6) Concrete with L 10 mm. S-920, $V_f$ 1 %*
*7) Concrete with L 24 mm. S-920, $V_f$ 2 %*

*Abrams cone measurements obtained on these concretes have been (Table IV).*

*Series of three prismatic samples of 10 x 10 x 45 cm of each dosage were made in the laboratory, which realization was quite complex, and not reaching a homogeneous fibre distribution, specially in those with higher fibre content.*

*Later on reinforced concretes with small amounts of fibre were made; the series were as follows:*

*1) Concrete without fibre*
*2) Concrete with a 10 mm S-900, with a volume $V_f$ of 0,1 %*
*3) Concrete with L 10 mm. S-900, $V_f$ 0,2 %*
*4) Concrete with L 24 mm. S-900, $V_f$ 0,1 %*
*5) Concrete with L 24 mm. S-900, $V_f$ 0,2 %*
*6) Concrete with L 10 mm. S-920, $V_f$ 0,1 %*
*7) Concrete with L 24 mm. S-920, $V_f$ 0,1 %*
*8) Concrete with L 10 mm. S-920, $V_f$ 0,2 %*
*9) Concrete with L 24 mm. S-920, $V_f$ 0,2 %*



(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas http://materconstrucc.revistas.csic.es
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

Las medidas del cono de Abrams, obtenidas para dichos hormigones, fueron las indicadas en la Tabla V.

Se elaboraron series de 3 probetas prismáticas de 10 x 10 x 45 cm, obteniéndose una mejor distribución de las fibras por su bajo contenido.

### 3.1.b. Técnica experimental

La determinación de la Tenacidad e Índice de Tenacidad a flexotracción se ha realizado sobre las probetas de 10 x 10 x 45 cm, pasados los 28 días.

La máquina de ensayo ha sido un dinamómetro Instron nº 1114, actuando con una carga centrada sobre la probeta biapoyada, con una luz entre apoyos de 30 cm. La velocidad de deformación ha sido de 0,2 mm/min, según indica la norma UNE 83-510, registrándose el diagrama carga-flecha con el fin de determinar la Tenacidad y el Índice de Tenacidad.

Se define como *"Tenacidad"* el área limitada por la curva carga-flecha desde el origen 0' corregido, el eje de abscisas y la ordenada correspondiente a una flecha de 1/150 de la luz entre ejes de apoyos, es decir, 2 mm.

Se define *"Primera fisura"* al punto en el cual la curva carga-flecha se aparta de la linealidad; en este punto, la matriz del composite se fisura y, para este punto, es necesario calcular el área limitada por la curva, eje de abscisas y la ordenada correspondiente a la primera fisura, siendo tal área la de un triángulo.

El *"Índice de Tenacidad"* se obtiene como resultado de dividir el área bajo la curva carga-flecha, desde el origen hasta la flecha, igual a 15,5 veces la flecha de primera fisura, por el área del triángulo obtenido en la primera fisura.

### 3.1.c. Resultados obtenidos

Los resultados obtenidos son los de la Tabla VI.

*Abrams cone measurements obtained for these concretes (Table V).*

*Series of three prismatic samples of 10 x 10 x 45 cm were made with each concrete dosage, reaching a better distribution of the fibres because of the low fibre content.*

### *3.1. b. Experimental technique*

*Determining Tenacity and flexotraction Tenacity has been carried out on samples of 10 x 10 x 45 cm, after 28 days.*

*The testing machine has been an Instron nº 1114 dynamometer, acting with a load centered on the test sample which was supported on two points having a 30 cm span. The speed has been 0.2 mm/min., according to standard UNE 83-510, and the load-deflection diagram has been registered in order to determine Tenacity and Tenacity Rate.*

*"Tenacity" is defined as the area limited by the curve load-deflection from a corrected origin 0', the abscissae axis and the ordinate corresponding to a deflection of 1/150 of the span between bearing axis, that is 2mm.*

*"First crack" is defined as the point in which the load-deflection curve move away from linearity; at this point the composite matrix cracks, and for that point it is necessary to calculat the area limited by the curve, the abscissae axis and the ordinates corresponding to the first crack, such area being that of a triangle.*

*The "Tenacity Rate" is the result of dividing the area under the load-deflection curve from the origin until a deflection equal to 15.5 times the deflection of the first crack, by the area of the triangle obtained in the first crack.*

### *3.1.c. Results*

*The results are those defined in Table VI.*

TABLA V *(TABLE V)*

| DESIGNACIÓN HORMIGÓN *(CONCRETE DESIGNATION)* | CONO DE ABRAMS *(ABRAMS CONE)* |
|---|---|
| Sin fibra *(Whithout fiber)* | 4 |
| S-900. L 10 mm $V_f$ 0,1% | 4 |
| S-900. L 10 mm $V_f$ 0,2% | 3 |
| S-900. L 24 mm $V_f$ 0,1% | 4,5 |
| S-900. L 24 mm $V_f$ 0,2% | 3,5 |
| S-920. L 10 mm $V_f$ 0,1% | 4,5 |
| S-920. L 24 mm $V_f$ 0,1% | 3,5 |
| S-920. L 10 mm $V_f$ 0,2% | 2,5 |
| S-920. L 24 mm $V_f$ 0,2% | 2 |



(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://materconstrucc.revistas.csic.es

TABLA VI *(TABLE VI)*

| PROBETA *(TEST SAMPLE)* | 1ª FISURA *(1ST CRACK)* | | TENACIDAD 1ª FISURA *(TENACITY 1st CRACK)* kg . mm | TENACIDAD *(TENACITY)* (1/150) kg . mm | TENACIDAD *(TENACITY)* 15,5 F kg . mm | ÍNDICE DE TENACIDAD *(TENACITY RATE)* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | CARGA (kg) *(LOAD (kg))* | FLECHA (kg) *DEFLECTION (kg)* | | | | |
| HORMIGÓN SIN FIBRAS *(CONCRETE WITHOUT FIBRES)* | 847 | 0,55 | 233 | 233 | | 1 |
| H-S-900. 10 mm 1% | 836 | 0,58 | 209 | 528 | 555 | 2,66 |
| H-S-900. 10 mm 2% | 800 | 0,57 | 231 | 675 | 823 | 3,56 |
| H-S-900. 24 mm 1% | 926 | 0,48 | 220 | 623 | 780 | 3,53 |
| H-S-900. 24 mm 2% | 736 | 0,48 | 179 | 845 | 1.424 | 7,95 |
| H-S-920. 10 mm 1% | 815 | 0,44 | 179 | 416 | 480 | 2,68 |
| H-S-920. 24 mm 2% | 741 | 0,45 | 168 | 920 | 1.635 | 9,73 |



(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://materconstrucc.revistas.csic.es

Los diagramas carga-flecha se representan en las Figuras 1 y 2.

Para los hormigones reforzados con fibras y con baja proporción, de sus diagramas carga-flecha, se deduce que apenas existe tenacidad, por lo que numéricamente no se ha medido ésta (Figura 3).

*The results load-deflection diagrams are represented in Figures 1 and 2.*

*For concretes reinforced with small amount of fibres, load-deflection diagrams show scarce tenacity, reason why no numerical measurements have been taken (Figure 3).*

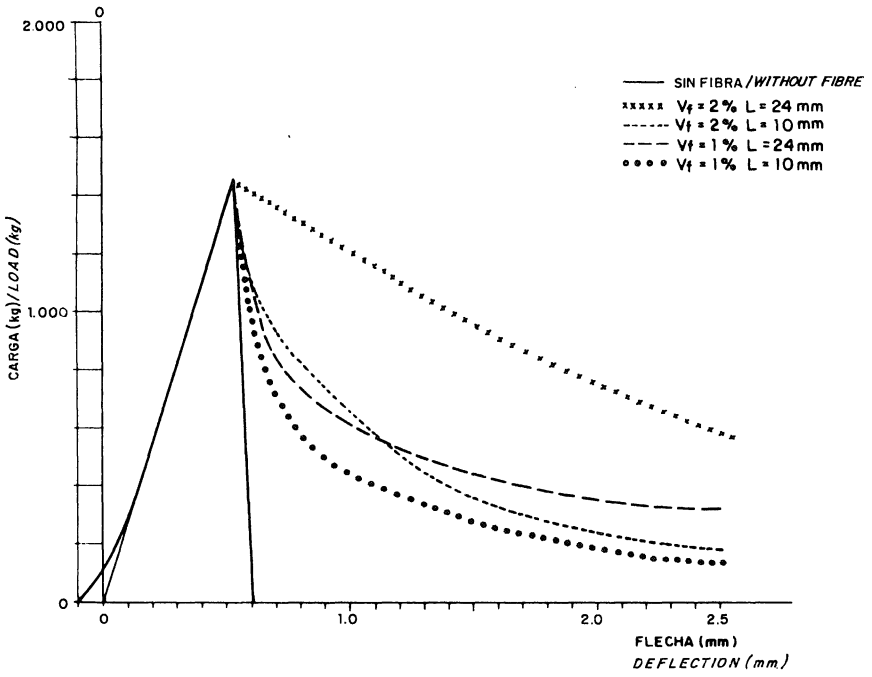



Fig. 1.- Diagramas carga-flecha de hormigón con Sekril 900.
*Fig. 1.- Load-deflection diagrams of concrete with S-900.*

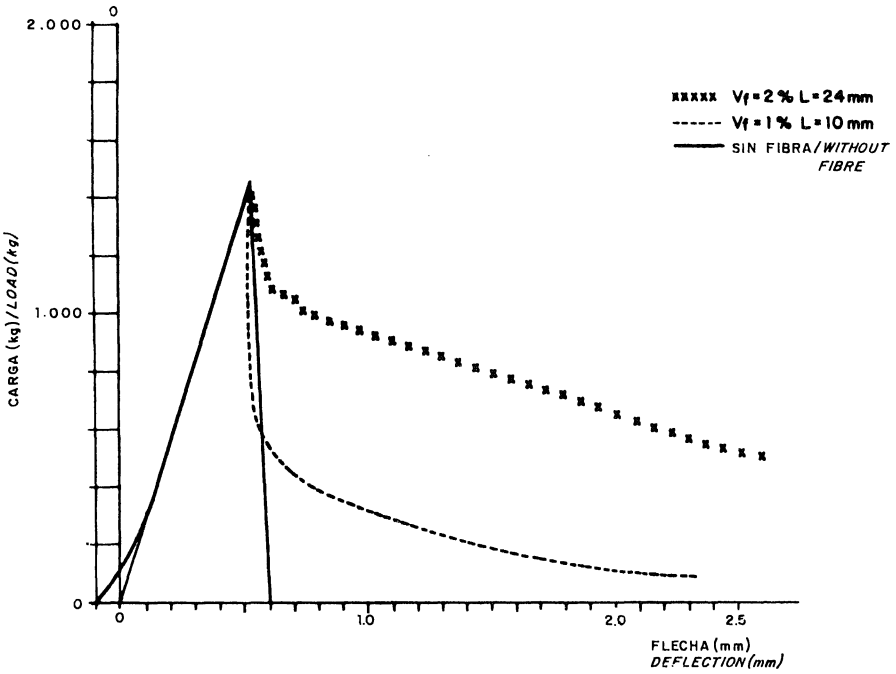



Fig. 2.- Diagramas carga-flecha de hormigón con Sekril 920.
*Fig. 2.- Load-deflection diagrams of concrete with S-920.*



(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://materconstrucc.revistas.csic.es

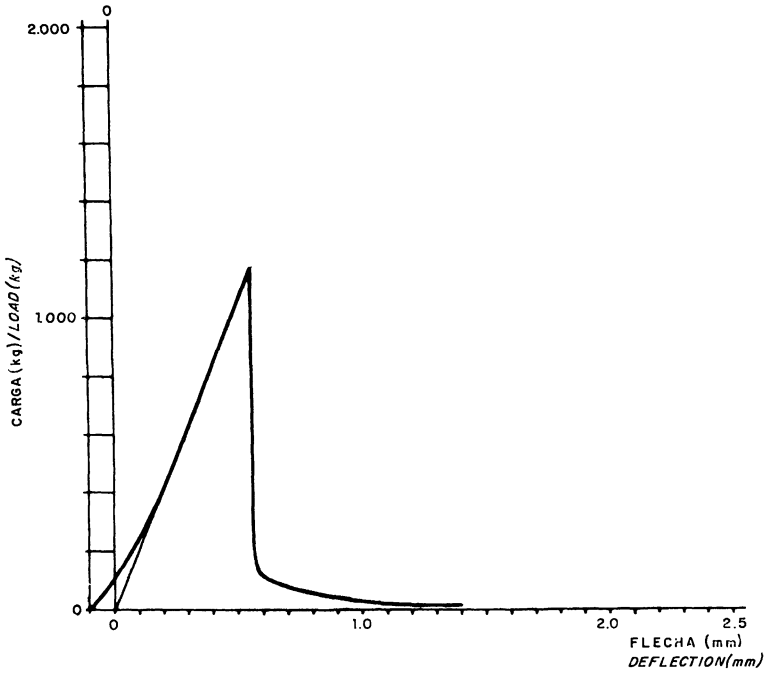



Fig. 3.- Diagramas carga-flecha de hormigón con sekril 900, con bajo contenido en fibra.
*Fig. 3.- Load-deflection diagrams of concrete with S-900, with low fibre content.*

## 3.2. Resistencia al impacto

### 3.2.a. Mezclas estudiadas

La dosificación de los hormigones es la definida en la Tabla I, y las series estudiadas con dicho hormigón han sido:

1) Hormigón sin fibra
2) S-900. L-10 mm, $V_f$ 0,1 %
3) S-900. L-10 mm, $V_f$ 0,2 %
4) S-900. L-24 mm, $V_f$ 0,1 %
5) S-900. L-24 mm, $V_f$ 0,2 %
6 )S-920. L-10 mm, $V_f$ 0,1 %
7) S-920. L-10 mm, $V_f$ 0,2 %
8) S-920. L-10 mm, $V_f$ 0,2 %
9) S-920. L-24 mm, $V_f$ 0,1 %

### 3.2.b. Técnica experimental

La resistencia al impacto se ha experimentado sobre probetas de 16 x 16 x 4 cm. Las probetas estaban apoyadas uniformemente sobre un soporte de aglomerados de madera de 25 mm y sujetas por dos puntos diametralmente opuestos.

El impacto se ha realizado mediante una esfera de 540 gr, inicialmente mantenida por un electroimán a una altura de 100 cm de la cara superior de la probeta.

## *3.2. Resistance to impact*

### *3.2.a. Mixtures*

*Concrete dosages are those defined in Table I, and the series studied are :*

*1) Concrete with no fibre*
*2) L-10 mm . S-900, $V_f$ 0,1 %*
*3) L-10 mm . S-900, $V_f$ 0,2 %*
*4) L-24 mm . S-900, $V_f$ 0,1 %*
*5) L-24 mm . S-900, $V_f$ 0,2 %*
*6) L-10 mm . S-920, $V_f$ 0,1 %*
*7) L-10 mm . S-920, $V_f$ 0,2 %*
*8) L-10 mm . S-920, $V_f$ 0,2 %*
*9) L-24 mm . S-920, $V_f$ 0,1 %*

### *3.2.b. Experimental technique*

*Impact resistance has been experimented on test samples of 16 x 16 x 4 cm each. Samples were arranged evenly on wooden supports of 25 mm and fastened at two diametrically opposite points.*

*The impact was produced/caused by a 540 gr sphere/ball, initially sustained by an electric magnet kept at 100 cm height above the upper side of the test sample.*



(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas http://materconstrucc.revistas.csic.es
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

Con este sistema se ha determinado la cantidad de energía de impacto precisa que dé lugar a la primera fisura y posteriormente a la rotura de la pieza.

### 3.2.c. Resultados obtenidos

Los resultados obtenidos, media de tres determinaciones, son los que se indican la Tabla VII y en la Figura 4.

*With this system the amount of impact energy necessary to provoke the first crack and later on the break down of the piece was determined.*

### *3.2.c. Results obtained*

*Results, average of three determinations, are indicated in Table VII and Figure 4.*

TABLA VII *(TABLE VII)*

| HORMIGÓN *(CONCRETE)* | Nº DE IMPACTOS DE 540 g DESDE 100 cm DE CAÍDA LIBRE *(NUMBER OF IMPACTS OF 540 g FROM A FREE FALL OF 100 cm)* | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | L = 0 | | L = 10 mm | | L = 24 mm | |
| | 1ª Fisura *(1st Crack)* | Rotura *(Fracture)* | 1ª Fisura *(1st Crack)* | Rotura *(Fracture)* | 1ª Fisura *(1st Crack)* | Rotura *(Fracture)* |
| HORMIGÓN SIN FIBRAS *(CONCRETE WITHOUT FIBRES)* | 5 | 6 | | | | |
| S-900. 1‰ | | | 12 | 19 | 18 | 24 |
| S-900. 2‰ | | | 22 | 45 | 26 | 48 |
| S-920. 1‰ | | | 9 | 14 | 12 | 18 |
| S-920. 2‰ | | | 10 | 16 | 13 | 25 |

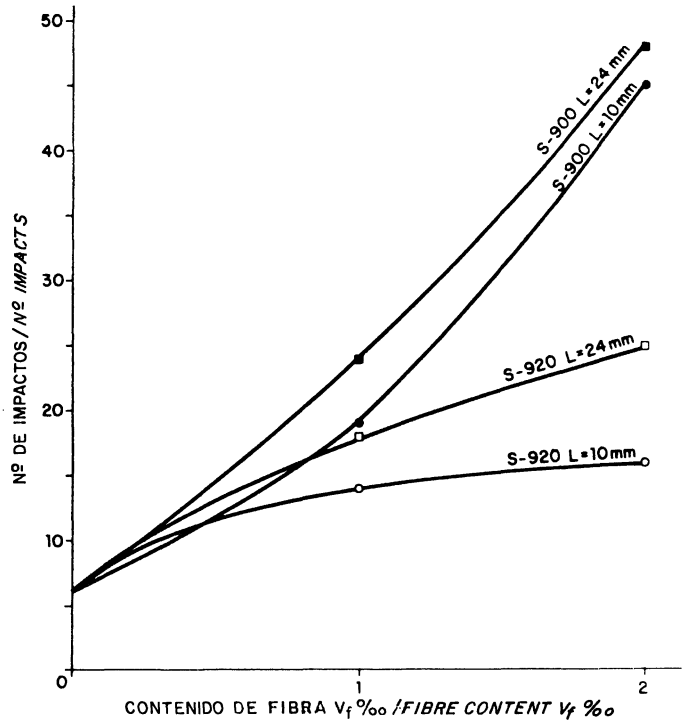



Fig. 4.- Resistencia al impacto.
*Fig. 4.- Resistance to impact.*



(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://materconstrucc.revistas.csic.es

## 3.3. Retracción en estado plástico

### 3.3.a. Mezclas estudiadas

Dos son los tipos de hormigones que han sido reforzados con las fibras SEKRIL S-900 y S-940, de varias longitudes, 10 y 24 mm, y con un porcentaje en fibras, en volumen, de 0,1 %, 0,2 % y 0,3 %.

Denominamos *"hormigones tipo A"* a los definidos en la Tabla III.

*"Hormigones tipo B"*, son aquéllos cuya dosificación viene indicada en la Tabla VIII.

## *3.3. Shrinkage in plastic state*

### *3.3.a. Study of mixtures*

*Two types of concretes have been reinforced with fibers SEKRIL S-900, S-920, S-940 of differents lengths, 10 and 24 mm and with a fibre volume of 0,1 %, 0,2 % and 0.3 %.*

*"Type A concretes" are those defined in Table III.*

*"Type B concretes" are those defined in Table VIII.*

TABLA VIII *(TABLE VIII)*

| **MATERIAL** *(MATERIAL)* | **CARACTERÍSTICAS** *(CHARACTERISTICS)* | DOSIFICACIÓN: kg/m$^3$ *(DOSAGE: kg/m$^3$)* |
|---|---|---|
| Cemento *(Cement)* | II-35 A | 350 |
| 0-5 mm | Arena normalizada UNE 80-10-88 *(Standardized sand UNE 80-10-88)* | 880 |
| 5-10 mm | Árido calizo *(Lime aggregate)* | 420 |
| 10-20 mm | Árido calizo *(Lime aggregate)* | 590 |
| Agua *(Water)* | Potable, de Madrid *(Madrid, drinking water)* | 150 |
| Superplastificante *(Superplastifying)* | | 3% |

### 3.3.b. Técnica experimental

Para el estudio de la retracción en estado plástico, se diseñó el equipo experimental que se muestra en la Figura 5. Consta de las siguientes partes:

a) Noria de paletas, accionada por un motor eléctrico que proporciona un flujo constante de aire
b) Resistencias
c) Relé.
d) Indicador-Controlador de temperatura
e y f) Moldes
g) Placas para favorecer la fisuración en una región localizada
h) Higrómetro

La variación de las dimensiones de las probetas (mm/m) se recoge con unos extensómetros situados sobre unas placas que, a su vez, están conectadas con otras mediante una varilla rígida.

Las condiciones del ensayos son 44 °C y 2 m/s de temperatura y velocidad de viento, respectivamente.

### *3.3.b. Experimental technique*

*To the study of shrinkage in plastic state, the experimental equipment which appear in Figure. 5 was designed. Its components were :*

*a) A paddle-wheel working with an electric motor which provided a constant air flow*
*b) Resistances*
*c) Relay*
*d) Temperature indicator-controller*
*e and f) Moulds*
*g) Plates/sheets/slabs that favour cracking in a special zone*
*h) Hygrometer*

*Variations in size of the test samples (mm/m) were measured with extensometers fixed on some of the slabs/plates/sheets that were in turn connected to others by means of a rod.*

*The testing conditions were 44 °C and 2 m/s for temperature and speed respectively.*



(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://materconstrucc.revistas.csic.es

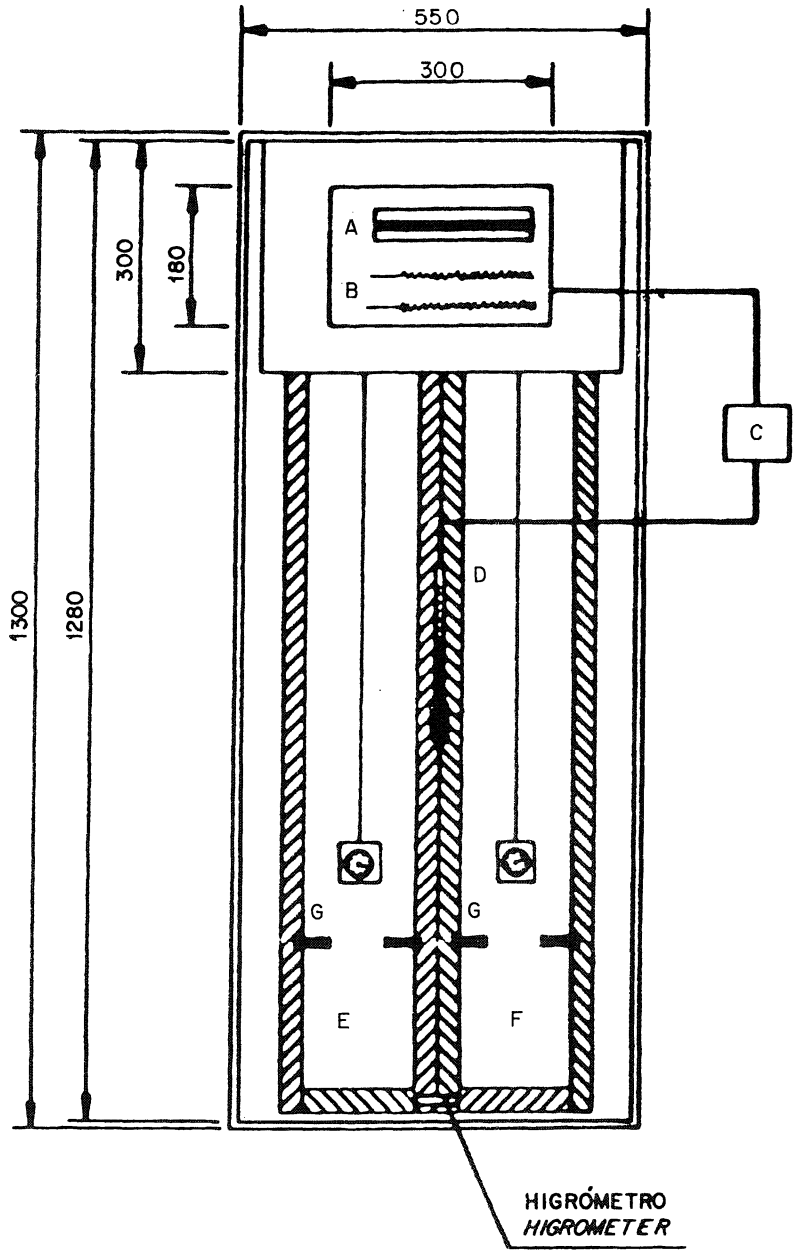



Fig. 5 / *Fig. 5*

### 3.3.c. Resultados obtenidos

Se adjunta un resumen de los valores obtenidos (Figuras 6 y 7 y Tabla IX).

Con carácter general, para las fibras S-900 y S-940 sin tratamiento, las mezclas de las fibras en el hormigón no eran homogéneas, formándose "erizos" y, por tanto, no consiguiéndose el aprovechamiento máximo de las fibras. En cambio, las fibras S-940 tratadas se caracterizaban por conseguir una muy buena dispersión, lograda sin necesidad de batirla con aire comprimido.

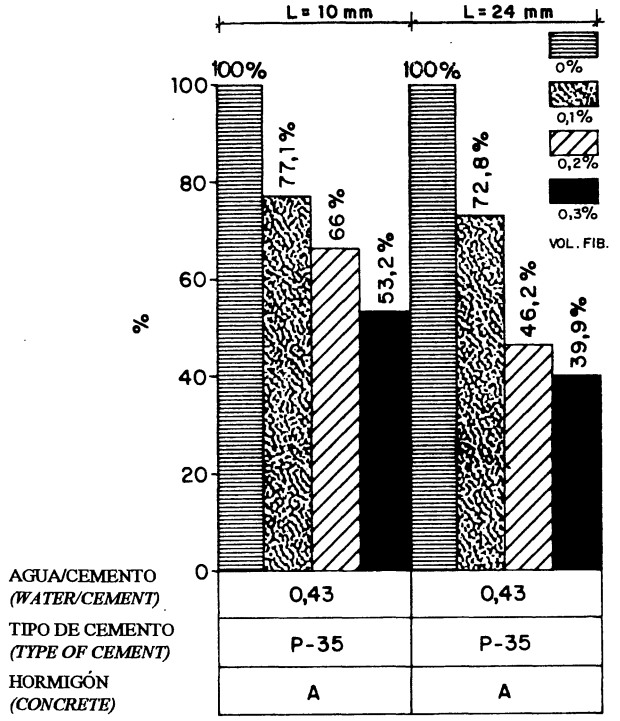
### *3.3.c. Results obtained*

*Here is the summary of the values obtained (Figures 6 and 7 and Table IX).*

*In most cases, regarding S-900 and S-940 fibres with no treatment, their mixture in concrete did not result homogeneous, for there was formation of "spikes" therefore not getting the maximun benefits from the fibres. However, treated S-940 fibres have as main characteristic a good dispersion reached without shaking them with compressed air.*



(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas http://materconstrucc.revistas.csic.es
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

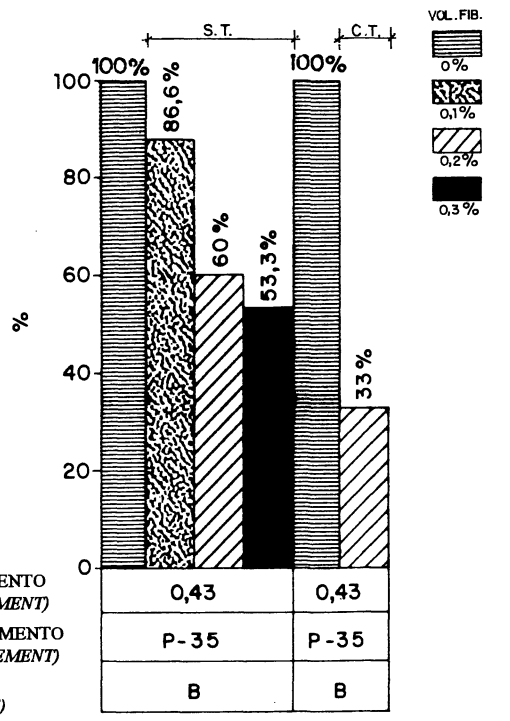



Los valores representan la relación entre la retracción del hormigón reforzado con fibras y el hormigón sin fibras.

*Values represent the retraction ratio of concrete reinforced with fibres to concrete without fibres.*

Fig. 6.- % retracción de hormigones reforzados con S-900

*Fig. 6.- % shrinkage of concretes reinforced with S-900*




Los valores representan la relación entre la retracción del hormigón reforzado con fibras y el hormigón sin fibras.

*Values represent the retraction ratio of concrete reinforced with fibres to concrete without fibres.*

Fig. 7.- % retracción de hormigones reforzados con S-940. L = 24 mm.

*Fig. 7.- % shrinkage of concretes reinforced with S-940. L = 24 mm.*

TABLA IX *(TABLE IX)*

| **PORCENTAJE EN FIBRA** *(FIBRE PERCENTAGE)* | 0% | 0,1% | 0,2% | 0,3% |
|---|---|---|---|---|
| S-900. L-10 mm | 100% | 77,1% | 66% | 53,2% |
| S-900. L-24 mm | 100% | 72,8% | 46,2% | 39,9% |
| S-940. L-24 mm SIN TRATAMIENTO *(S-940. L-24 mm NO TREATMENT)* | 100% | 86,6% | 60% | 53,3% |
| S-940. L-24 mm CON TRATAMIENTO *(S-940. L-24 mm WITH TREATMENT)* | 100% | --- | 33% | --- |

## 4. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

A la vista de los ensayos y resultados obtenidos, observamos

1°) La trabajabilidad de los hormigones reforzados con fibras de una determinada longitud, disminuye al aumentar su contenido en fibra y, a igualdad de contenido en fibra, su trabajabilidad es peor cuanto mayor es la longitud de la misma.

2°) Las resistencias mecánicas del hormigón, es decir su resistencia a flexotracción o tracción obtenidas en los ensayos de determinación de la Tenacidad,

## *4. INTERPRETATION OF RESULTS*

*Our observations in view of test results are:*

*1°) The workability of concretes reinforced with fibres decreases when augmenting their fibre content, but at an equal fibre content, the longer the fibre size is the worse their workability will be.*

*2°) Mechanical resistance of concrete, that is, its resistance to flexural and tensile strength according to Tenacity determining tests, prove that adding fibres to*



(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas http://materconstrucc.revistas.csic.es
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

demuestran que la incorporación de este tipo de fibras a los hormigones, en porcentajes viables para el amasado, es decir, en porcentajes inferiores al 2 ó 3 %, no incrementa, en modo alguno, sus resistencias a flexotracción o tracción. El volumen crítico de estas fibras en los hormigones debe de estar alrededor del 8 al 9 %. Los resultados obtenidos no son homogéneos, no pudiéndose afirmar ni siquiera que los hormigones sin fibras tengan mejores resistencias.

3º) La Tenacidad mide la capacidad de absorción de energía del hormigón. Es, por tanto, una propiedad del material compuesto y su valor depende no sólo del volumen, longitud y tipo de fibra, sino también de las características de la matriz. El Índice de Tenacidad depende del tipo, contenido y longitud de las fibras; las características de la matriz apenas si influyen en su valor.

Del cuadro de valores obtenido en el apartado 3.1., se deduce:

a) Cuanto mayor es el contenido en fibra, mayores son los valores de la Tenacidad (1/150), la Tenacidad (15,5) y el Índice de Tenacidad.

b) Para los hormigones, las fibras de longitudes cortas como son las de 10 mm, no atan suficientemente el hormigón, por cuanto a igualdad de porcentaje en fibra, los hormigones reforzados con las fibras de longitud 24 milímetros, dan mayores valores de Tenacidad e Índice de Tenacidad.

c) El comportamiento de refuerzo de las fibras S-920, en comparación con las S-900, no está perfectamente definido, ya que en las del 1 % y 10 mm la tenacidad está muy por debajo de la S-900, del mismo porcentaje y longitud, siendo al contrario cuando tratamos del 2 % y longitud 24 mm; los valores de ambos hormigones son bastante similares.

d) Para los porcentajes pequeños de fibras del 0,1 % ó 0,2 %, apenas si se incrementa la Tenacidad.

4º) La resistencia a impactos se incrementa con la adición de las fibras. Cuanto mayor es el contenido en fibras, tanto mayor es su resistencia, y cuanto mayor es su longitud, mayor es su resistencia a impactos. Los hormigones reforzados con la fibra S-900, resisten sensiblemente más que los reforzados con la S-920, obteniéndose que el hormigón reforzado con el 0,2 % y longitud 24 mm, resiste del orden de 8 veces más que el hormigón sin reforzar, mientras el mismo hormigón, reforzado con la S-920, con la misma longitud y porcentaje, resiste sólo 4 veces más.

*concretes in percentages good enough for their mixing (around 2-3 % or inferior) does not increase in any way the flexural or tensile strength. The critical volume of these fibres in concrete must be around 8-9 %. Since results obtained are not homogeneous, it is not possible to say that concretes without fibres have a better resistance.*

*3º) The Tenacity measures the energy absorption capacity of concrete. Therefore, it is a property of composite material and its value depends not only on the volume, length and type of the fibre, but also on the characteristics on the matrix. The Tenacity Rate depends on the type, content and length of the fibres; matrix characteristics scarcely affect its value.*

*From the chart of values in point 3.1. , it is inferred that:*

*a) The higher the fibre content is, the higher the Tenacity (1/150) , Tenacity (15.5) values and Tenacity Rate are.*

*b) Short fibres about 10 mm in concrete do not tie/ fasten/hold it enough, therefore for equal percentage of fibre, concretes reinforced with 24 mm fibres reach higher Tenacity values and Tenacity rate.*

*c) Reinforcement behaviour in S-920, compared to S-900, is not well defined since in 1% and 10 mm Tenacity is lower than in S-900 with the same percentage and length, on the contrary for 2% and 24 mm; the values of both are very similar.*

*d) In low fibre percentages, 0,1 % or 0,2 %, there is only a slight increase of Tenacity.*

*4º) Resistance to impact is increased when adding fibres. The higher the fibre content is, the stronger the resistance is, and the longer the fibres are, the stronger the resistance to impact is Concretes reinforced with fibres S-900 have quite a better resistance than those reinforced with fibres S-920, resulting that the degree of resistance of concrete reinforced with 0,2 % and 24 mm length fibres is eight times higher than concrete without reinforcement, although the degree of resistance of same concrete reinforced with S-920, with same fibre length and percentage, is only four times higher*



(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://materconstrucc.revistas.csic.es

5º) La magnitud de la retracción en estado plástico es función de la dosificación, tipo de cemento y, en especial, del contenido de agua de amasado, debido a su efecto directo sobre la porosidad del material. La adición de las fibras puede hacer disminuir dichas magnitudes, dependiendo del tipo de fibras, longitud y porcentaje de las mismas.

Para el mismo tipo de fibra, cuanto mayor es su contenido, menor es su retracción. En los hormigones realizados con la fibra S-900, se obtienen valores medios del 22 % al 27 % para el 0,1 %; del 34 % al 54 % para el 0,2 %; y del 47 % al 60 % para el 0,3 %. Dependen estos valores de la longitud de la fibra, siendo la longitud de 10 mm la que da los valores mínimos, mientras que la de 24 mm corresponde a los valores máximos.

En los hormigones reforzados con la fibra S-900 **"SIN TRATAR"** y de una longitud de 24 mm, los valores de retracción disminuyen el 27 %, 54 % y 60 % para el 0,1 %, 0,2 % y 0,3 % que, comparándolos con los valores obtenidos en los hormigones reforzados con la S-940, son sensiblemente menores; por lo tanto, trabajan y unen más la matriz las fibras S-900 que las S-940 **"SIN TRATAR"**. La empresa COURTAULDS, fabricantes de las fibras SEKRIL, en sus estudios de investigación, han realizado a las S-940 un tratamiento, consiguiendo que al mezclarlas con los hormigones se obtengan unas dispersiones homogéneas y uniformes, sin las formaciones de **"erizos"**. A estas fibras **"tratadas"** se las ensayó a retracción, obteniéndose que el porcentaje de disminución de la retracción era mayor que el de las restantes fibras, siendo éste del 67 % para el 0,2 % y 24 mm de longitud.

## CONCLUSIONES

Como resumen de este estudio, se pueden indicar las siguientes conclusiones finales:

a) Las fibras, en porcentajes viables económicante, no incrementan la resistencia a flexotracción o tracción de los hormigones.

b) En porcentajes pequeños, y como elemento auxiliar, las fibras mejoran sensiblemente las resistencias a impacto, además de disminuir la retracción y evitar la formación de microfisuras, por lo que estas fibras, dentro del campo de la construcción, pueden ser utilizadas en los elementos prefabricados disminuyendo las pérdidas por roturas, además de obtener productos más uniformes y resistentes al impacto.

*5º) The importance/magnitude of the shrinkage in plastic state is a function of the dosage, the kind of cement and mostly of the water content in mixing, since they affect directly the material porosity. The addition of fibres can provoke a decrease of such magnitudes depending on type, length and percentage of the fibres.*

*For a similar kind of fibre, the bigger the volume of its content is, the smaller the retraction. In concretes made with fibre S-900, mean values from 22 to 27 % for 0,1 %; from 34 to 54 % for 0,2 %; and from 47 to 60 % for 0,3 %. These values depend on the length of the fibre; the 10 mm length fibres give the minimum values, while those 24 mm length give the maximum values.*

*In concretes reinforced with S-900 fibre "**WITHOUT TREATMENT**" and of 24 mm length, retraction values decrease 27 %, 54 % and 60 % for 0,1 %, 0,2 % and 0,3 %, which compared to values in concretes reinforced with S-900, they are noticeably smaller; therefore S-900 fibres work and bind better than those S-940 "**WITHOUT TREATMENT**". COURTAULDS Company, maker of SEKRIL fibres, has carried out a treatment on fibres S-940, which results, when mixing fibres and concrete, in homogeneous and uniform dispersion with no "**spikes**". The "**processed**" fibres were tested for shrinkage, resulting in a decrease of the shrinkage rate which is higher than in the rest of the fibres, that is 67 % for 0,2 % and 24 mm length.*

## *CONCLUSIONS*

*Summing up this study, the final conclusions are:*

*a) Practicable fibre rates from an economic standpoint does not increase concrete flexural and bending strength.*

*b) In low rates, and as an auxiliary element, fibres enhance resistance to impact, decrease shrinkage and avoid formation of micro-cracks, reason why these fibres can be used in prefabricated elements, within the construction field, to diminish losses by breakage, in addition of getting a more uniform and impact resistant make.*



(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://materconstrucc.revistas.csic.es

## BIBLIOGRAFÍA


(1) NORMA UNE 83. 509 - 88: Rotura por flexión: hormigones con fibras de acero y/o polipropileno.

(2) NORMA UNE 83. 510 85: Determinación del Indice de Tenacidad de resistencia a primera fisura: hormigones con fibras de acero y/o polipropileno.

(3) GUÍA TÉCNICA U.E.A.t.c. para la evaluación de la durabilidad de productos delgados en fibra-cemento (sin amianto) para aplicaciones exteriores (1991).

(4) D.J. HANNANT: Fibre-cement and fibre-concrete (1979).


* * *


*NOTA INFORMATIVA*

**LA FIRMA ULMA HORMIGÓN POLÍMERO RESULTA ADJUDICATARIA PARA REALIZAR TODO EL SISTEMA PREFABRICADO DE CANALIZACIÓN DE LA NUEVA PISTA DEL AEROPUERTO MADRID-BARAJAS.**

ULMA Hormigón Polímero

La firma española ULMA Hormigón Polímero ha resultado elegida para realizar todo el sistema prefabricado de canalización de la nueva pista del Aeropuerto Internacional Madrid-Barajas. Al igual que en la mayoría de los proyectos de gran envergadura, la adjudicación de este proyecto fue lograda mediante un concurso convocado entre las principales firmas internacionales del sector, habiendo demostrado que la calidad de los productos "made in spain", concretamente en este caso los ofertados por ULMA Hormigón Polímero, está a la altura de los más exigentes estándares europeos.

Son muchas las razones por las que, finalmente, la balanza se ha inclinado a favor de esta destacada firma, pionera de los sistemas prefabricados en Hormigón Polímero a nivel nacional. Una de ellas es que, dando por descontado las excelentes prestaciones que caracterizan a sus sistemas de canalización, ULMA Hormigón Polímero ha logrado desarrollar una solución específica que contribuye a optimizar tanto su puesta en obra como su posterior mantenimiento, adaptándose como nadie a los nuevos requisitos de la nueva pista. También hay que destacar la flexibilidad de servicio que puede aportar, gracias a su capacidad organizativa y a su proximidad de ubicación al proyecto. Y en cuanto a su política de precios, el hecho de que ULMA Hormigón Polímero sea la primera y única empresa española del sector con fabricación propia, le permite jugar con unos costes realmente competitivos, dando como resultado una inmejorable relación calidad-precio.





(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas http://materconstrucc.revistas.csic.es
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)