



# ANEJO 14

## Recomendaciones para la utilización de hormigón con fibras

### 1 Alcance

Las prescripciones y requisitos incluidos en el articulado de esta Instrucción se refieren a hormigones que no incorporan fibras en su masa. Por ello, se precisa establecer unas recomendaciones específicas y complementarias cuando, para mejorar algunas prestaciones ya sea en estado fresco, en primeras edades o en estado endurecido, se empleen fibras en el hormigón, las cuales pueden modificar algunas de sus propiedades. Quedan expresamente fuera de los objetivos de este Anejo:

- Los hormigones con polímeros (impregnados con polímeros, de polímeros o modificados con polímeros).
- Los hormigones fabricados con fibras distintas a las que constan en este Anejo. como aceptables para su uso en hormigones.
- Los hormigones en los que la distribución y / o orientación de las fibras es forzada intencionadamente.
- Los hormigones con dosificación en fibras superior al 1,5% en volumen

A los efectos de este Anejo, los hormigones reforzados con fibras (HRF), se definen como aquellos hormigones que incluyen en su composición fibras cortas, discretas y aleatoriamente distribuidas en su masa. El planteamiento es general para todo tipo de fibras, si bien hay que tener presente que la base fundamental del conocimiento de que se dispone es para fibras de acero, lo que se refleja, en cierta medida en el mismo.

La aplicación de estos hormigones puede ser con finalidad estructural o no estructural. El empleo de fibras en el hormigón tiene finalidad estructural cuando se utiliza su contribución en los cálculos relativos a alguno de los estados límite últimos o de servicio y su empleo puede implicar la sustitución parcial o total de armadura en algunas aplicaciones. Se considerará que las fibras no tienen función estructural, cuando se incluyan fibras en el hormigón con otros objetivos como la mejora de la resistencia al fuego o el control de la fisuración.

La adición de fibras es admisible en hormigones en masa, armados o pretensados, y se puede hacer con cualquiera de los diversos sistemas, sancionados por la práctica, de incorporación de las fibras al hormigón y, en el caso de que así no se hiciera, debe explicitarse el sistema utilizado.

En el Anejo se presenta una relación de referencias normativas nacionales e internacionales relacionadas con el tema de este Anejo y que pueden servir de apoyo o referencia.

En cada plano de la estructura deberá figurar un cuadro de tipificación de los hormigones incluyendo las condiciones adicionales para los hormigones con fibras que se señalan en el apartado 39.2. de la Instrucción.

La tipificación propuesta en este anejo refleja las especificaciones básicas que se exigen cuando las fibras tienen finalidad estructural. Además de las propiedades que quedan implícitas en la tipificación del hormigón según 39.2 de este anejo, el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares deberá incluir aquellas características adicionales exigidas al hormigón con fibras, así como los métodos de ensayo para su verificación y los



valores que deban alcanzar dichas características. En todo caso deberá indicarse una propuesta de dosificación con los siguientes datos:

- Dosificación de fibras en  $\text{kg/m}^3$
- Tipo, dimensiones (longitud, diámetro efectivo, esbeltez), forma y resistencia a tracción de la fibra (en  $\text{N/mm}^2$ ), en el caso de fibras con finalidad estructural.

Sin embargo la efectividad de las distintas fibras disponibles en el mercado puede ser muy variable, y las condiciones de disponibilidad del producto o las condiciones de la obra pueden recomendar una modificación de alguna de las características especificadas en el pliego ya sea de tipo, de dimensiones y, por ende, de la dosificación necesaria de fibras para obtener las mismas propiedades. Por ello, cuando la designación del hormigón sea por propiedades, la dosificación indicada en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares debe entenderse como orientativa. Antes del inicio del hormigonado el suministrador propondrá una dosificación de obra, y realizará los ensayos previos de acuerdo con el Anejo 22 de este anejo. A la vista de los resultados la Dirección facultativa obra aceptará la dosificación propuesta o exigirá nuevas propuestas.

## **2 Complementos al texto de esta Instrucción**

Seguidamente se indican, por referencia a los Títulos, Capítulos, Artículos y Apartados de esta Instrucción las recomendaciones para el empleo de hormigón con fibras.

### **TÍTULO 1.º BASES DE PROYECTO**

#### **CAPÍTULO III. Acciones**

##### **Artículo 10º Valores característicos de las acciones**

###### **10.2. Valores característicos de las acciones permanentes**

La densidad y las dosificaciones usuales de las fibras no llevan a modificar los valores del peso específico característico del hormigón con fibras respecto al hormigón sin ellas.

#### **CAPÍTULO IV. Materiales y geometría**

##### **Artículo 15º Materiales**

###### **15.3. Coeficientes parciales de seguridad de los materiales**

Para los Estados Limite Últimos y para los Estados Limite de Servicio se opta por mantener los mismos coeficientes parciales de seguridad dados en el articulado (Tabla 15.3), ya que se entiende que la incorporación de fibras en condiciones usuales no modifica las incertidumbres que conducen a la estimación de dichos valores.



## **TÍTULO 2.º ANÁLISIS ESTRUCTURAL**

### **CAPÍTULO V. Análisis estructural**

La incorporación de fibras modifica el comportamiento no lineal del hormigón estructural, especialmente en tracción, impidiendo la abertura y propagación de fisuras. Por ello, la aplicación del análisis no lineal puede ser especialmente recomendable en los casos en que las fibras constituyan una parte importante del refuerzo del hormigón.

Así mismo, dada la ductilidad que introduce la presencia de fibras, se consideran válidos los principios para la aplicación del método de análisis lineal con redistribución limitada y de los métodos de cálculo plástico, cuando se comprueben los requisitos para la aplicación los mismos especificados en el Artículo 19º.

Los momentos plásticos o últimos se obtendrán de acuerdo con el apartado 39.5 y, para placas macizas, se considerará que las líneas de rotura tienen suficiente capacidad de rotación si la profundidad de la fibra neutra en ELU de flexión simple es menor que 0,3 d. Las evaluaciones estructurales a estos efectos deben hacerse por medio de ensayos que representen las condiciones reales.

El empleo de fibras estructurales puede aumentar la anchura de las bielas de compresión, lo cual puede ser tenido en cuenta en los modelos de bielas y tirantes. Por consiguiente, la combinación de armadura convencional y fibras puede suponer una alternativa para reducir la cuantía de armadura convencional en regiones D donde se presente una alta densidad de armadura que dificulte el correcto hormigonado del elemento.

## **TÍTULO 3.º PROPIEDADES TECNOLÓGICAS DE LOS MATERIALES**

### **CAPÍTULO VI MATERIALES**

#### **Fibras. Definiciones**

Las fibras son elementos de corta longitud y pequeña sección que se incorporan a la masa del hormigón a fin de conferirle ciertas propiedades específicas.

De una manera general se pueden clasificar como fibras estructurales, aquellas que proporcionan una mayor energía de rotura al hormigón en masa (en el caso de las fibras estructurales, la contribución de las mismas puede ser considerada en el cálculo de la respuesta de la sección de hormigón), o como fibras no estructurales, a aquellas que sin considerar en el cálculo esta energía suponen una mejora ante determinadas propiedades como por ejemplo el control de la fisuración por retracción, incremento de la resistencia al fuego, abrasión, impacto y otros.

La características geométricas de las fibras (Longitud ( $l_f$ ), Diámetro equivalente ( $d_f$ ), Esbeltez ( $\lambda$ )), se establecerán de acuerdo con UNE 83500-1 y UNE 83500-2. Por otro lado, de acuerdo con su naturaleza las fibras se clasifican en:

- Fibras de acero
- Fibras poliméricas
- Otras fibras inorgánicas

La efectividad de las fibras puede valorarse por medio de la energía de rotura,



expresada en Julios (J), que se evaluará para hormigón moldeado mediante la norma UNE 83510. Alternativamente, al objeto de reducir la dispersión y los tiempos de ensayo, la el Autor del proyecto o, en su caso, Dirección Facultativa valorarán, bajo su responsabilidad, el empleo de otros procedimientos, como el ensayo Barcelona de doble punzonamiento, realizado sobre probeta cilíndrica de 15x15 cm.

## Fibras de acero

Estas fibras deberán ser conformes con UNE 83500-1 y, según el proceso de fabricación se clasifican en: trefiladas (Tipo 1), cortadas en láminas (Tipo II), extraídas por rascado en caliente (virutas de acero) (Tipo III) u otras (por ejemplo, fibras de acero fundidas) (Tipo IV). La forma de la fibra tiene una incidencia importante en las características adherentes de la fibra con el hormigón y puede ser muy variada: rectas, onduladas, corrugadas, conformadas en extremos de distintas formas, etc.

La longitud de la fibra ( $l_f$ ) se recomienda sea, como mínimo, 2 veces el tamaño del árido mayor. Es usual el empleo de longitudes de 2,5 a 3 veces el tamaño máximo de árido. Además, el diámetro de la tubería de bombeo exige que la longitud de la fibra sea inferior a 2/3 del diámetro del tubo. Sin embargo, la longitud de la fibra debe ser suficiente para dar una adherencia necesaria a la matriz y evitar arrancamientos con demasiada facilidad.

A igualdad de longitud, fibras de pequeño diámetro aumentan el número de ellas por unidad de peso y hacen más denso el entramado ó red de fibras. El espaciamiento entre fibras se reduce cuando la fibra es más fina, siendo más eficiente y permitiendo una mejor *redistribución* de la carga ó de los esfuerzos.

## Fibras poliméricas

Las fibras plásticas están formadas por un material polimérico (polipropileno, polietileno de alta densidad, aramida, alcohol de polivinilo, acrílico, nylon, poliéster) extrusionado y posteriormente cortado. Estas pueden ser adicionadas homogéneamente al hormigón, mortero o pasta. Se rigen por la norma UNE 83500-2 y, según el proceso de fabricación se clasifican en: monofilamentos extruidos (Tipo 1), láminas fibriladas (Tipo II).

Sus dimensiones pueden ser variables al igual que su diámetro y su formato:

Micro-fibras: < 0,30 mm diámetro

Macro-fibras:  $\geq$  0,30 mm diámetro

Las macro-fibras pueden colaborar estructuralmente, siendo su longitud variable (desde 20 mm a 60 mm), que debe guardar relación con el tamaño máximo del árido (relación de longitud 3:1 fibra: TM).

Las micro-fibras se emplean para reducir la fisuración por retracción plástica del hormigón, especialmente en pavimentos y soleras, pero no pueden asumir ninguna función estructural. También se utilizan para mejorar el comportamiento frente al fuego, siendo conveniente en este caso que el número de fibras por kg sea muy elevado.

Además de por sus características físico-químicas, las micro-fibras se caracterizan por su frecuencia de fibra, que indica el número de fibras presentes en 1 kg, y que depende de la longitud de fibra y muy especialmente de su diámetro.

## Otras fibras Inorgánicas

De este tipo de fibras, las que se incluyen en este Anejo son las fibras de vidrio, que en la actualidad tienen aplicación usual en el campo del hormigón. No se incorporan otras fibras que, aún existiendo, son usadas para otras aplicaciones fuera del campo del hormigón.

### Fibras de vidrio

Este tipo de fibras podrán emplearse siempre que se garantice un comportamiento adecuado durante la vida útil del elemento estructural, en relación con los problemas potenciales de deterioro de este tipo de fibras como consecuencia de la alcalinidad del medio.

Dado que los HRF pueden experimentar importantes reducciones de resistencia y tenacidad debido a la exposición al medio ambiente, se deberán tomar las medidas adecuadas tanto sobre la fibra como sobre la matriz cementícea para su protección. En este sentido, las fibras pueden presentarse con una capa protectora superficial de un material epoxídico que reduce la afinidad de las mismas con el hidróxido de calcio, proceso responsable de la fragilización del compuesto.

## Artículo 31º Hormigones

### 31.1 Composición

Cuando las fibras utilizadas sean metálicas, el ión cloruro total aportado por los componentes no excederá del 0,4% del peso del cemento.

### 31.2 Condiciones de calidad

Cuando se utilice fibras se incluirá entre las condiciones o características de calidad exigidas al hormigón en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares la longitud máxima de las fibras.

Cuando las fibras tengan función estructural se incluirá asimismo los valores de resistencia característica residual a tracción por flexión  $f_{R,1,k}$  y  $f_{R3,k}$  de acuerdo con lo especificado en el Artículo 39.

Cuando se utilice fibras con otras funciones se especificará los métodos para verificar la adecuación de las fibras a tal fin.

### 31.3 Características mecánicas

La resistencia del hormigón a flexotracción, a los efectos de esta Instrucción, se refiere a la resistencia de la unidad de producto o amasada y se obtiene a partir de los resultados de ensayo de rotura a flexotracción, en número igual o superior a tres, realizados sobre probetas prismáticas de ancho igual a 150 mm, altura igual a 150 mm y largo igual a 600 mm, de 28 días de edad, fabricadas, conservadas y ensayadas de acuerdo con UNE-EN 14651.

Cuando el elemento a diseñar tenga un canto inferior a 12,5 cm, o cuando el hormigón presente endurecimiento a flexión, con resistencia residual a flexotracción  $f_{R,1,d}$

superior la resistencia a tracción  $f_{ct,d}$ , se recomienda que las dimensiones de la probeta, y el método de preparación se adapten para simular el comportamiento real de la estructura, y el ensayo se realice en probetas no entalladas.

Para elementos estructurales que trabajen como placa, pueden utilizarse otros tipos de ensayos alternativos, siempre y cuando vengan contrastados por una campaña experimental concluyente. Cuando la desviación entre los resultados de una misma unidad de producto sobrepase ciertos límites debe realizarse una verificación del proceso seguido a fin de conceder representatividad a los mismos.

Al efecto de asegurar la homogeneidad de una misma unidad de producto, el recorrido relativo de un grupo de tres probetas (diferencia entre el mayor resultado y el menor, dividida por el valor medio de las tres), tomadas de la misma amasada, no podrá exceder el 35%.

Los criterios planteados en la Instrucción para obtener el valor de la resistencia a tracción  $f_{ct}$ , a partir de los resultados del ensayo de tracción indirecta son válidos siempre que se refieran al límite de proporcionalidad.

En solicitaciones de compresión, el diagrama tensión-deformación del hormigón con fibras no se modifica respecto al del articulado, ya que se puede considerar que la adición de las fibras no varía de forma significativa el comportamiento del hormigón en compresión.

Del ensayo propuesto en UNE-EN 14651 se obtiene el diagrama carga-abertura de fisura del hormigón (figura A.14.1). A partir de los valores de carga correspondiente al límite de proporcionalidad ( $F_L$ ) y a las aberturas de fisura 0,5 mm y 2,5 mm ( $F_1$  y  $F_3$  respectivamente), se obtiene el valor de resistencia a flexotracción ( $f_{ct,fl}$ ) y los valores de resistencia residual a flexotracción correspondientes:  $f_{R,1}$  y  $f_{R,3}$

El cálculo de los valores de resistencia a flexotracción y de resistencia residual a flexotracción según la citada norma UNE-EN 14651 se realiza asumiendo una distribución elástico lineal de tensiones en la sección de rotura.

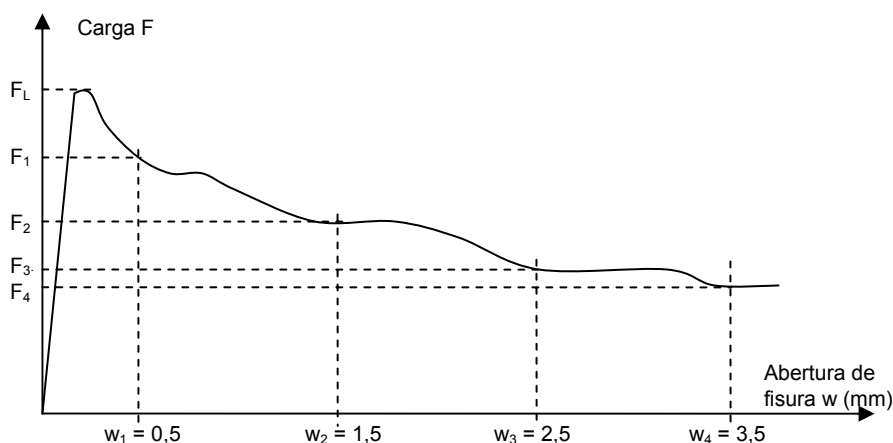


Figura A.14.1. Diagrama tipo carga apertura de fisuras

A partir de estos valores se determinará el diagrama de cálculo a tracción según lo indicado en el Artículo 39. También, se podrán incorporar otros diagramas que definan dichas ecuaciones constitutivas de forma directa siempre y cuando los resultados vengan avalados por campañas concluyentes de tipo experimental y bibliografía especializada.

### 31.4 Valor mínimo de la resistencia

Para que las fibras puedan ser consideradas con función estructural la resistencia



característica residual a tracción por flexión  $f_{R,1,k}$  no será inferior al 40 % del límite de proporcionalidad y  $f_{R,3,k}$  no será inferior al 20 % del límite de proporcionalidad (véase 39.1).

### **31.5. Docilidad del hormigón**

El empleo de fibras en hormigón puede provocar una pérdida de docilidad, cuya magnitud será función del tipo y longitud de la fibra empleada así como de la cuantía de fibras dispuesta. Este factor debe considerarse especialmente al solicitar la consistencia del hormigón en el caso de adición de fibras en obra.

En el caso de hormigones con fibras, se recomienda que la consistencia del hormigón no sea inferior a 9 cm de asiento en el cono de Abrams (si bien depende del tipo de aplicación y sistema de puesta en obra). En este caso, el ensayo del cono de Abrams es poco adecuado y se recomienda ensayar la consistencia de acuerdo con los ensayos propuestos en UNE EN 12350-3 o UNE 83503.

## **TÍTULO 4.º DURABILIDAD**

### **CAPÍTULO VII DURABILIDAD**

#### **Artículo 37º Durabilidad del hormigón y de las armaduras**

##### **37.2.4 Recubrimientos**

El empleo de hormigón reforzado con fibras con función estructural hace innecesaria la utilización de la malla de reparto, que exige la Instrucción, a situar en medio de los recubrimientos superiores a 50 mm.

##### **37.2.8 Empleo de hormigón reforzado con fibras (este apartado no se corresponde con ninguno del articulado)**

De forma general, se podrá emplear hormigón reforzado con fibras en todas las clases de exposición. En las clases generales de exposición IIIb, IIIc y IV y en la clase específica F, deberá justificarse el uso mediante pruebas experimentales en el caso del empleo de fibras de acero al carbono. Una alternativa viable es el empleo de aceros inoxidables, galvanizados o resistentes a la corrosión.

En caso de clases específicas de exposición por ataques químicos al hormigón -Qa, Qb y Qc-, las fibras de acero y sintéticas podrán emplearse previo estudio justificativo de la no reactividad de los agentes químicos con dichos materiales distintos del hormigón.

##### **37.3.7 Resistencia del hormigón frente a la erosión**

En general, el empleo de fibras de acero mejora la resistencia a la erosión.



## TÍTULO 5.º CÁLCULO

### CAPÍTULO VIII DATOS DE LOS MATERIALES PARA EL PROYECTO

#### Artículo 39º Características del hormigón

##### 39.2. Tipificación de los hormigones

Los hormigones se tipificarán de acuerdo con el siguiente formato (lo que deberá reflejarse en los planos de proyecto y en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares del proyecto):

$$T - R / f - R1 - R3 / C / TM - TF / A$$

donde:

- T* Indicativo que será HMF en el caso de hormigón en masa, HAF en el caso de hormigón armado y HPF en el caso de hormigón pretensado
- R* Resistencia característica a compresión especificada, en N/mm<sup>2</sup>
- f* Indicativo del tipo de fibras que será A en el caso de fibras de acero, P en el caso de fibras poliméricas y V en el caso de fibra de Vidrio
- R1, R3* Resistencia característica residual a flexotracción especificada  $f_{R,1,k}$  y  $f_{R,3,k}$ , en N/mm<sup>2</sup>
- C* Letra inicial del tipo de consistencia, tal y como se define en 31.5
- TM* Tamaño máximo del árido en milímetros, definido en 28.2
- TF* Longitud máxima de la fibra, en mm
- A* Designación del ambiente, de acuerdo con 8.2.1

En cuanto a las resistencias residuales a flexotracción características especificadas, se recomienda utilizar la siguiente serie siempre que supere el valor mínimo exigido en 30.5:

$$1,0 - 1,5 - 2,0 - 2,5 - 3,0 - 3,5 - 4,0 - 4,5 - 5,0 - \dots$$

En la cual las cifras indican las resistencias residuales a flexotracción características especificadas del hormigón a 28 días, expresada en N/mm<sup>2</sup>.

Cuando las fibras no tengan función estructural los Indicativos R1 y R3 deberán sustituirse por: "CR" en el caso fibras para control de retracción, "RF" en el caso de fibras para mejorar la resistencia al fuego y "O" en otros casos.

En el caso de hormigones designados por dosificación se recomienda el siguiente formato:

$$T - D - G / f / C / TM / A$$

donde G es el contenido de fibra, en kg/m<sup>3</sup> de hormigón, prescrito por el peticionario. El resto de los parámetros tiene el significado que se indica en el Articulado. En este caso deberá garantizarse que el tipo, dimensiones y características de las fibras coincidan con los indicados en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares



### 39.4 Resistencia de cálculo del hormigón

Se considerará como resistencias residuales a flexotracción de cálculo del hormigón  $f_{R,1,d}$  y  $f_{R,3,d}$  el valor de la resistencia característica de proyecto  $f_{R,1,k}$  y  $f_{R,3,k}$  correspondiente, dividido por un coeficiente parcial de seguridad  $\gamma_c$ , que adopta los valores indicados en el Artículo 15°. Es posible trabajar con resistencias residuales a tracción, siempre que se demuestre la validez experimental del planteamiento, pudiéndose buscar las correlaciones con los resultados en flexión.

### 39.5. Diagrama tensión - deformación en tracción de cálculo del hormigón con fibras

Para el cálculo de secciones sometidas a solicitaciones normales, en los Estados Límite Últimos se adoptará uno de los diagramas siguientes:

- Diagrama rectangular: De forma general se aplicará el diagrama de la figura A.14.2.a caracterizado por la resistencia residual a tracción de cálculo  $f_{ctR,d}$

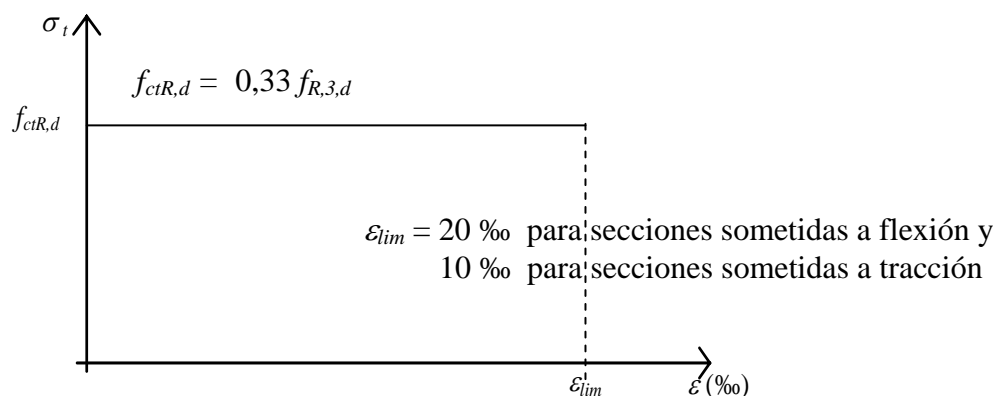


Figura A.14.2. Diagrama de cálculo rectangular.

- Diagrama multilineal: Para aplicaciones que exigen un cálculo ajustado, se propone el diagrama tensión ( $\sigma$ )- deformación ( $\varepsilon$ ) de la figura A.14.3, definido por una resistencia a tracción de cálculo  $f_{ctd}$  y de las resistencias residuales a tracción de cálculo:  $f_{ctR1,d}$ ,  $f_{ctR3,d}$ , asociadas a sendas deformaciones  $\varepsilon_1$  y  $\varepsilon_2$  en el régimen de post-pico, donde:

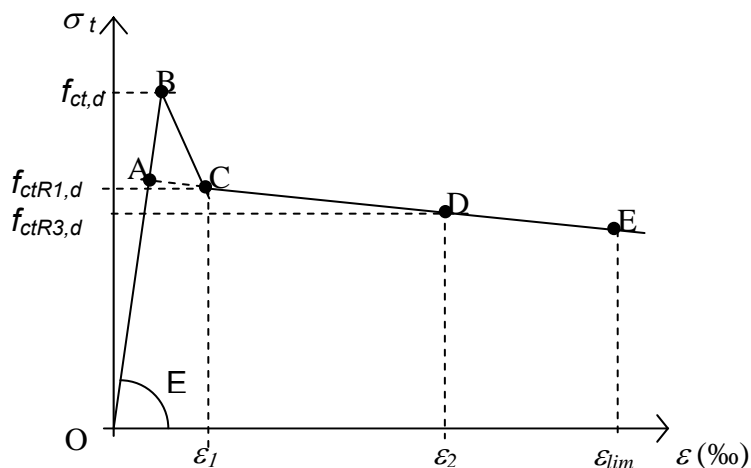


Figura A.14.3. Diagrama de cálculo multilineal.

donde:

$f_L$  Carga correspondiente al límite de proporcionalidad

$$f_{ct,d} = 0,6 f_{ct,fl,d}$$

$$f_{ctR1,d} = 0,45 f_{R,1,d}$$

$$f_{ctR3,d} = k_1 (0,5 f_{R,3,d} - 0,2 f_{R,1,d})$$

$k_1 = 1$  para secciones sometidas a flexión y  $0,7$  para secciones sometidas a tracción

$$\varepsilon_1 = 0,1 + 1000 \cdot f_{ct,d} / E_{c,0}$$

$$\varepsilon_2 = 2,5 / l_{cs}$$

$\varepsilon_{lim} = 20 ‰$  para secciones sometidas a flexión y  $10 ‰$  para secciones sometidas a tracción

$l_{cs}$  Longitud crítica (en metros) del elemento calculado que puede determinarse por la expresión

$$l_{cs} = \min (s_m, h - x)$$

siendo:  $x$  = profundidad del eje neutro

$h-x$  = distancia del eje neutro al extremo más traccionado

$s_m$  = distancia media entre fisuras. Salvo que se disponga de datos

justificados se podrá utilizar para  $s_m$  los valores de la tabla A.14.1



Tabla A.14.1. Valores de referencia para  $s_m$

Elementos sin armadura tradicional, o poco armados y hormigón de fibras con comportamiento a flexión con ablandamiento ( $f_{R,1} < f_L$ y $f_{R,2} < f_L$ )	$H$ (canto de la pieza)
Hormigón de fibras armado, con $f_{R,3,d} < 2 \text{ kN/mm}^2$	$s_m$ calculado de acuerdo con 49.2.4
Elementos con hormigón de fibras con comportamiento a flexión con endurecimiento ( $f_{R,1} > f_L$ y/o $f_{R,2} > f_L$ )	Se determinará de forma experimental según lo indicado en 31.3.
Otros casos	Se consultará la bibliografía especializada

Nota: De forma simplificada, se considerarán elementos poco armados aquellos cuya cuantía geométrica de armadura tradicional a tracción sea inferior al uno por mil

El efecto del pico A-B-C puede ser importante cuando se aplique un análisis no lineal, especialmente para pequeñas deformaciones. En otros casos, para el cálculo en rotura puede utilizarse el diagrama bilineal simplificado, formado por las rectas correspondientes al tramo elástico O-A y la prolongación de la recta C-E hasta el punto A, e incluso considerando un comportamiento rígido con  $E = \infty$ .

Se aceptarán otros diagramas de cálculo siempre que los resultados con ellos obtenidos concuerden de manera satisfactoria con los correspondientes a los del diagrama rectangular indicado en la figura A.14.2, o queden del lado de la seguridad.

### 39.8. Fluencia del hormigón

En el empleo de fibras sintéticas para uso estructural, el fabricante deberá aportar el coeficiente de fluencia del hormigón, mediante contrastación experimental de los resultados.

### 39.9. Coeficiente de Poisson

Las fibras individualmente, o como grupo, deberán tener un coeficiente de Poisson similar al del hormigón si se quiere tener en cuenta el efecto red a nivel estructural.

## CAPÍTULO X CÁLCULOS RELATIVOS A LOS ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS

### Artículo 42.º Estado Límite de Agotamiento frente a solicitaciones normales

#### 42.1.2 Hipótesis básicas

El cálculo de la capacidad resistente última de las secciones en las que las fibras desempeñen función estructural se efectuará considerando como diagrama de cálculo del

hormigón a tracción alguno de los que se definen en 39.5.

### 42.1.3 Dominios de deformación

Se consideran los mismos que para una estructura con hormigón convencional

### 42.2.2 Efecto de confinamiento del hormigón

Las fibras con función estructural proporcionan al hormigón un efecto confinamiento similar al de las armaduras transversales. Para cuantificar el efecto del confinamiento producido por las fibras debe consultarse la bibliografía especializada.

### 42.3.2. Flexión simple o compuesta

En aquellos casos en que se utilice fibras con función estructural, solas o en combinación con armadura tradicional, se deberá cumplir la siguiente limitación:

$$A_p f_{pd} \frac{d_p}{d_s} + A_s f_{yd} + \frac{z_f}{z} A_{ct} f_{ctR,d} \geq \frac{W_1}{z} f_{cm} + \frac{P}{z} \left( \frac{W_1}{A} + e \right)$$

donde:

$z_f A_{ct} f_{ctR,d}$	Contribución de las fibras
$z_f$	Brazo mecánico de la tracción del hormigón
$A_{ct}$	Área traccionada de hormigón
$f_{ctR,d}$	Resistencia residual a tracción de cálculo en el diagrama rectangular

En el caso de secciones rectangulares con o sin armadura pasiva puede emplearse la siguiente relación simplificada, en la que no se precisa determinar el área traccionada de hormigón.

$$A_s f_{yd} + 0,4 A_c f_{ctR,d} \geq 0,04 A_c f_{cd}$$

Esta limitación se justifica como garantía para evitar la rotura frágil del hormigón. La acción de las armaduras tradicionales y de las fibras es complementaria en este aspecto, y por tanto la limitación constituye una exigencia de contenido mínimo en fibras para elementos sin armaduras tradicionales, y la posibilidad de reducir, e incluso eliminar, la exigencia de armaduras tradicionales mínimas en elementos con contenido suficiente de fibras estructurales. Esta limitación no rige para losas apoyadas en el terreno.

### 42.3.4 Tracción simple o compuesta

En el caso de secciones de hormigón sometidas a tracción simple o compuesta, provistas de dos armaduras principales y fibras, deberá cumplirse la siguiente limitación:

$$A_p f_{pd} + A_s f_{yd} + A_c f_{ctR,d} \geq 0,20 A_c f_{cd}$$



### 42.3.5 Cuantías geométricas mínimas

Los valores de la tabla 42.3.5 relativos a las cuantías geométricas mínimas que, en cualquier caso, deben disponerse en los diferentes tipos de elementos estructurales, en función del acero utilizado, se podrán reducir, en el caso de hormigones con fibras, en una cuantía mecánica equivalente:

$$A_c f_{ctR, d}$$

donde:  $A_c$  y  $f_{ctR, d}$  tienen el significado dado anteriormente

## Artículo 44.º Estado Límite de Agotamiento frente a cortante

### 44.1. Consideraciones generales

La contribución de las fibras se deberá tener en cuenta en la capacidad resistente de los tirantes.

#### **44.2.3.2.3. Piezas de hormigón reforzado con fibras sin y con armadura de cortante (este apartado no se corresponde con ninguno del articulado)**

Cuando existan barras longitudinales dobladas que sean tenidas en cuenta en el cálculo como armadura de cortante, al menos un tercio de la resistencia a cortante deberá ser provista por la contribución de las fibras de acero o en su caso por la contribución conjunta de las fibras de acero y estribos verticales. En todo caso, la cuantía mínima de la armadura a cortante está establecida y se dispondrá tal como lo marca el punto 44.2.3.4.1 de la presente Instrucción.

El esfuerzo cortante de agotamiento por tracción en el alma vale:

$$V_{u2} = V_{cu} + V_{su} + V_{fu}$$

donde:

$V_{cu}$  Contribución del hormigón a la resistencia a esfuerzo cortante dado en el punto 44.2.3.1

$V_{su}$  Contribución de la armadura transversal de alma a la resistencia a esfuerzo cortante. Ídem 44.2.3.2.2.

$V_{fu}$  Contribución de las fibras de acero a la resistencia a esfuerzo cortante.

$$V_{fu} = 0,7 \xi \tau_{fd} b_0 d$$

donde:

$$\xi = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \quad \text{con } d \text{ en (mm) y } \xi \leq 2 \text{ (Ídem 44.2.3.2.1)}$$

$\tau_{fd}$  Valor de cálculo del incremento de la resistencia a cortante debido a las

fibras, tomando el valor:

$$\tau_{fd} = 0,5 f_{ctR,d} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

En el caso de secciones en T, se podría tener en cuenta la contribución de las alas a través de un coeficiente  $k_f$  multiplicador en la expresión de  $V_{fu}$ . Este coeficiente puede obtenerse mediante la siguiente expresión:

$$k_f = 1 + n \cdot \left[ \frac{b_f}{b_0} \right] \cdot \left[ \frac{h_f}{d} \right] \text{ con } k_f \leq 1,5$$

donde:

$h_f$  Altura de las alas en mm

$b_f$  Ancho de las alas en mm

$b_0$  Ancho del alma en mm

$$n = \frac{b_f - b_w}{h_f} \leq 3 \quad \text{y} \quad n \leq \frac{3 \cdot b_w}{h_f}$$

#### 44.2.3.4.1 Armaduras transversales

La cuantía mínima de refuerzo a cortante, ya sea en forma de Hormigón Reforzado por Fibras de acero y/o estribos verticales se verifica siempre que se cumpla la relación:

$$V_{su} + V_{fu} \geq \frac{f_{ct,m}}{7,5} b_0 d$$

#### 44.2.3.4.2 Armaduras longitudinales

En el caso de estructuras de hormigón reforzado con fibras con función estructural, en lugar de  $V_{su}$  deberá considerarse ( $V_{su} + V_{fu}$ ) en las expresiones del articulado.

#### 44.2.3.5 Rasante entre alas y alma de una viga

Experimentalmente se ha comprobado que las fibras con función estructural pueden contribuir de forma significativa a resistir el esfuerzo rasante ala-alma. Para considerar esta contribución deberá basarse en campañas experimentales concluyentes o en publicaciones científicas avaladas.

### Artículo 46º Estado Límite de Agotamiento frente a punzonamiento

#### 46.6 Losas de hormigón reforzado con fibras (este apartado no se corresponde con ninguno del articulado)

Las fibras pueden mejorar la resistencia a punzonamiento. Una primera aproximación es considerar su contribución a partir de una tensión resistente en la superficie crítica equivalente a:



$$\tau_{fd} = 0,5 f_{ctR,d} \quad (\text{N/mm}^2)$$

no obstante este valor puede ser significativamente mayor, debiéndose demostrar experimentalmente si se quiere utilizar.

## **Artículo 47.º Estado Límite de Agotamiento por esfuerzo rasante en juntas entre hormigones**

### **47.3 Disposiciones relativas a las armaduras**

Sólo se considerará que las fibras contribuyen a la resistencia al deslizamiento cuando se trate de juntas encastilladas transversalmente donde las dimensiones de las llaves sean comparables a la de la propia fibra.

## **TÍTULO 7.º EJECUCIÓN**

### **CAPÍTULO XIII EJECUCIÓN**

#### **Artículo 69º Procesos de elaboración, armado y montaje de armaduras**

##### **69.5.1. Anclaje de las armaduras pasivas**

###### **69.5.1.1. Generalidades**

Las fibras mejoran las características de anclaje, en el caso de empleo conjunto con armaduras pasivas y activas, lo cual puede ser utilizado en los cálculos de este artículo siempre que vengán avalados por ensayos experimentales que así lo justifiquen.

#### **Artículo 71º Elaboración y puesta en obra del hormigón**

##### **71.3 Fabricación del hormigón**

###### **71.3.2. Dosificación de materiales componentes**

###### **71.3.2.4. Agua**

El aumento de la consistencia debido al uso de las fibras debe ser compensado siempre con la adición de aditivos reductores de agua, sin modificar la dosificación prevista de agua.

###### **71.3.2.7. Fibras (este apartado no se corresponde con ninguno del articulado)**

La efectividad de los distintos tipos de fibras puede variar mucho, por ello se recomienda designar el hormigón por propiedades, y definir el tipo y dosificación de fibras en los ensayos previos. Si bien no se especifica un contenido mínimo en fibras, cuando se utilice fibras de acero con función estructural no es recomendable utilizar dosificaciones inferiores a 20 kg/m<sup>3</sup> de hormigón.



La selección del tipo y dosificación de las fibras dependerá de su efectividad y de su influencia en la consistencia del hormigón. La longitud máxima cumplirá las condiciones estipuladas en este Anejo. El aumento de la esbeltez de las fibras y el empleo de altas dosificaciones conlleva un aumento de su eficiencia mecánica, pero puede provocar un descenso de la consistencia y un mayor riesgo de formación de bolas de fibras que se segregan del hormigón (erizos).

El límite superior del contenido en fibras se fija en el 1,5% en volumen del hormigón. El empleo de dosificaciones muy elevadas exige modificar sensiblemente la estructura granular del hormigón. Para estos casos se recomienda la consulta de bibliografía especializada.

Se tendrá en cuenta lo previsto en el Capítulo de materiales de este Anejo. La dosificación de las fibras se realizará en peso.

Cuando se utilicen, las fibras se dosificarán en peso, empleando básculas y escalas distintas de las utilizadas para los áridos. En el caso de empleo de dosificadores automáticos, los mismos deberán estar tarados con la frecuencia de determine el fabricante. La tolerancia en peso de fibras será del  $\pm 3$  por 100.

#### **71.2.4 Equipos de amasado**

La comprobación de la homogeneidad de la mezcla producida por una amasadora fija o móvil, deberá incluir la verificación de que la diferencia máxima tolerada entre los resultados de contenido en fibras obtenido según norma UNE 83512-1 1 o 83512-2 de dos muestras tomadas de la descarga del hormigón (1/4 y 3/4 de la descarga) sea inferior al 10%.

#### **71.3.3. Amasado del hormigón**

El amasado es una fase crítica de los hormigones con fibras por el riesgo de enredo de las fibras formando erizos. Este riesgo se reduce con una buena dosificación con suficiente contenido de árido fino, pero aumenta con un transporte excesivamente largo y especialmente cuando el contenido en fibras es elevado y éstas son muy esbeltas. El orden de llenado también puede ser decisivo. Como norma general las fibras se incorporarán junto con los áridos, preferentemente, el árido grueso al inicio del amasado, desaconsejándose como primer componente de la mezcla.

En el caso de fibras de acero, cuando se prevea un transporte largo puede plantearse la adición de las fibras en obra. Para ello se debe prever un hormigón suficientemente fluido para facilitar el camino de las fibras hasta el fondo de la cuba, y disponer de un sistema de dosificación en obra que garantice la precisión indicada en 71.2.3. El vertido de las fibras se debe realizar lentamente (entre 20 y 60 kg por minuto) con la cuba girando a su máxima velocidad hasta garantizar la distribución homogénea de las fibras en la masa del hormigón.

#### **71.3.4 Designación y características**

El hormigón fabricado en central podrá designarse por propiedades o por dosificación. En ambos casos, para el hormigón de fibras, deberá especificarse, como mínimo:

- Material que constituye las fibras, y su longitud máxima
- En caso de fibras con función estructural, las resistencias residuales a tracción por





- flexión  $f_{R,1,k}$  y  $f_{R,3,k}$  características especificadas, en N/mm<sup>2</sup>
- En caso de fibras sin función estructural, las funciones de las fibras o las características de éstas que garantizan su efectividad para ese fin.

### **71.4.2 Suministro del hormigón**

En la hoja de suministro deberán figurar los siguientes datos:

- Especificación del hormigón: Designación de acuerdo con el apartado 39.2.
- Material, tipo, dimensiones (longitud, características de la sección y diámetro equivalente, esbeltez), características de las formas (conformadas en extremos, onduladas, etc.) de las fibras.
- Contenido de fibras en kilos por metro cúbico (kg/m<sup>3</sup>) de hormigón, con una tolerancia de  $\pm 3$  %.

La relación de las características de las fibras podrá ser sustituida por una referencia a la designación comercial completa de las mismas, y soportada por una ficha técnica previamente aceptada por la Dirección Facultativa y disponible en el libro de obra.

## **71.5 Puesta en obra del hormigón**

### **71.5.1 Vertido y colocación del hormigón**

El vertido y colocación debe realizarse de modo que no precise transporte adicional del hormigón en obra. Debe evitarse interrupciones del hormigonado ya que éstas podrían ocasionar discontinuidades en la distribución de las fibras.

Cuando la colocación en obra se realiza mediante tolva, el diámetro de la boca de descarga debe ser superior a 30 cm para facilitar el vertido.

### **71.5.2 Compactación del hormigón**

Debido a que el uso de fibras reduce la docilidad del hormigón, se necesitará una mayor energía de compactación. Sin embargo la respuesta a la vibración del hormigón de fibras es mejor que la de un hormigón tradicional por lo que para un mismo asiento en el cono de Abrams se requiere menor tiempo de vibrado.

La compactación origina una orientación preferencial de las fibras. En general éstas tienden a colocarse paralelas a la superficie encofrada, especialmente si se aplica vibradores de superficie. Este efecto es sólo local pero puede ser importante en elementos de poco espesor.

El uso de vibradores internos puede generar zonas con exceso de pasta y pocas fibras en la zona donde se ha dispuesto el vibrador, así como cierta orientación en el sentido tangencial al diámetro externo del vibrador



## **TÍTULO 8.º CONTROL**

### **CAPÍTULO XVI CONTROL DE LA CONFORMIDAD DE LOS PRODUCTOS**

#### **Artículo 85º Criterios específicos para la comprobación de la conformidad de los materiales componentes del hormigón**

##### **85.6 Otros componentes del hormigón (este apartado no se corresponde con ninguno del articulado)**

###### **85.6.1 Especificaciones (este apartado no se corresponde con ninguno del articulado)**

Son las de los Artículos 29 y 30º más las que pueda contener el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares.

###### **85.6.2 Ensayos. (este apartado no se corresponde con ninguno del articulado)**

- Antes de comenzar la obra se comprobará el efecto de las fibras mediante los ensayos previos del hormigón citados en el Artículo 86º. Como consecuencia de lo anterior, se seleccionarán las marcas, tipos y dosificación de fibras admisibles en la obra. La continuidad de la composición y de las características será garantizada por el fabricante correspondiente.
- Durante la ejecución de la obra se vigilará que las fibras utilizadas sean precisamente los aceptados según el párrafo anterior.
- El director de obra, cuando lo considere necesario en la ejecución de la obra, podrá requerir la comprobación de las condiciones exigidas a las fibras.

###### **85.6.3 Criterios de aceptación o rechazo**

El incumplimiento de alguna de las especificaciones será condición suficiente para calificar las fibras como no aptas para los hormigones.

Cualquier posible modificación de la marca, el tipo o la dosificación de las fibras que se vaya a utilizar, respecto a lo aceptado en los ensayos previos al comienzo de la obra, implicará su no utilización, hasta que tras la realización con dichas modificaciones de los ensayos previstos en 81.4.2 la dirección facultativa autorice su aceptación y empleo en la obra.

#### **Artículo 86º Control del hormigón**

El control de la calidad del hormigón de fibras incluirá, además del control especificado en el articulado, el del tipo y contenido de fibras, y en caso de fibras con función estructural, el de su resistencia residual según el método que establezca el Pliego.

##### **86.1 Criterios generales para el control de la conformidad de un hormigón**

Cuando las fibras tengan función estructural los ensayos incluirán, además de los



especificados en el articulado, el ensayo de tres probetas por cada amasada utilizada para control de acuerdo con UNE-EN 14651 para determinar los valores de la resistencia residual a flexotracción  $f_{R,1,m}$  y  $f_{R,3,m}$  a los 28 días de edad. En cada amasada se determinará también el contenido en fibras según UNE 83512-1 o UNE 83512-2.

Cuando de acuerdo con lo especificado en 30.3, se seleccionen otros tipos de ensayos alternativos para el control de la resistencia residual a flexotracción del hormigón, estos deberán venir contrastados por una campaña experimental concluyente. La Dirección Facultativa fijará previamente los valores de referencia a obtener durante los ensayos y los criterios de aceptación y rechazo.

De acuerdo con lo indicado en la parte de materiales de este Anejo, la Dirección Facultativa podrá valorar, bajo su responsabilidad, el empleo de otros procedimientos que faciliten el control, como puede ser el caso del ensayo Barcelona de doble punzonamiento, realizado sobre probeta cilíndrica de 15x15 cm

### **86.3 Realización de los ensayos**

En caso de hormigones de fibras de consistencia inferior a 9 cm de asiento en el cono de Abrams se recomienda utilizar como método de control de la consistencia otros métodos como el Consistómetro Vb de acuerdo con EN 12350-3 o el cono invertido de acuerdo con UNE 83503.

#### **86.3.2 Ensayos de resistencia del hormigón**

Antes del comienzo del hormigonado es necesaria la realización de ensayos previos o ensayos característicos, los cuales se describen en los Artículos 86º y 87º respectivamente.

Cuando exista experiencia, bien documentada, y suficiente tanto en materiales, incluido el tipo y marca comercial de las fibras previstas, como en dosificación y medios (por ejemplo las centrales de hormigón preparado), podrán realizarse únicamente los ensayos de control.

#### **86.5.5 Control de la resistencia del hormigón al 100 por 100**

Los criterios de definición de lotes coincidirán con lo especificado en el articulado.

El control de la resistencia residual a flexotracción según UNE-EN 14651 se realizará sobre 2 amasadas por lote. De estas amasadas se hará el control del contenido en fibras según UNE 83512-1 o UNE 83512-2.

Cuando el resultado del control de contenido en fibras en una amasada del lote fuera inferior en un 10 % al valor estipulado, se ampliará el control de resistencia residual a flexotracción a todas las amasadas sobre las que se tome muestras para determinar la resistencia a compresión.

El análisis de resultados y los estimadores a emplear para obtener los valores característicos correspondientes a partir de los resultados de los ensayos serán los mismos que los expuestos en el articulado para la resistencia a compresión.

#### **86.5.6 Control indirecto de la resistencia del hormigón**

No se permite la aplicación de este tipo de control para los hormigones de fibras con función estructural.

## 86.7 Decisiones derivadas del control

Cuando en un lote de obra sometida a control de resistencia, sea  $f_{R,j,est} \geq f_{R,j,k}$  tal lote se aceptará.

Si resultase  $f_{R,j,est} < f_{R,j,k}$ , a falta de una explícita previsión del caso en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares de la obra y sin perjuicio de las sanciones contractuales previstas (ver 4.4), se procederá como sigue:

- Si  $f_{R,j,est} \geq 0,9 f_{R,j,k}$ , el lote se aceptará.
- Si  $f_{R,j,est} < 0,9 f_{R,j,k}$ , se procederá a realizar, por decisión de la Dirección Facultativa o a petición de cualquiera de las partes, los estudios o ensayos complementarios pertinentes.

Si se detectará alguna variación en el aspecto, dimensiones o forma de las fibras se deberá volver a realizar los ensayos previos.

## 86.8. Ensayos de información complementaria del hormigón

La extracción de testigos, realizada de conformidad con lo indicado en el Artículo 101º, conduce a probetas cilíndricas sobre las que no puede aplicarse los ensayos de referencia para la determinación de las características mecánicas a flexotracción del hormigón de fibras. Dado que esta verificación no podrá realizarse, puede ser sustituidos por otros ensayos que permitan estimar la tenacidad del hormigón como, por ejemplo, el ensayo Barcelona de doble punzonamiento.

## CAPÍTULO XVII CONTROL DE LA EJECUCIÓN

### Artículo 92º Criterios generales para el control de la ejecución

En la tabla 92.5 se incluirán las siguientes unidades de inspección, específicas de los hormigones de fibras:

- Tipos de fibras empleados tras el control de contenido en fibras
- Condiciones de almacenamiento de las fibras
- Método de añadir las fibras a la mezcla

Los tamaños máximos de estas unidades de inspección anteriores se establecerán en el correspondiente proyecto, en función de las características de la obra.

## A 22. Ensayos previos y característicos del hormigón

### **A22.1 Ensayos previos**

En el caso de hormigones con fibras los ensayos previos toman especial importancia para la definición de las fibras a emplear y de su dosificación.

Cuando las fibras tengan función estructural los ensayos previos incluirán la fabricación de al menos cuatro series de probetas procedentes de amasadas distintas, de seis probetas cada una para ensayo a los 28 días de edad, por cada dosificación que se desee establecer, y se operará de acuerdo con UNE-EN 14651 para determinar los valores medios de la resistencia residual a flexotracción:

$$f_{R,1,m} \text{ y } f_{R,3,m}$$

Para definir los valores de resistencia a obtener en los ensayos previos, cuando no se conozca el valor del coeficiente de variación de este ensayo, a título meramente informativo, puede suponerse que:

$$f_{R,j,k} = 0,7 f_{R,j,m}$$

### **A22. 2 Ensayos característicos de resistencia**

Cuando las fibras tengan función estructural los ensayos incluirán, además de los especificados en el articulado, el ensayo de tres probetas por amasada de acuerdo con UNE-EN 14651 para determinar los valores de la resistencia residual a flexotracción  $f_{R,1,m}$  y  $f_{R,3,m}$  a los 28 días de edad. En cada amasada de este tipo se determinará también el contenido en fibras según UNE 83512-1 ó UNE 83512-2

El análisis de resultados y los estimadores a emplear para obtener los valores característicos correspondientes a partir de los resultados de los ensayos serán los mismos expuestos en el articulado para la resistencia a compresión.