

Hormigones fibrosos

Antonio García Valcarce. Dr. Ingeniero de Montes

Hormigón tradicional al que se incorpora una cantidad dada de fibras. Material básico, nuevo, formado por una mezcla homogénea de cemento, áridos, aditivos, agua y fibras, convenientemente repartidas, pero con orientaciones aleatorias.

La adición de fibras puede hacerse mediante una máquina integradora de fibras que las separa y lanza a la mezcla; mezcla manual con los áridos antes del amasado. Las plantas de hormigón comienzan a suministrar hormigón fibroso preparado.

La ejecución de un hormigón fibroso requiere:

- Buena calidad del hormigón fluidificado conforme a las prescripciones del fabricante y normativa de dosificación, amasado y transporte.

- Buena repartición de las fibras en la mezcla para evitar las concentraciones denominadas erizos.

La composición del hormigón puede establecerse según dos criterios:

- Máximo rendimiento de las fibras. Hormigones con tamaño máximo de árido 10 mm y dosificación de cemento entre 500 y 550 kg/m³. No se trata de un hormigón tradicional normal. Se le exige unos condicionantes especiales a los áridos y a la dosificación de cemento.

- Hormigón tradicional con dosificación y fabricación normales, en cuyo caso no se reúnen las condiciones óptimas para las fibras. Este criterio es el normalmente empleado.

La tecnología del hormigón de fibras exige, pues, métodos de formulación y procedimientos de amasado y puesta en obra para optimizar globalmente sus características. Es evidente que esta metodología será diferente en el caso de hormigones fibrosos proyectados.

ANTECEDENTES Y SU EVOLUCIÓN

La utilización de fibras para mejorar las características mecánicas de un material no es una técnica nueva.

Los adobes de barro, secados o cocidos al sol, armados con paja se utilizaban ya en Caldea.

Al tapial de barro “in situ”, también se le solía añadir paja.

Es probable que no conocieran las características de ductilidad y tenacidad, que mejoraban, pero sí sabían que se mejoraba la consistencia y se aumentaba la durabilidad.

Posteriormente, cuando se comienza a utilizar el yeso se intuye que la incorporación de fibras puede disminuir y, en su caso, anular la aparición de las fisuras o grietas que aparecen en guarnecidos y enlucidos por retracción, o como consecuencia de los pequeños asientos de los muros, o es por la simple acomodación de las fábricas. Se utilizan como fibras, pelos de cabra o crines de caballo. También se refuerza a veces con barras tan gruesas como cañas. (Cañizo).

El asbesto-cemento o fibro-cemento es un material relativamente moderno. Está formado por una pasta de cemento, a la que se añade un 8 a 16% de fibras de asbesto y se consigue incrementar la resistencia a flexo-tracción de 2 a 4 veces la de la matriz. Este producto es realmente un mortero fibroso.

Las fibras de asbesto tienen los siguientes inconvenientes:

- Absorber grandes cantidades de agua, que aumentan considerablemente la relación agua-cemento, y se necesitan grandes cantidades de cemento y fibras para obtener resistencias apreciables.

- Es difícil conseguir una distribución uniforme de fibras.

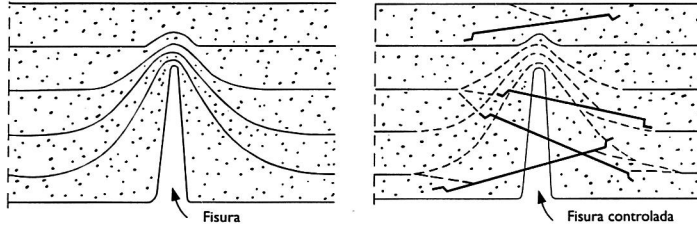
- Quizá el inconveniente mayor es que origina en los operarios, que manipulan el asbesto, una enfermedad laboral grave: la asbestosis.

El hormigón de fibras se empleó por primera vez en 1910 en EEUU, por H. F. Porter. Añadió clavos al hormigón y comprobó que se habían mejorado propiedades físicas del hormigón. No supo explicar qué propiedades físicas y por qué habían mejorado.

Las investigaciones sistemáticas realizadas sobre el hormigón fibroso en varios países, desde el año 1960, han culminado en la década de los 80. Comienza en esta etapa a ser utilizado el hormigón fibroso, con gran éxito, en la construcción de losas industriales (soleras-calzadas de hormigón fibroso). Actualmente, se utiliza en numerosos elementos constructivos.

Prefabricación

Saneamiento: Tubos, accesorios, fosos, contenedores, Tumbas.



1. Función de las fibras. Líneas de tracción

Equipamiento urbano: Módulos técnicos mono-bloques; cabinas, bungalows, aparcamientos cubiertos.

Edificación: Muros prefabricados no portantes y otros elementos de fachadas. Revestimientos.

Pilotes perforados con barrena continua.

Hormigón fibroso proyectado: Túneles, obras de reparación, etc.

FUNCIÓN Y FINES ESPECÍFICOS DE LA ADICCIÓN DE FIBRAS. TENACIDAD, DUCTILIDAD, ASPECTO

La función principal de las fibras en el hormigón es controlar la fisuración del hormigón en estado de servicio, reduciendo la abertura de las fisuras y transformando el comportamiento frágil del hormigón en un comportamiento dúctil que incrementa la seguridad, después de los estados últimos de carga.

El hormigón presenta siempre microfisuras debido a diferentes causas: retracción, acciones térmicas o acciones varias aplicadas en la primera edad, antes de que el hormigón alcance las resistencias previstas.

Cuando un hormigón en masa se fisura y está sometido a tracciones, las líneas de fuerza se curvan, no se pueden transmitir esfuerzos a través de la fisura (figura 1a). Las tensiones en los extremos de la fisura aumentan, se supera la resistencia a tracción del hormigón, la fisura se prolonga y da lugar a una rotura frágil del hormigón.

Si el hormigón dispone de fibras, una parte de la fuerza de tracción, se transmite a través de esta fisura por las fibras que la cosen (figura 1b). La eficacia de las fibras depende de los siguientes factores:

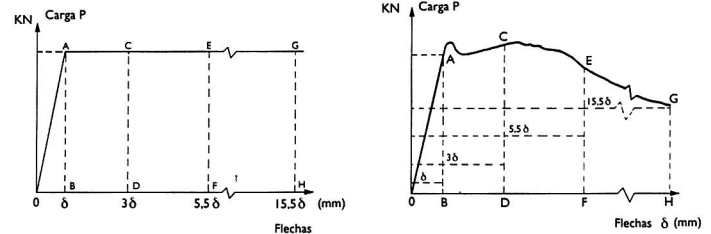
- Adherencia. Para obtener un buen anclaje es importante mejorar la adherencia.
- Módulo de elasticidad.
- Número de fibras. Generalmente, cantidad en peso por m³ de hormigón. Aumenta reduciendo el diámetro.
- Relación longitud-diámetro, que se denomina aspecto.

$$\text{Aspecto} = \frac{l}{d}$$

Las fibras mejoran el hormigón aumentando su ductilidad y tenacidad. Convierten el hormigón de material frágil en material dúctil.

La tenacidad mejora la resistencia al choque y la resistencia a la fatiga.

Ambos términos, ductilidad y tenacidad, se utilizan para



2. Diagrama carga-flecha para un material elasto-plástico

indicar que el material presenta un gran periodo plástico antes de la rotura (figura 2).

Ductilidad

Se manifiesta como un alargamiento en rotura muy importante en relación con el alargamiento correspondiente al límite elástico. (figura 3). Deformación bajo carga del material.

Tenacidad

Energía consumida en el curso de la deformación bajo carga de un material. Para hacer progresar la fisura es necesario consumir más energía. Esto supone la existencia de una resistencia a la tracción después de la fisuración del hormigón. Es decir, el hormigón fibroso es un material de fisuración controlada.

El valor de la tenacidad, indica una rotura dúctil, no frágil del material.

En EEUU y Japón se han establecido normas específicas para definir la ductilidad y tenacidad en el hormigón con fibras de acero. Estas normas prescriben un ensayo a flexión.

Existe una norma UNE correspondiente y en varios países europeos se están preparando normas similares.

En la figura 4 la curva representa en modo continuo la función carga-flecha $\phi = (N \cdot \delta)$

En la figura 2a, para un material elasto-plástico ideal pueden determinarse los Índices de ductilidad I_5 ; I_{10} ; I_{30} iguales respectivamente a 5, 10 y 30.

Se define como índice de ductilidad (figura 5):

$$I = \frac{\text{Energía absorbida para las flechas } 3\delta; 5,5\delta; 15,5\delta}{\text{Energía absorbida hasta primera fisuración-flecha} = \delta}$$

La figura 2b, representa un diagrama carga-flecha correspondiente a un material elasto-plástico.

Las normas existentes caracterizan el comportamiento elasto-plástico por la tenacidad, que definen en función de la energía absorbida - E - para alcanzar un estado de flexión dado, definido por la flecha δ , en un ensayo de flexión (figura 6).

Del ensayo se define una carga:

$$P_{\delta} = \frac{E}{\delta}$$

muy poco diferente de la llamada carga residual:

$$f_{cte} = \frac{E}{\delta} \cdot \frac{l}{b \cdot h^2}$$

siendo:

l = Luz de la probeta
 b = ancho de la probeta
 h = altura de la probeta

FIBRAS

Las fibras utilizadas actualmente en morteros micro-hormigones u hormigones son las siguientes:

Asbesto

El consumo actual es del orden de 20 millones de toneladas anuales. Tienen resistencia buena, frente a agresivos químicos. Su resistencia a tracción varía de 500 a 1.000 MPa y su módulo de elasticidad es del orden de 150 GPa.

Su mayor inconveniente son los efectos patológicos de estas fibras, que afectan fundamentalmente a los operarios que las manejan. Actualmente, está prohibida su utilización en elementos constructivos que pudieran, en teoría, originar la "asbestosis" de un modo general a la población.

Celulosa

Poco utilizadas. Tienen muchos inconvenientes. Aidez de agua, seguida de gran pérdida de resistencia. Longitud de las fibras inestable; depende de la humedad ambiental. Acaban pudriéndose después de un periodo largo de humedad. No soportan altas temperaturas y no toleran calentamientos por encima de los 120°C.

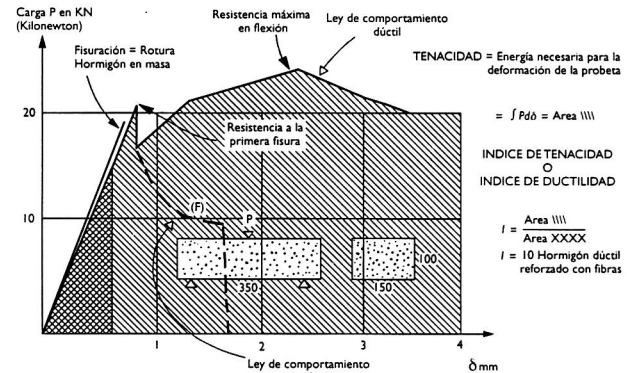
La fibra de celulosa ha sido utilizada en unión de la de asbesto, e incluso como sustitución de ésta para la producción de materiales de construcción de bajo costo. La mayor ventaja ha sido la sustitución de un material -asbesto- considerado agresivo para la salud, por un material de fibras naturales no agresivas y que no contaminan el ambiente.

Entre estas fibras está el Fique o Cabuya, fibra nacional de Colombia, que para mejorar sus características y durabilidad se impregna con cal o polímero. Con morteros o micro-hormigones con fibra de Fique se han fabricado los siguientes materiales básicos y elementos constructivos: tejas, bloques de mortero fibroso, postes, paneles de fachada.

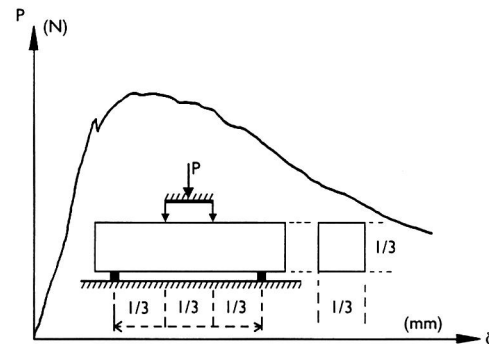
Se trata, en todo caso, de una tecnología adecuada a países no desarrollados.

VIDRIO

Las fibras de vidrio están sustituyendo a las de asbesto en muchos elementos constructivos. Sus aplicaciones más importantes son: paneles prefabricados ligeros para fachadas -sandwich de 10 cm, normalmente, de espesor con núcleo de poliestireno expandido - pantallas acústicas, jardineras, lucernarios y, en general, elementos constructivos singulares. Se utiliza, también, esta fibra como refuerzo de polímeros.



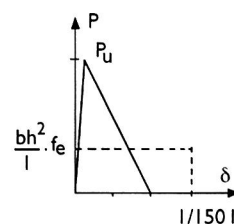
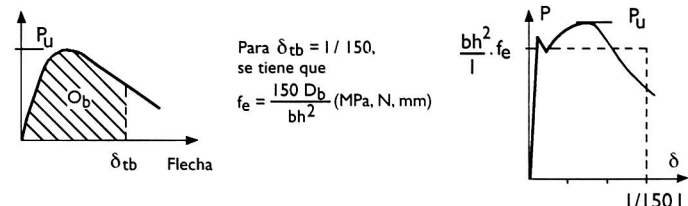
3. Ley de comportamiento dúctil



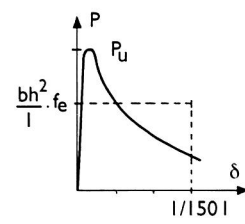
4. Diagrama de carga (P)-Flexa (d) de ensayo a flexión

Flexa	Energía absorbida	Índice ductilidad
δ	E_{δ}	$E_{\delta}:E_{\delta} = 1$
3δ	$E_{3\delta}$	$E_{3\delta}:E_{\delta}$
$5,5\delta$	$E_{5,5\delta}$	$E_{5,5\delta}:E_{\delta}$

5. Índice de ductilidad



6. Diagrama R - δ



Sintéticas: propileno, poliacrilonitrilo

Especialmente desarrolladas para evitar fisuras de retracción. Se caracterizan por su bajo peso específico y su bajo coste. Sus aplicaciones principales son:

- Soleras y pavimentos de hormigón. Se elimina el mallazo de acero no estructural, para el control de fisuras. Firmes de carreteras, autopistas, aeropuertos.
- Micro hormigones y morteros proyectados - piscinas, drenajes, canales de riego, enfoscados, revocos.
- Pavimentos industriales.
- Reparación y nivelación de firmes de asfalto y hormigón con recubrimiento de 50 - 75 mm.
- Prefabricados de elementos ligeros.

Entre este tipo de fibras las hay: antimoho y antibacteria.

Las fibras sintéticas normalmente utilizadas son de: propileno y poliacrilonitrilo.

La dosificación media de este tipo de fibras suele ser de 0,8 a 1 kg de fibra por m³ de hormigón, en función de las prestaciones que se exijan.

El diámetro nominal medio suele ser del orden de las 16µ y su longitud de 8 a 24 mm. Su aspecto, relación longitud/diámetro, puede variar de 500 a 2000. Su bajo peso específico 1,1 a 1,2 g/cm³ da lugar a un alto número de fibras por unidad de peso. Un gramo de producto puede contener 240.000 fibras de 16 mm de longitud.

Los elementos contruidos, realizados con este tipo de hormigón fibroso, mejoran sensiblemente la resistencia al impacto, aumenta la resistencia a la abrasión y reduce la permeabilidad. No originan incremento de la resistencia del hormigón frente a esfuerzos de tracción o de flexión. Es más, algunos autores señalan que estas resistencias disminuyen, a menos que se adopten precauciones para alcanzar una gran homogeneidad en la distribución de las fibras dentro de la masa que las envuelve. No se debe olvidar, ante estas afirmaciones, que se trata de un material de aplicación reciente, cuya tecnología evolucionará, sin duda, hacia mejores prestaciones.

Carbono

Actualmente, a nivel de investigación y ensayos de Laboratorio, se obtienen por pirólisis de fibras orgánicas reticuladas y orientadas en atmósfera controlada. Estos materiales tienen una resistencia a la rotura muy elevada para una densidad cinco veces menor que la del acero.

Este tipo de fibras ha sido empleado como refuerzo de estructuras de hormigón, acero y madera. Se fabrican en cordones de 1mm de diámetro, formado con filamentos de 8 micras.

Características mecánicas:

- Densidad 1,75 - 1,8 kg/dm³
- Módulo de elasticidad 190 a 240 G.Pa
- Resistencia a tracción 1,9 a 2,6 G.Pa
3,6 a 4,9 G.Pa
1 G.Pa <> 10³ MPa
- Alargamiento 1,5 a 2,1%

Se han fabricado fibras de carbono a partir de esquistos bituminosos, con características mecánicas muy bajas:

- Diámetro medio de la fibra 20 µ
- Módulo de elasticidad 30 a 40 G.Pa
- Resistencia a rotura 311 MPa

Acero

Comprende una amplia tabla de diferentes tipos de fibras, con la característica común de su material base: el acero. Características:

- **Método de fabricación**

- Trefiladas. Sección circular.
- Fresadas. Forma irregular y rugosa.
- Palastro. Sección cuadrada o rectangular.

- **Naturaleza del acero**

- Dulce
- Inoxidable

- **Forma de las fibras**

- Fibras rectas. Sección circular o rectangular (figura 6).
- De adherencia mejorada.
 - Anclaje en los extremos: ganchos, ensanchamientos.
 - Onduladas.
 - Fresadas.

- **Dimensión de las fibras**

- Longitud de 6 a 60 mm.
- Según tipo de fibras se define:
 - Fibra circular, diámetro de 0,15 a 1,2 mm.
 - Sección cuadrada o rectangular
altura x ancho de 0,5 x 0,5 mm a 1 mm x 1 mm.
 - Fibra fresada.
 - Diámetro equivalente

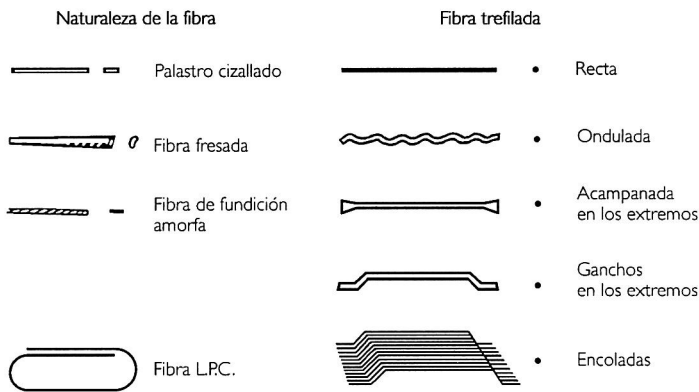
$$\sqrt{\frac{4 \times \text{Sección}}{\pi}} \quad \text{de } 0,5 \text{ mm a } 1 \text{ mm}$$

- **Resistencia a tracción**

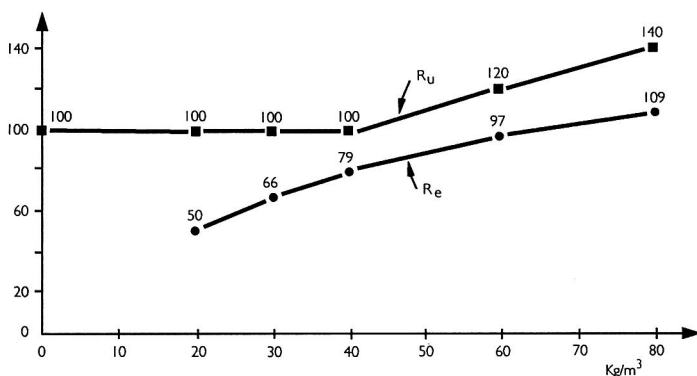
- 340 a 2.400 N/mm²

- **Tratamiento de la superficie de la fibra**

- Galvanización, si se quiere proteger contra la corrosión. La corrosión puede aparecer en la superficie del hormigón. No suele ser un problema grave, ya que se ha comprobado que la corrosión no afecta más que superficialmente. Sí tiene importancia desde el punto de vista estético. Se puede evitar esta corrosión o minimizar:
 - Con una correcta puesta en obra del hormigón fibroso.
 - Utilizando fibras galvanizadas o de acero inoxidable.
 - Pintura epoxi para aumentar la adherencia y la protección.



7. Diversas formas geométricas de las fibras metálicas



R_u = Aumento de la resistencia a flexión máxima del hormigón reforzado con fibras, comparado a la resistencia a la flexión del hormigón testigo sin fibra.

R_e = Relación entre la resistencia equivalente del hormigón reforzado con fibras y la resistencia a la flexión del hormigón testigo sin fibras. Recomienza en cero y aumenta en función de la dosificación de fibras.

8. Ejemplo de ficha de identidad DRAMIS Z/C 60-80

• Presentación de la fibra

- Aislada, individual.
- Encoladas con un adhesivo soluble en agua, en grupos de 25 a 50 fibras.

- Fibra metálica amorfa o fibra de fundición.

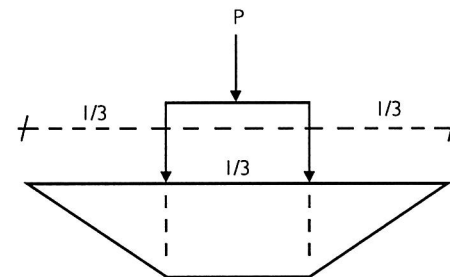
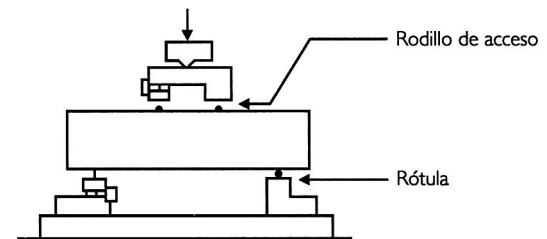
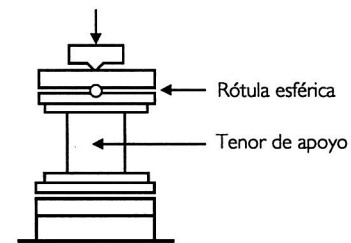
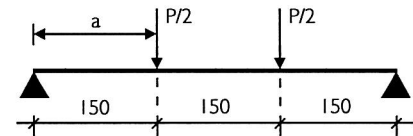
Se presenta en forma de chapa de 26μ aproximadamente de grueso, 1 a 2 mm de ancho y una longitud de 15 a 45 mm.

- Resistencia a tracción del orden de 800 N/mm^2
- Cantidad de cromo $> 5\%$, que en unión con el estado amorfo de estas fibras le confieren una buena resistencia al ataque de ácidos y cloruros.

Algunos fabricantes caracterizan sus fibras por su efecto en el hormigón (figura 8).

HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO

Se considera que un hormigón está reforzado con fibras de acero cuando la cantidad de fibras que contiene es igual o mayor de 20 kg/m^3 de hormigón. Las fibras de acero, con



9. Esquema del ensayo

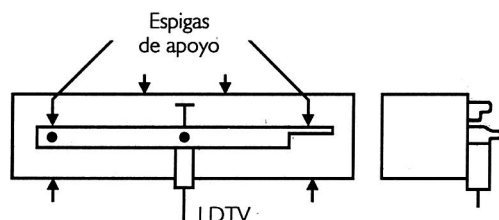
adherencia mejorada o no, deben tener dimensiones adecuadas para su correcta mezcla en el hormigón. Este hormigón se caracteriza por las siguientes propiedades:

- Resistencia máxima a flexo-tracción - $f_{ct \text{ flex}}$
- Resistencia equivalente en flexo-tracción. Para obtenerla se utiliza una probeta prismática de sección cuadrada, de $150 \times 150 \times 600 \text{ mm}$. El apoyo para el ensayo se dispone a 450 mm. (figura 9).

$$f_{ct} = \frac{6M}{b \cdot h^2} = \frac{P \cdot l}{b \cdot h^2} = \frac{450P}{150 \cdot 150^2} = \frac{P}{7500} \text{ N/mm}^2$$

$$M = \frac{P \cdot l}{6} \quad \text{Curva de momentos. } P \text{ en Newton}$$

$$\text{La flecha debe alcanzar el valor } \delta = 3 \text{ mm} = \frac{1}{150}$$



10. Ejemplo de dispositivo para medir flechas

Las flechas se miden mediante un dispositivo electrónico. (figura 10)

- Si la probeta no se rompe antes, el ensayo se detiene cuando alcanza el valor de 3 mm 1/150 de la luz.
- Si la probeta se rompe fuera de la zona comprendida entre las dos cargas, el ensayo no es válido.
- Resistencia a rotura a flexo-tracción

$$f_{ctu} = \frac{P_u \cdot l}{b \cdot h^2} = \frac{P}{7500} \text{ N/mm}^2 \quad P \text{ en Newton}$$

P_u = carga máxima que origina la rotura.

- Resistencia equivalente a flexo-tracción (ver figura 5).

$$f_{cte} = \frac{E}{\delta_{tb}} = \frac{l}{b \cdot h^2} \text{ N/mm}^2$$

para

$$\delta_{tb} = \frac{l}{150}$$

se obtiene

$$f_{cte} = \frac{150 E}{b \cdot h^2} = \frac{E}{22500} \text{ N/mm}^2$$

E = Área del diagrama cargas-flechas, igual al área del rectángulo. Energía absorbida para alcanzar un estado de flexión dado = $\int_0^{\delta_{tb}} P \cdot d\delta$

Tecnología del hormigón

Con el objetivo de optimizar el material analizamos las siguientes características:

- Dosificación.
- Amasado - Mezcla.
- Puesta en obra.

La dosificación, inicialmente, se ha realizado de un modo análogo a los hormigones convencionales, excepción hecha de la proporción de áridos gruesos. Se atendía preferentemente a la docilidad, manejabilidad y facilidad de descarga y puesta en obra. Se hacían una serie de amasadas previas y se corregían las imperfecciones observadas.

Los distintos componentes solían ser o variar según la siguiente relación:

- Cemento	300 a 400 kg/m ³
- Relación Agua-Cemento	0,4 a 0,6
- Relación Arena-Gravilla	0,5 a 1
- Tamaño máximo del árido	10 mm
- Volumen de fibras	0,5% a 2%
- Fluidificante	1% a 4% en peso del cemento
- Asiento en el cono de Abrams	10 a 15cm

Si se trataba de hormigones fibrosos para ser bombeados, una dosificación aceptada, solía ser:

- Cemento	500 kg/m ³
- Arena	1.100 kg/m ³
- Áridos gruesos. Max. 10 mm	500 kg/m ³
- Agua	220 kg/m ³
- Fluidificante	1,4 kg/m ³
- Aireante	0,2 kg/m ³
- Fibras metálicas	130 kg/m ³

• Influencia del tipo de fibra y el aspecto (l/d) en la fabricación del hormigón

- Fibras trefiladas
- Fibras aisladas

La adición de fibra a la mezcla no necesita disposiciones particulares.

$$\frac{l}{d} < 45$$

La adición de fibras necesita dispositivos especiales para conseguir que las fibras existentes en el embalaje se separen y no formen bolas. Por ejemplo, un tapiz vibrante.

$$45 < \frac{l}{d} < 100$$

Casi imposible separar las bolas de fibras introducidas en la mezcla.

$$\frac{l}{d} > 100$$

- Fibras encoladas con adhesivos solubles en agua
- En este caso, no influye el aspecto en una distribución homogénea en fibras individuales. Las fibras pueden tener aspecto superior a 100. Se agrupan en paquetes de 25 a 50 fibras encoladas. El valor del aspecto del paquete puede ser inferior a 30. Los paquetes de fibras se introducen en la mezcla sin peligro de formar erizos ni bolas. La cola o revestido de las fibras se disuelve en el agua de amasado y las fibras se distribuyen de forma aleatoria homogénea, individualmente.

- Fibras fresadas.
Su fabricación conduce a $l/d < 45$. No presentan dificultades de amasado.
- Fibras metálicas amorfas.
Se añaden a la mezcla fresca en la hormigonera.

• **Dosificación máxima de fibras para una composición de hormigón dada**

Se puede obtener mediante la fórmula

$$f_b \leq C_{mx} \cdot \frac{d}{l} \cdot 100$$

en cuyo caso

$$f_{b \max} = C_{mx} \cdot \frac{d}{l} \cdot 100$$

siendo

f_b = tanto por ciento en volumen de fibras.

C_m = Coeficiente que depende de la granulometría de los áridos y de la dosificación de cemento.

$\frac{d}{l}$ = Inverso del aspecto

$$C_m = \sum_i^n (P_g)_n \cdot (C_g)_n$$

siendo

$$(P_g)_n = \frac{P_{gn}}{\sum_i^n P_{gn}}$$

P_{gn} = Peso de los áridos de clase n.

$(C_g)_n$ = Coeficiente de interacción del árido de clase n obtenido de la tabla de la figura 11.

En la determinación de f_b no intervienen el cemento, ni el agua de la mezcla, ni los aditivos.

Ejemplo:

Composición del hormigón

Arena	900 kg
Gravilla 4 - 7	300 kg
Grava 7 - 20	350 kg
Grava 20 - 32	300 kg
Cemento CEM II-A-I	42,5 - 350 kg
Agua	170 l
Fluidificante 1% peso CEM	3,5 kg
Fibra DRAMIX 60 - 8	

$$P_{g \text{ arena}} = \frac{900}{900 + 300 + 350 + 300} = \frac{900}{1850} = 0,49 \quad C_g = 1,7$$

$$P_{g \text{ 4-7}} = \frac{300}{1850} = 0,16 \quad C_g = 0,54$$

Árido	C_g
Arena < 2 mm	1,7
Grava 2 - 4	0,95
2 - 7	0,66
4 - 7	0,54
7 - 14	0,10
7 - 20	0,00
10 - 14	0,02
14 - 20	- 0,21
20 - 32	- 0,49

11. Coeficiente de interacción

CANTIDAD MÁXIMA DE FIBRAS kg/m³

Tamaño máximo de árido	e/d = 60		e/d = 75		e/d = 100	
mm	normal	bombeado	normal	bombeado	normal	bombeado
4	160	120	125	95	95	70
8	125	95	100	75	75	55
16	85	65	70	55	55	40
32	50	40	40	30	30	25

12. Cantidad de fibra por m²

$$P_{g \text{ 7-20}} = \frac{350}{1850} = 0,19 \quad 0,00$$

$$P_{g \text{ 20-32}} = \frac{300}{1850} = 0,16 \quad - 0,49$$

Coeficiente C_m

$$C_m = 0,49 \cdot 1,7 + 0,16 \cdot 0,54 + 0,19 \cdot 0,00 - 0,16 \cdot 0,49 = 0,841$$

Aspecto de la fibra DRAMIX 60 - 8

$$\frac{l}{d} = \frac{60}{0,8} = 75$$

$$f_b < 0,841 \cdot \frac{1}{75} \cdot 100 = 1,12 \%$$

$$f_{b \max} \text{ kg/m}^3 = 1,12 \cdot 7,85 = 88 \text{ kg}$$

En la tabla de la figura 12, se indican las cantidades máximas de fibras por m³ que pueden añadirse en un camión hormigonera. Esta adición se hará con paquetes de fibras encoladas, o bien con fibras individuales de aspecto igual o menor a 45.

La cantidad de fibras puede obtenerse mediante el uso del factor

$$f_b \cdot \frac{L}{d}$$

13.

Tamaño máximo del árido mm	Factor $f_b \cdot \frac{L}{d}$
4	120
8	70
16	50
31,5	30

obtenido en la tabla de la figura 13 en función del tamaño máximo del árido.

Ejemplo: Tamaño máximo del árido: 16 mm.

Aspecto $\frac{l}{d} = 45$

$$f_b = 50 \cdot \frac{d}{l} = \frac{50}{45} = 1,11 \% \Leftrightarrow 87 \text{ kg de fibras/m}^3$$

Las fibras de acero disminuyen la consistencia del hormigón. No se debe medir la consistencia, trabajabilidad del hormigón fibroso, con el cono de Abrams.

Con este método se obtienen resultados poco válidos. Se debe utilizar el consistómetro Vebe que mide el tiempo necesario para transformar un cono de hormigón en un cilindro.

Amasado

Las fibras deben distribuirse de forma homogénea en el hormigón.

Pueden ocurrir los casos siguientes:

- Formación de bolas de fibras erizos, si las fibras se añaden de cualquier manera.
- Distribución heterogénea, consecuencia de un tiempo de amasado excesivamente corto.
- Formación de erizos, pelotas de fibras, si la duración de amasado es muy larga y la cantidad de fibras próximas al máximo calculado.

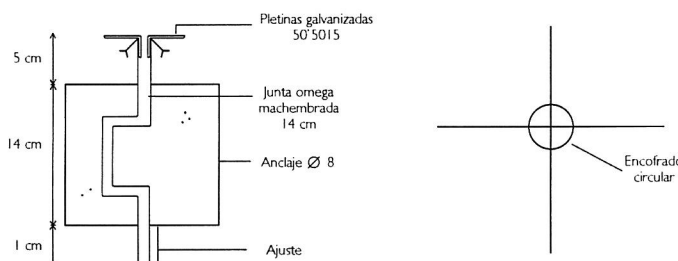
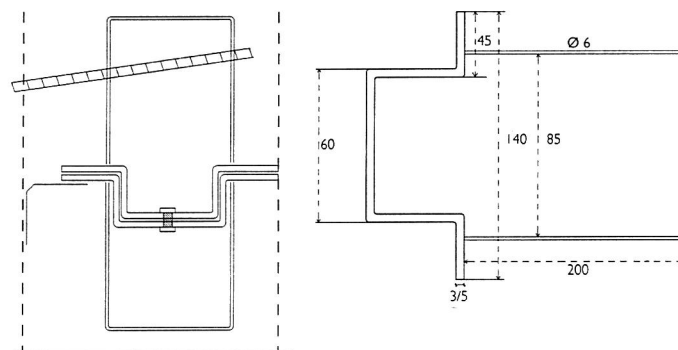
La adición de fibras a la hormigonera puede hacerse con los áridos, o bien al final del amasado del hormigón. No presenta problemas la adición de fibras de aspecto menor de 45 y si se producen erizos y bolas con cifras de $l/d > 100$.

Para evitar estos problemas se utilizan cada vez más procedimientos mecánicos para introducir las fibras en la hormigonera, especialmente las que presentan riesgos de formación de erizos. Los procedimientos actuales son:

- Tamiz vibrante.
- Vibro-eyectores neumáticos que impulsan las fibras de acero individualmente a 25 m/s. El amasado inmediato es perfecto. La adición de fibras puede realizarse en central de hormigón preparado o en obra.

La trabajabilidad del hormigón fibroso es afectada por los siguientes factores:

- Volumen de fibras. Disminuye con el aumento de la dosificación.
- Aspecto.



14. Detalle de junta tipo omega

– Tamaño de áridos y su cantidad relativa. Disminuye al aumentar los áridos gruesos.

La trabajabilidad debe medirse con los siguientes procedimientos:

- Cono de Abrams. Dosificación baja de fibras; menor de 30 kg/m³ y consistencias superiores a 6 cm de asiento.
- Consistómetro Vebe. Dosificaciones altas de fibras y consistencias secas.

La relación agua/cemento debe estar comprendida entre 0,4 y 0,6. Para mejorar la trabajabilidad se deben añadir superfluidificantes y, en su caso, aireantes. Los métodos de amasado son análogos a los de los hormigones convencionales.

Puesta en obra

Análogo al de los hormigones convencionales.

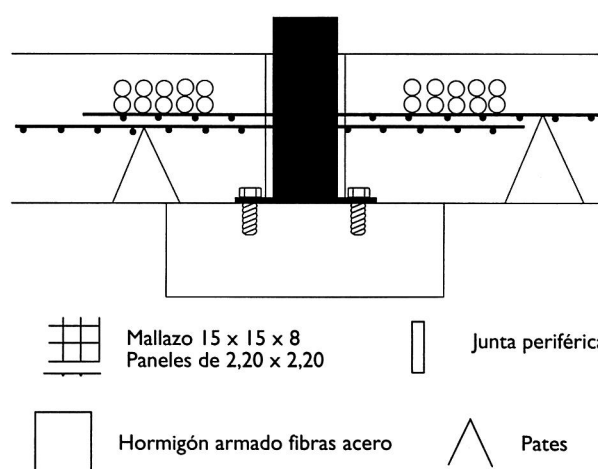
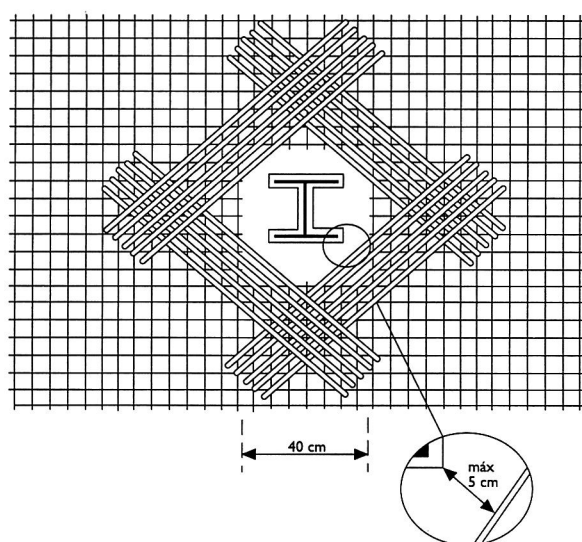
- Vertido directo mediante: cubas, tolvas, vagonetas basculantes.
- Bombeo.

Sea cualquiera el método de colocación, el extendido y manipulación se debe efectuarse con rastrillos u horquillas, mejor que con palas o rodos.

Se desaconseja para la compactación utilizar el vibrador de aguja, debido a que origina una orientación preferente de las fibras y al efecto chimenea. Se deben utilizar vibradores de superficie sobre el encofrado o reglas vibrantes.

No hay inconvenientes en realizar el talochado o fratasado en las soleras, o elementos constructivos planos. Se debe cuidar el recubrimiento de las fibras que pueden aparecer en la superficie o en las aristas.

Los moldes o encofrados deben ser perfectamente estancos. La pérdida de lechada origina coqueas, pérdida



Mallazo 15 x 15 x 8
Paneles de 2,20 x 2,20



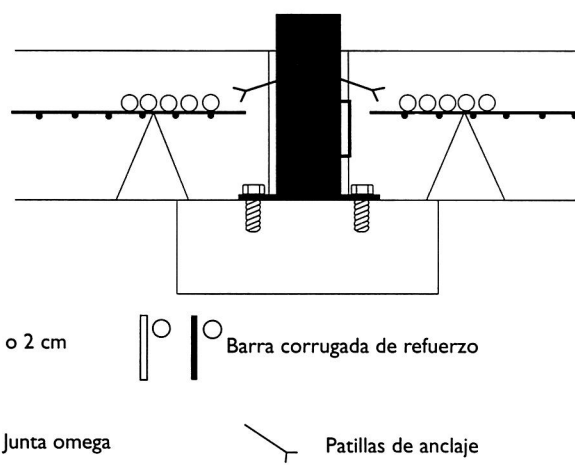
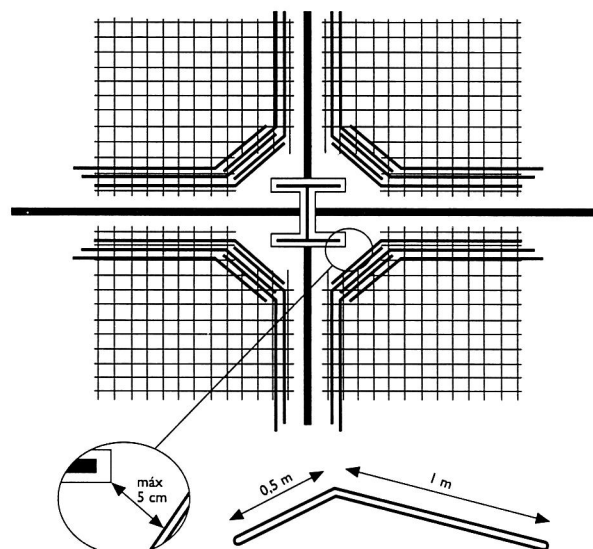
Junta periférica poliestireno 1 o 2 cm



Hormigón armado fibras acero



Pates



Barra corrugada de refuerzo



Junta omega



Patillas de anclaje

15. Detalle de refuerzo de pilar

16. Detalle de refuerzo de pilar con cruce de omega

de fibras a través de los elementos no estancos del encofrado, aparición de fibras y áridos superficiales que obligan a una posterior reparación por falta de calidad. El curado se realiza de modo análogo al de los hormigones convencionales.

Ejemplo

- Solera Industrial.
- Superficie total = 18.000 m²
- 10 Módulos de 45 x 40 = 1.800 m²
- Sin juntas de retracción.
- Juntas de hormigonado. Suministro y colocación de juntas OMEGA 900 m (figura 14).
- Solera de hormigón sobre base compactada. Coeficiente de balasto K= 9 kp/cm³.
- Suministro y colocación de doble lámina de polietileno solapadas y cruzadas, de 0,2 mm de espesor.

- Formación de juntas de dilatación: solera - vigas de hormigón en cerramiento, solera - soportes con poliestireno expandido de 10 mm. de espesor y 20 kg/m³ de densidad.

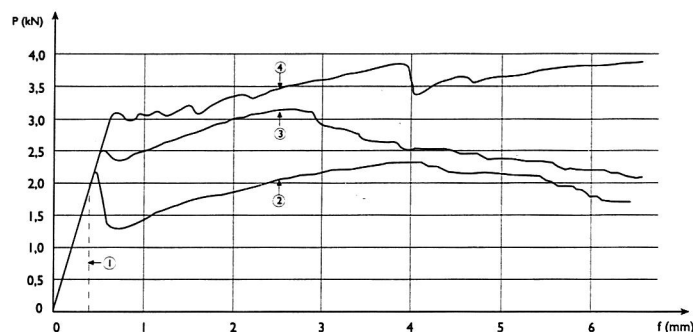
- Extendido con máquina extendidora Láser y vibrado con regla vibrante de 18 cm de hormigón H-250. Tamaño máximo de árido 20 mm. Asiento en el cono de Abrams 10-15, con 40 kg/m³ de fibras de acero 60/80. Superfluidificante máximo 1% del peso de cemento (figuras 15 a 16).

- Refuerzo de pilares, arquetas y muelles con mallazo 150 x 150 x 8 mm y paneles de 2,20 x 2,20 y refuerzos con barras corrugadas de $\phi 12$. Ver detalles.

- Suministro y realización de capa de rodadura ROC METAL PREMIX con de 6 kg/m².

- Acabado, fratasado mecánicamente.

- Curado de la superficie mediante ROCCYRE, filmógeno, regado con agua hasta conseguir, una película uniforme y posterior colocación de lámina de plástico durante 14 días.



17. Curvas carga-flecha en esfuerzo de flexión

• Tolerancias

Se exigen:

Base. Planimetría

+ 1 cm

- 1,5 cm

Planimetría de la solera.

± 5 mm con regla de 2 m

± 1,5 cm en la longitud de toda la nave.

ROC METAL. Partículas metálicas, mezcladas con cemento y aditivos. Preparada para su uso por espolvoreo, o bien para capas hidratadas de mayor espesor y resistencia. En este caso espolvoreo.

Precio - m² 3.500 - 4.250 ptas.

- Fisuras mayores de 0,5 mm

- Alabeo

- Disgregación general del hormigón

- Despegue capa de rodadura

Garantía 10 años.

El espesor de la solera, utilizando hormigón fibroso con fibras de acero, puede reducirse del 30% al 50%.

Comparación del hormigón reforzado con fibras de acero con el hormigón en masa testigo

Los resultados de esta comparación dependen:

- Porcentaje de fibras.

- Aspecto: l/d

- Forma de la sección. Notablemente de la relación: sección/perímetro.

- Forma de las fibras: rectas, onduladas, planas, con ganchos.

- Naturaleza de las fibras.

- Matriz del hormigón - Dosificación, tamaño de los áridos, cantidad de cemento, trabajabilidad.

- Orientación de las fibras.

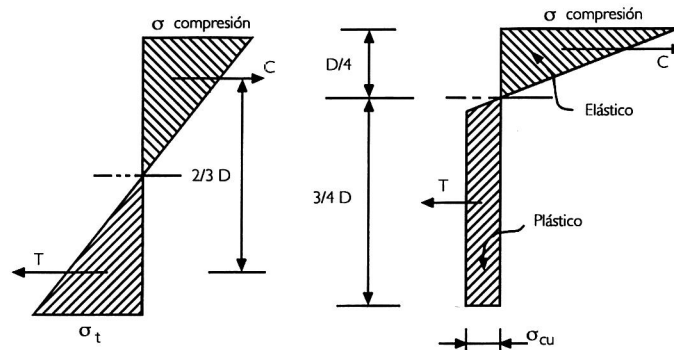
No obstante pueden indicarse las siguientes diferencias:

- Curva esfuerzo - deformación. Ensayo. Carga - flecha.

Es muy diferente (figura 17).

• Diagrama rectangular de tensión de tracción según Edington

Figura 18.



18. Diagrama rectangular de tensión de tracción según Edington

• Resistencia a compresión

Es del mismo orden en los dos hormigones. A veces, dependiendo de la orientación de las fibras, menor en el hormigón fibroso.

En algunas fibras a partir de cierta dosificación, se observa tenacidad en compresión.

• Resistencia a tracción directa

No aumenta, prácticamente, la resistencia a tracción directa del hormigón fibroso en relación al hormigón sin fibras.

Se observa:

- Mejor reparto de las fisuras de pequeña abertura.

- Resistencia residual, función de la dosificación de fibras, aspecto y adherencia.

• Resistencia a flexión

Las fibras de acero pueden mejorar de forma significativa la resistencia a flexión en el caso de dosificaciones altas de fibras. Uno de los fines específicos de la adición de fibras de acero es el aumento de la ductilidad - alargamiento - y el mantenimiento de una resistencia a la tracción después de fisuración - tenacidad, energía -. Esta es la propiedad más importante del hormigón fibroso, que le permite soportar esfuerzos importantes después de la fisuración y diferir la ruina.

• Resistencia a cortante

Tiene un aumento importante en el hormigón fibroso. Las fibras vienen a cumplir un papel análogo a los estribos.

CONCLUSIÓN

El hormigón reforzado con fibras de acero es un material básico nuevo. Poco más de veinte años. Su tecnología y aplicaciones han experimentado un desarrollo muy fuerte en los últimos diez años. La investigación sigue para poder llegar a conocer el comportamiento del hormigón de fibras en estado de servicio, en función principalmente del tipo, naturaleza y dosificación de las fibras. Desde el punto de vista de la "matriz hormigón", es muy probable el empleo de "hormigones autonivelantes", ultrafluidos, puesta en obra, sin necesidad de compactación (vibración), sólo bajo el efecto de

la gravedad, resistentes a la segregación y que pueden permitir una distribución homogénea aleatoria de las fibras.

Las aplicaciones del hormigón reforzado con fibras se verán ampliadas a nuevos campos dentro de la construcción en zonas sísmicas.

BIBLIOGRAFÍA

1. PÁEZ, A.: *HORMIGÓN ARMADO*. ED. REVERTÉ. 1986.
2. ANNALES, N° 515. 1993. LE BETON DE FIBRES METALLIQUES ETAT ACTUEL DES CONNAISSANCES. CUADRO DE TRABAJO. RESPONSABLE: M.ME. A.M. PAILLIERE. L.C.P.C.
3. ANNALES, N° 522. 1994. BETON RENFORCE DE FIBRES APPLICATIONS AUX DALLAGES INDUSTRIELS; WOLFGANG JALIL; XAVIER DESTRÉE; MARK VANDEVALLE.
4. FERNÁNDEZ CÁNOVÁS, M.: *HORMIGONES REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO*. INFORMES DE LA CONSTRUCCIÓN. N° 342.
5. *LOS SUELOS INDUSTRIALES DE HORMIGÓN SILIDUR*.
6. *SOLERA INDUSTRIAL SIN JUNTAS ASEGURADA*. BEKAERTIBERICA, S.A.
7. PROCONA. REALIZACIÓN EN PAMPLONA DE 18.000 M2 DE PAVIMENTO INDUSTRIAL. ROCLAND-ESPAÑA. POLYBETON.
8. ANNALES, N° 472. ENERO 1989. WOLFGANG JALIL; XAVIER DESTRÉE.
9. ANNALES. SEPTIEMBRE 1997. CARACTÉRISATION POR ANALYSE D'IMAGES DE LA MORPHOLOGIE DE BÉTONS RENFORCÉS PAR DES FIBRES DE FONTE AMORPHE. CARL REDON; LILIANE CHERMANT; JEAN-LOUIS Q'UENEC'H; JEAN-LOUIS CHERMANT.
10. *LOS MATERIALES COMPUESTOS APLICADOS EN ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN*. V.V.A.A. EDITORES J. LAFFARGA; PU. MARTINEAU; M. OLIVARE.
11. ANNALES. LES BÉTONS AUTO NIVELANTS. JOAN AMBROISE; JEAN PERA; SEBASTIANS ROLS.