



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Construcción y aplicaciones del HRF

AVANCES EN TECNOLOGÍA DEL HORMIGÓN

Montevideo, 2 de diciembre de 2015

ANA BLANCO

BLOQUE 1:

Fabricación y control de calidad

Componentes del HRF

- Cemento
- Áridos
- Agua
- Aditivos y adiciones
- **Fibras**



¿Cómo influye la adición de fibras en el hormigón?

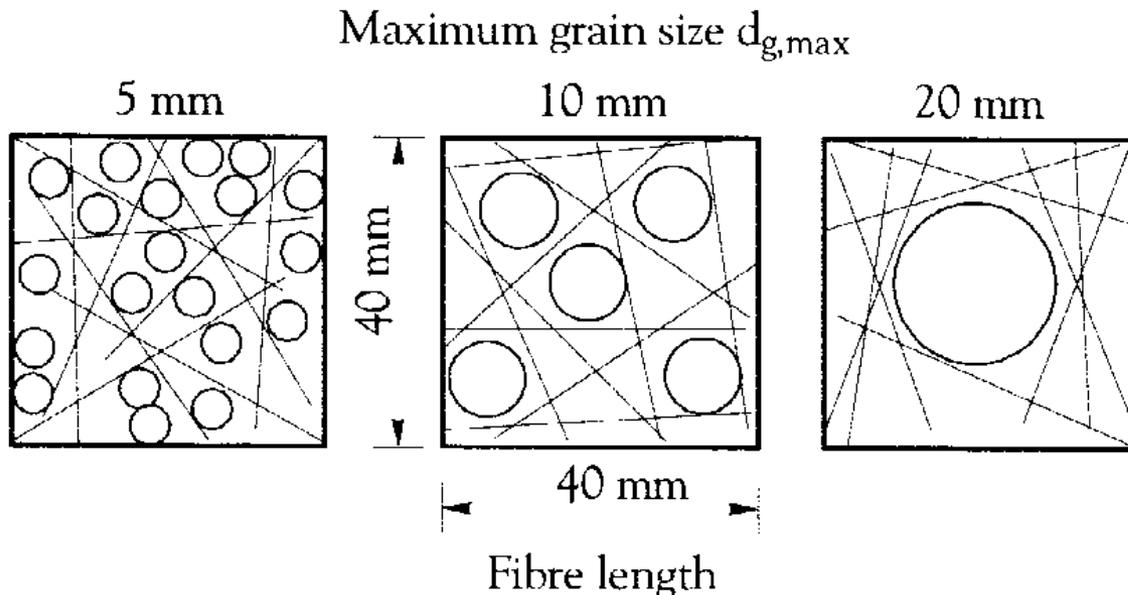
¿Cómo influye la adición de fibras?

- La adición de fibras al hormigón conduce a una pérdida de la trabajabilidad
- En la producción del hormigón las fibras se podrían considerar como un árido de bajo coeficiente de forma



Criterios para dosificar el HRF

1. Árido influye en la dispersión fibra y cohesión (se limita el tamaño máximo de árido –preferiblemente rodados y mayor contenido de finos para garantizar compacidad-).



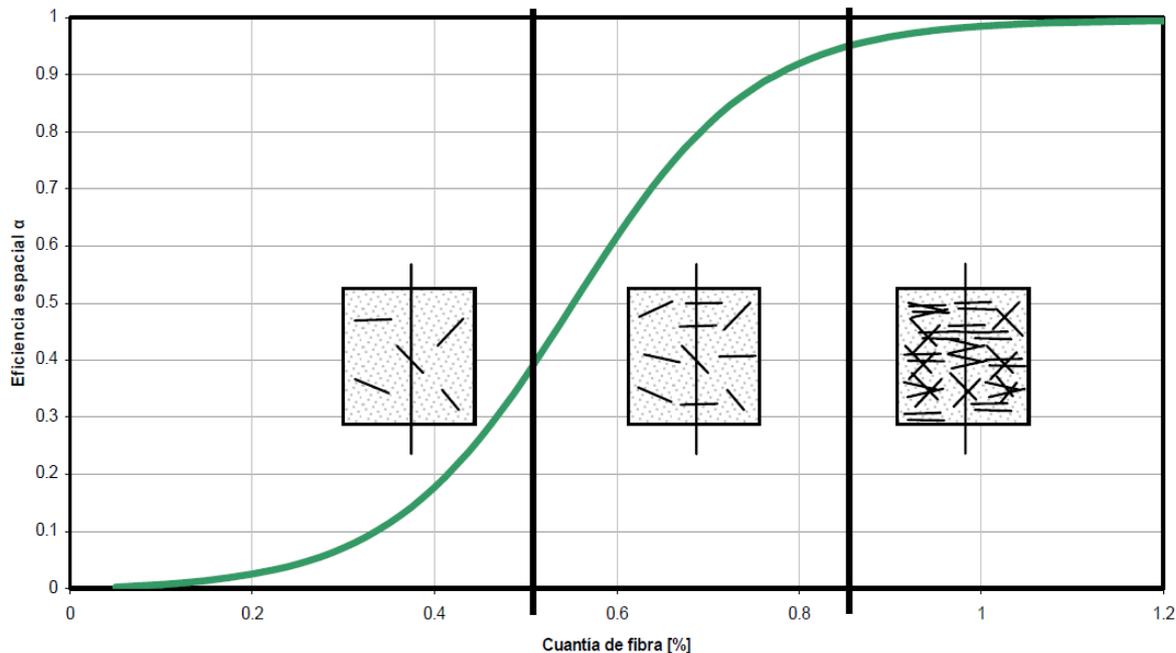
Criterios para dosificar el HRF

2. Contenido de cemento (los HRF requieren de un % de pasta de cemento en volumen mayor que un H. Convencional)
3. Relación a/c influye en la porosidad (resistencia y durabilidad)
4. El uso de aditivos reductores de agua (superplastificantes) contribuye a compensar la pérdida de trabajabilidad.
5. El uso de adiciones (puzolanas naturales, cenizas volantes y humo de sílice) mejoran la impermeabilidad y la cohesión.

Criterios para dosificar el HRF

6. Contenido de fibras: eficiencia en función de la cuantía

- Contenido elevado: $> 1\%$ ($> 80 \text{ kg/m}^3$ de fibras de acero)
- Contenidos más usuales: $0,30\text{-}0,75\%$ ($25\text{-}60 \text{ kg/m}^3$ de fibra de acero)



Fabricación del HRF: en planta

De forma manual



Las fibras se pueden añadir con los áridos o al final del proceso de mezclado.

Depende de las condiciones de contorno.

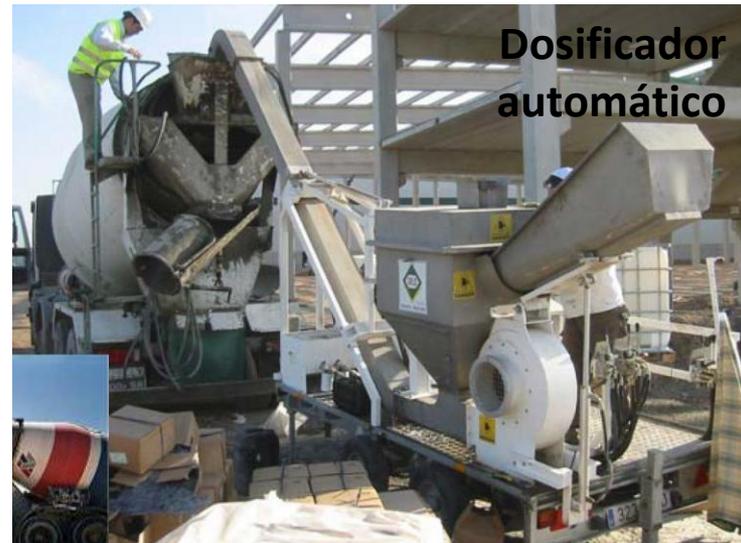
Mediante dosificador automático



Fabricación del HRF: en obra

Hormigón **se transporta sin fibras** (con un cono mayor del requerido)

Las fibras **se añaden en obra** con la cuba girando y a ritmo de 20-60 kg/min



Puesta en obra del HRF

- Mediante cuba, bomba o proyección
- No presenta dificultades añadidas
- Afecta a la orientación de las fibras
- La **compactación debe ser externa** para evitar inducir orientaciones preferentes de la fibra
- La planificación es esencial de cara a la aplicación

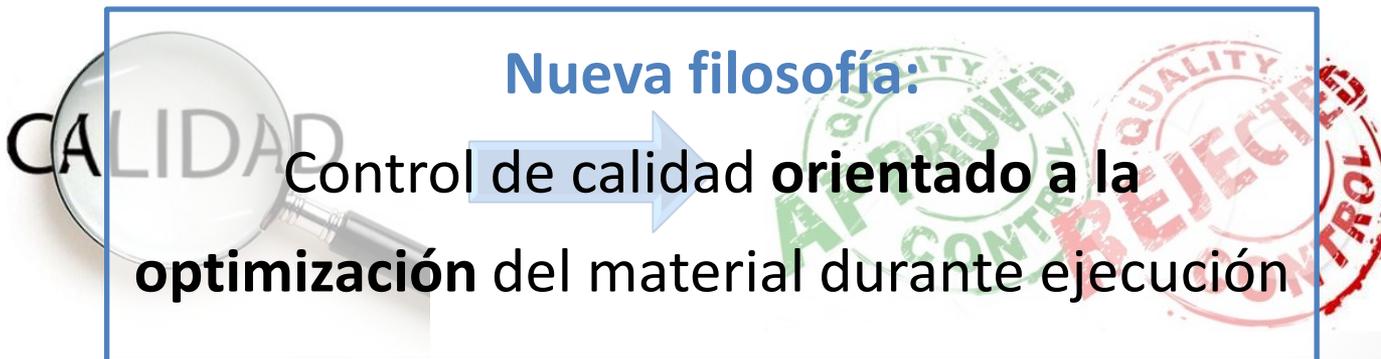


Control de calidad

¿Qué importancia tiene el control de calidad?

- ✓ Garantía de calidad
- ✓ Protección frente a terceros en eventual problema

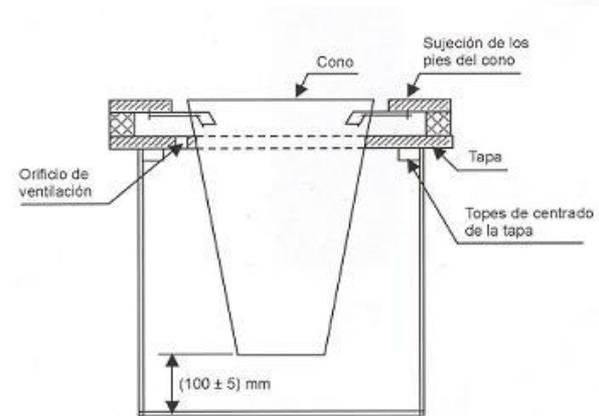
Filosofía actual: ¿cumple o no cumple?



Control de calidad: estado fresco

- **Cono invertido (UNE 83503:2004 / ASTM C995)**

Desarrollado específicamente para medir docilidad del HRF. Se mide el tiempo que tarda el HRF en salir del cono al someterlo a una vibración



- **Extensión de flujo (UNE-EN 12350-8:2011 / ASTM C143)**

Ensayo muy empleado también. Se llena el cono de Abrams y se deja fluir libremente. Se mide el tiempo en alcanzar un diámetro de 50 cm.



Control de calidad: estado fresco

Contenido de fibras (UNE – EN 14721:2006 +A1:2008)

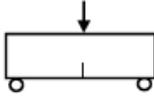
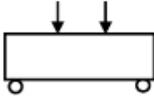
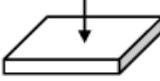
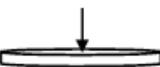
Lavado volumen mín. de 6 litros de hormigón (compactado y enrasado). Se recogen manualmente o mediante un imán las fibras y se dejan secar hasta un peso constante.



Control de calidad: estado endurecido



Gran variedad de ensayos...

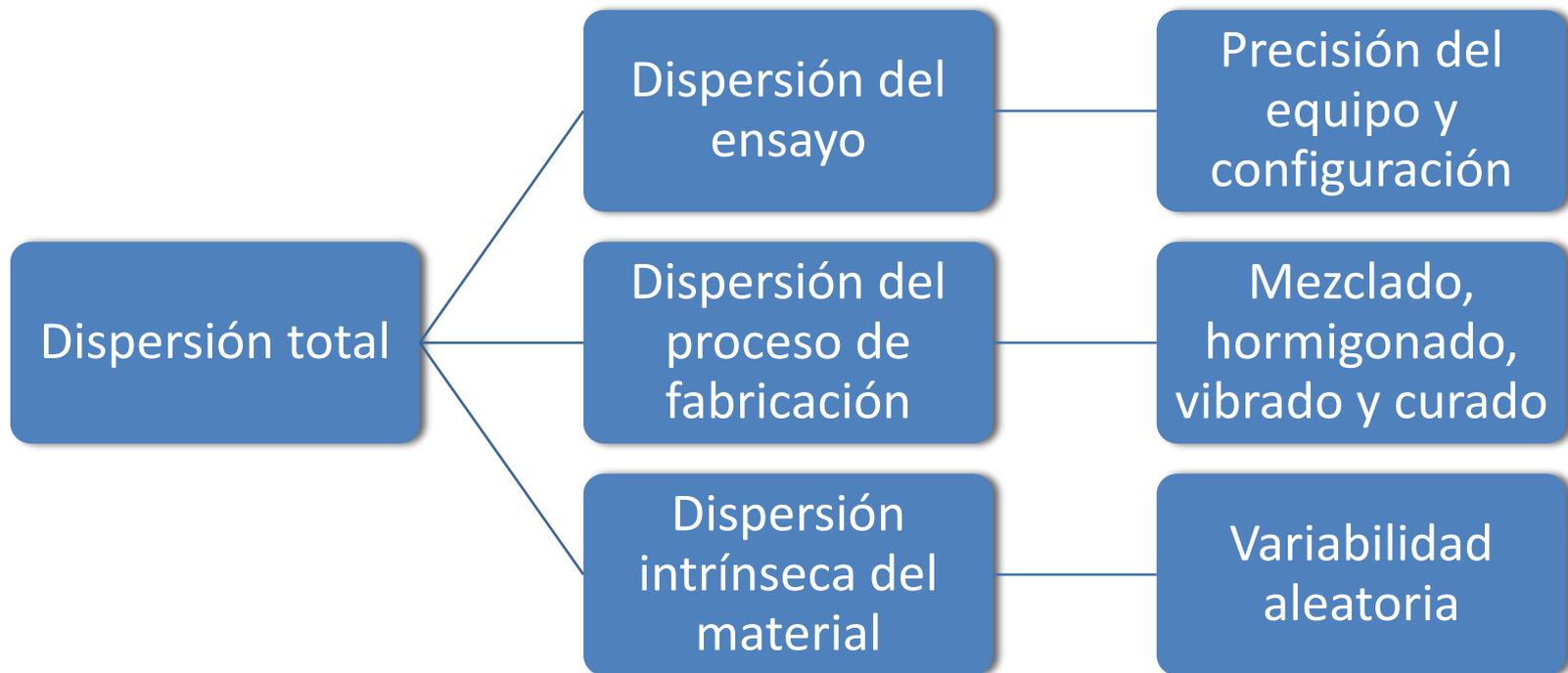
Test	Standard / Reference	Setup	Dimensions ¹ [mm]
3-point bending test	EN 14651:2005		600 x 150 x 150
4-point bending test	NBN B 15-238		600 x 150 x 150
Uniaxial tensile test	RILEM TC 162-TDF recommendations		Φ 150 x 150
Wedge-splitting test	Tschegg and Linsbauer (1986)		150 x 150 x 150
Barcelona test	UNE 83515:2010		Φ 150 x 150
Double-edge wedge splitting test	di Prisco <i>et al.</i> (2010)		150 x 150 x 150
EFNARC panel test	EFNARC European Specification for Sprayed Concrete		600 x 600 x 10
Round panel test	ASTM C1550 - 10a		Φ 800 x 75

1: The dimension preceded by the symbol Φ indicates a diameter.

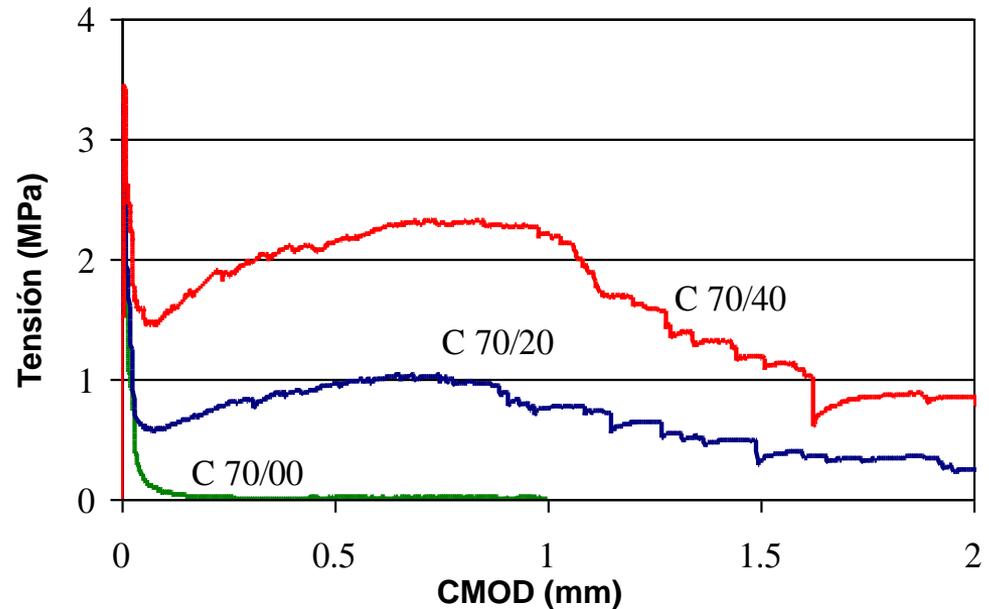
Criterios para la selección del ensayo

- **Complejidad** del ensayo (configuración, preparación de las probetas y ejecución)
- **Reproducibilidad** del ensayo
- **Costes y aplicabilidad** en la práctica
- Complejidad de la **transformación de los resultados** en una ecuación constitutiva (caracterización para el diseño)
- **Fiabilidad y dispersión** de los resultados

Criterios para la selección del ensayo

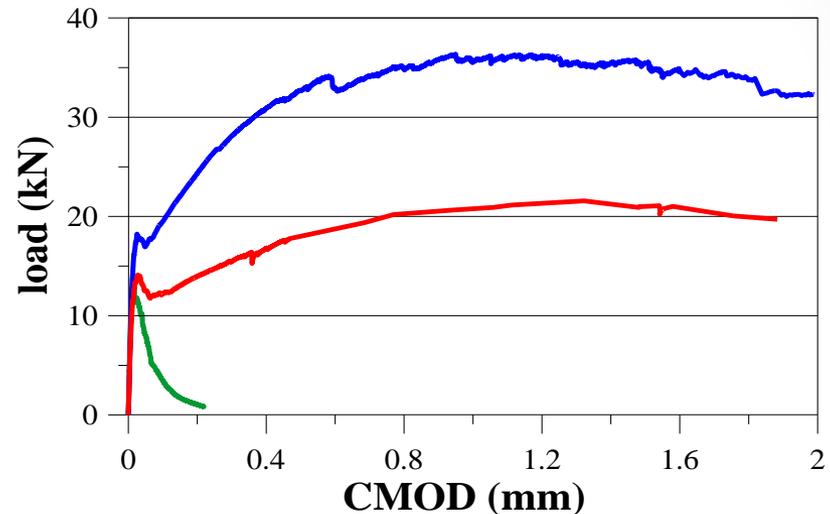


Ensayo a tracción uniaxial (RILEM)



- Ensayo directo propiedades de fractura del hormigón
- **Dificultad ejecución** (distribución en sección ensayada)
- **Imperfecciones** en probeta, aplicación de **carga y sujeción**

Ensayo flexotracción (EN14651:2005)



- Superficie de rotura pequeña y elevada **dispersión de resultados**
- Probetas pesadas (aprox. 30 kg)
- Ensayo lento (aprox. 45 minutos considerando preparación)

Ensayo flexotracción (EN14651:2005)

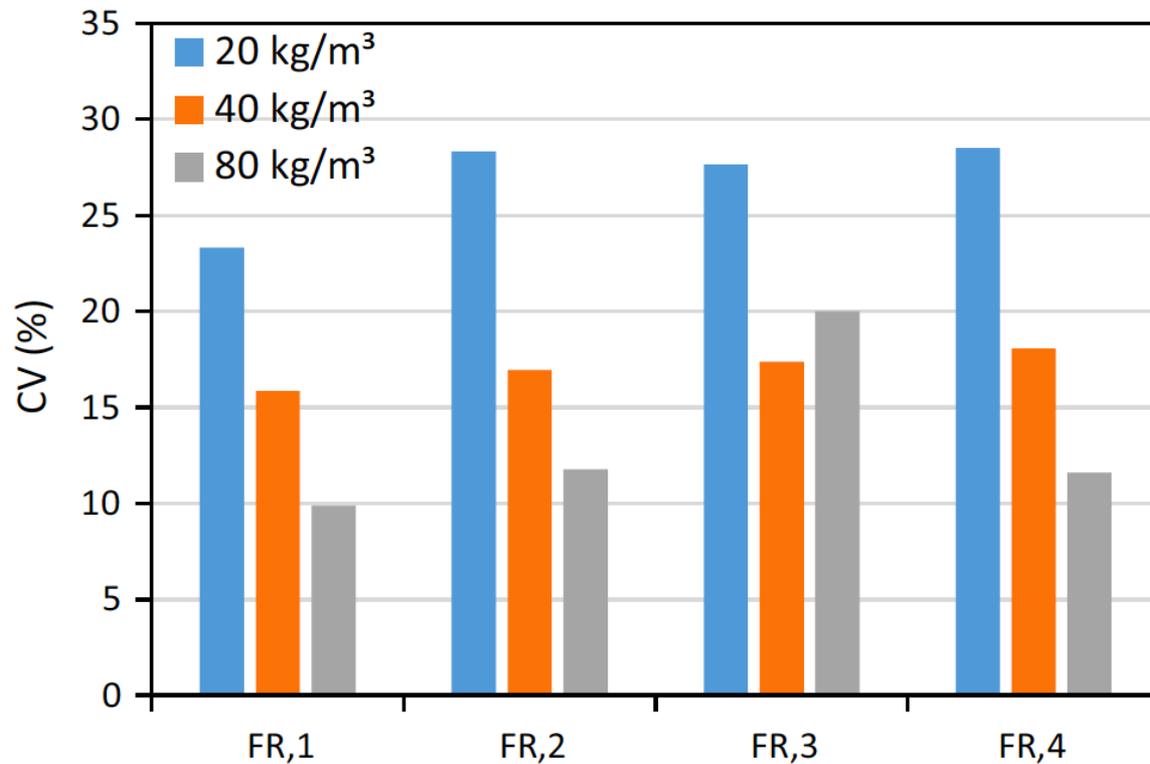
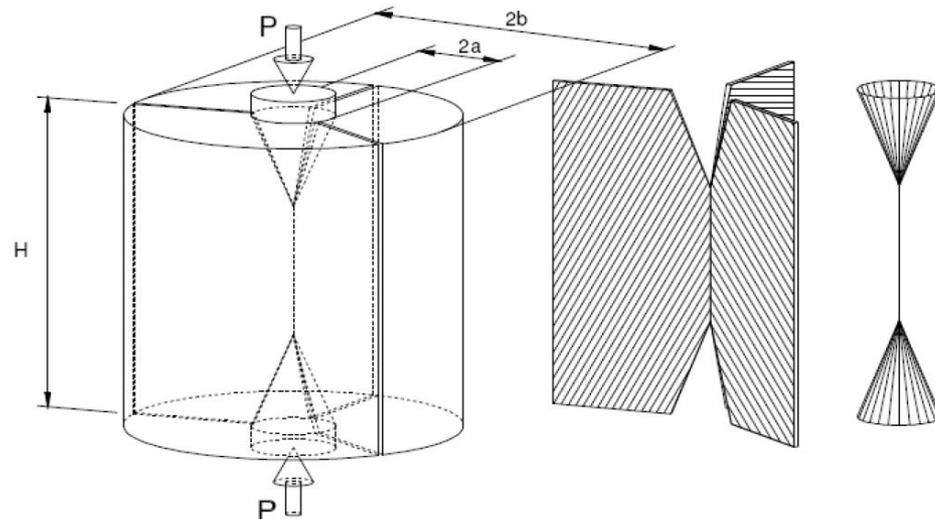
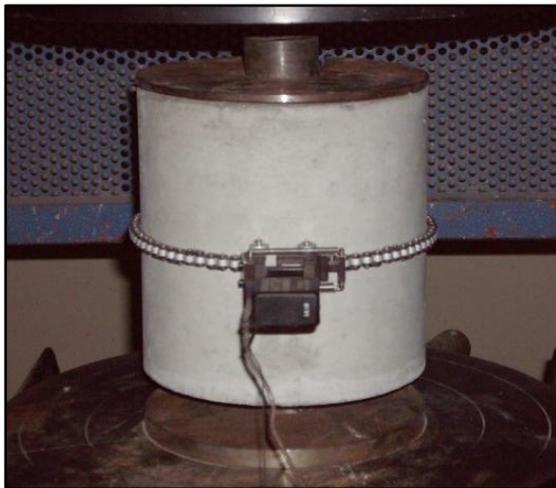


Fig. 1 Coefficient of variance measured in the bending test EN 14651

Ensayo Barcelona (UNE 83515:2010)

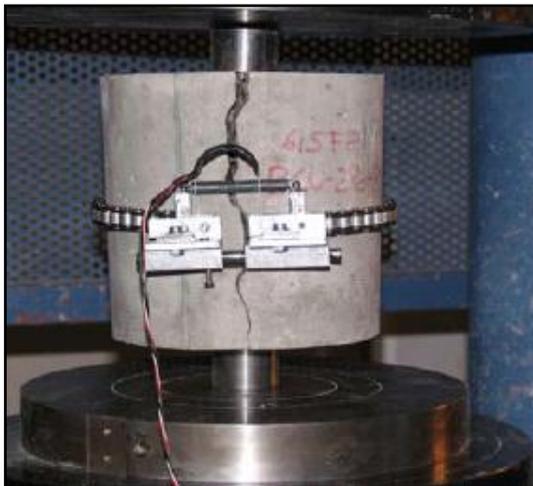
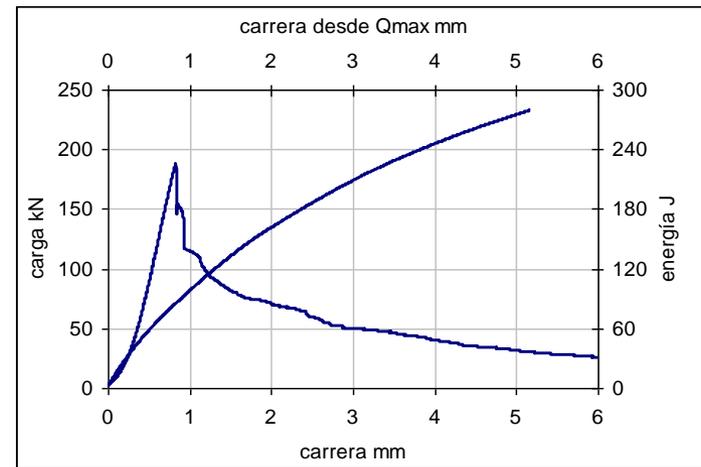
Aplicación de cargas de compresión sobre un cilindro situado verticalmente, mediante puntas de acero cónicas situadas en el centro de las caras planas.



El fallo se produce generalmente en dos o tres planos verticales.

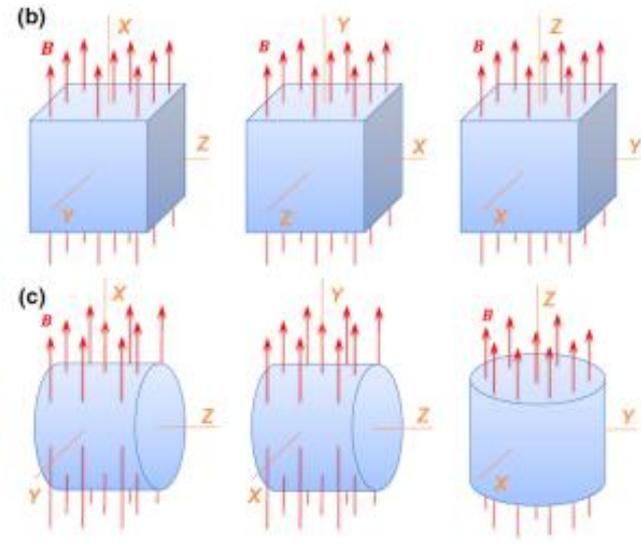
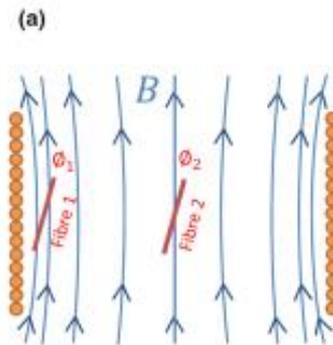
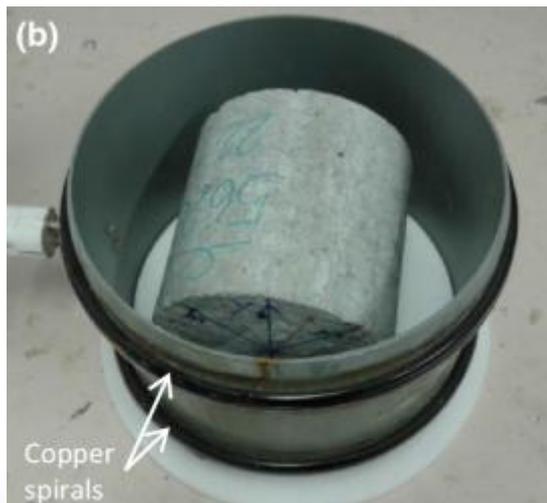
Ensayo Barcelona (UNE 83515:2010)

- Menor dispersión
- Simplicidad ejecución
- Probetas poco pesadas
- Menores costes y tiempos



Método inductivo (contenido y orientación)

- Basado en las propiedades ferromagnéticas de las fibras metálicas que alteran el campo magnético
- Probetas del ensayo Barcelona, en testigos y probetas cúbicas
- Método con gran precisión (errores inferiores al 2%)



BLOQUE 2:

Aplicaciones y normativa vigente

Pavimentos de HRF

Aplicación “estrella” del HRF debido:

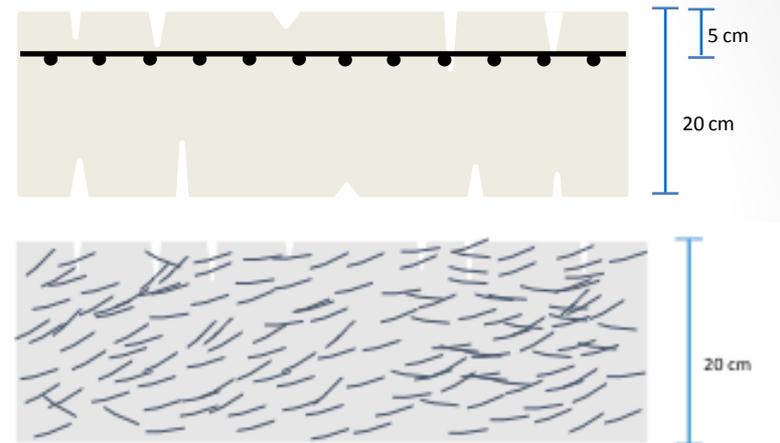
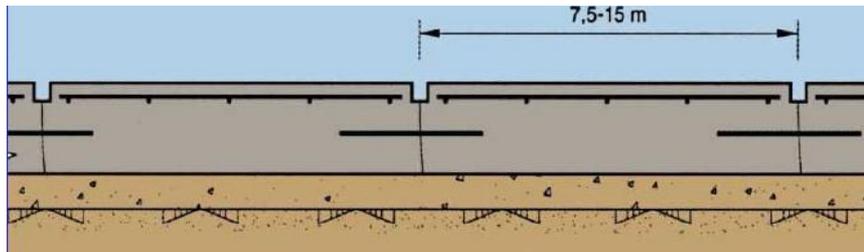
- Control de la fisuración
- Resistencia a flexión
- Resistencia a la fatiga
- Resistencia al impacto



Aspectos económicos (estudio de casos):

1. Función de la armadura: **control de la fisuración**
2. Función de la armadura: **refuerzo estructural**

Caso 1: Control de la fisuración



- Evitar fisuración por razones termohigrométricas
- Controlar abertura de fisuras
- Distanciar mas juntas

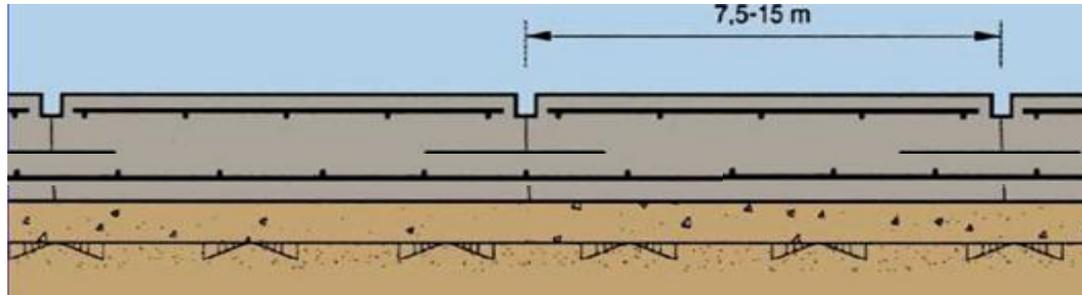
El armado mas común es el 15-15 ϕ 6 mm (cuantía mínima geométrica canto 0,2m \rightarrow 0,075 - 0,1%)

Caso 1: Control de la fisuración

SOLUCIÓN CONVENCIONAL	
Material	
Espesor (m)	0,20
Diametro mallazo (mm)	6,00
Separación (m)	0,15
Posicionamiento (simple)	1,00
Masa acero (kg/m ²)	2,96
Precio acero (€/kg)	1,10
Solape (%)	0,20
Peso separador (kg/m ²)	0,50
Total peso acero (Kg/m ²)	4,05
Incidencia acero (€/m ²)	4,46
Colocación	
Superficie (m)	1000
tiempo bomba (h)	8
Coste bomba (€/h)	150
Coste bombeo (€/m ²)	1,2
TOTAL	
Coste acero + Colocación hormigón (kg/m ²)	5,66

SOLUCIÓN HRF	
Material	
Espesor (m)	0,20
Dosis fibra (kg/m ³)	4,00
Precio fibra (€/kg)	4,00
Total peso fibra (Kg/m ²)	0,80
Incidencia acero (€/m ²)	3,20

Caso 2: Refuerzo estructural



- Capacidad estructural (absorber cargas)
- Controlar abertura de fisuras
- Distanciar mas juntas

El armado mas común es el 2(x15-15 ϕ 8 mm)

Caso 2: Refuerzo estructural

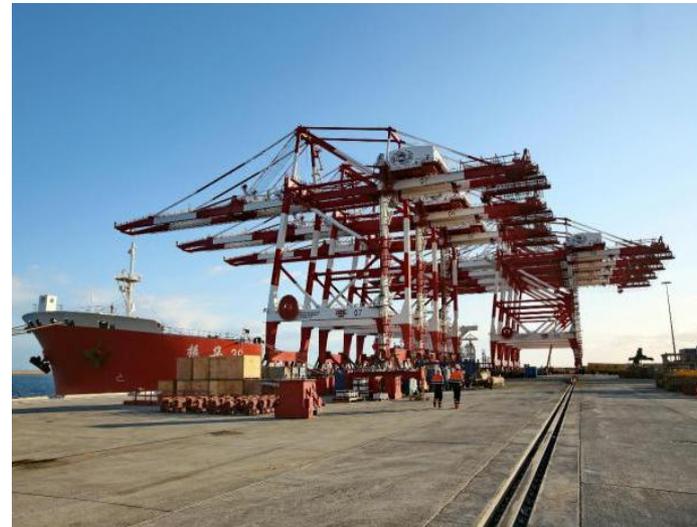
SOLUCIÓN CONVENCIONAL	
Material	
Espesor (m)	0,20
Diametro mallazo (mm)	8,00
Separación (m)	0,15
Posicionamiento (simple)	2,00
Masa acero (kg/m ²)	10,52
Precio acero (€/kg)	1,10
Solape (%)	0,20
Peso separador (kg/m ²)	0,50
Total peso acero (Kg/m ²)	13,13
Incidencia acero (€/m ²)	14,44
Colocación	
Superficie (m)	1000
tiempo bomba (h)	8
Coste bomba (€/h)	150
Coste bombeo (€/m ²)	1,2
TOTAL	
Coste acero + Colocación hormigón (kg/m ²)	15,64

SOLUCIÓN HRF	
Material	
Espesor (m)	0,20
Dosis fibra (kg/m ³)	8,00
Precio fibra (€/kg)	4,00
Total peso fibra (Kg/m ²)	1,60
Incidencia acero (€/m ²)	6,40

Pavimentos portuarios



Pavimentos portuarios



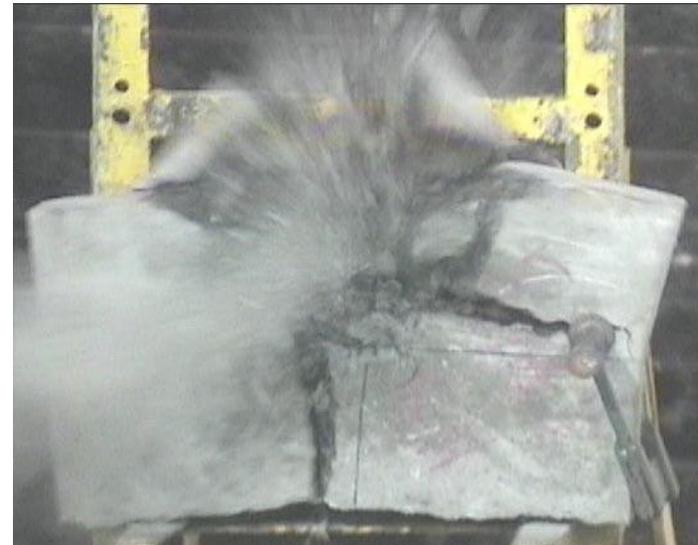
Pavimentos industriales

- Ampliación de la planta de Ford en Almussafes (España)
- Pavimento de HRF con 30 kg/m³ de fibra de acero por condicionantes temporales



Pavimentos en instalaciones militares

- Resistencia al impacto
- Reducción del estallido
- Fisuración múltiple
- Ductilidad



Tubos prefabricados

- Sector con procesos optimizados y estandarizados
- Fibras como factor diferencial frente a alternativas en el mercado
- Sustitución parcial o total de la armadura
- Control de la fisuración (fraguado y etapas posteriores)
- Se evitan problemas asociados a la jaula de armado
- Eliminación de riesgos de incumplimiento de recubrimientos.



Paneles delgados prefabricados



Dovelas para aerogeneradores

- Dovelas prefabricadas de HRF
- Contenidos de fibras entre 30 – 40 kg/m³



Dovelas para túneles



HRF proyectado en túneles

- Gran rendimiento en puesta en obra
- Resistencias elevadas a las pocas horas
- Se evita el uso de malla electrosoldada y los problemas asociados a la misma (posicionamiento y retrasos)



Lámina delgada de HRF proyectado

- Oceanográfico de Valencia (diseño de Félix Candela)
- Espesor de 6 cm
- Malla centrada y HRF proyectado (50 kg/m³)



Aliviadero de presa

- Resistencia a la cavitación y al desgaste



No condicionarse por una experiencia no satisfactoria.

Las causas pueden ser ajenas al material

Forjados en edificación

Centro comercial (Letonia)



Edificio oficinas (Estonia)



Forjados en edificación

Centro comercial (Letonia)



Edificio oficinas (España)



Report on Design
and Construction of
Steel Fiber-Reinforced
Concrete Elevated Slabs

Reported by ACI Committee 544

ACI 544.6R-15

Rehabilitación de estructuras

- HALF: hormigón autocompactante ligero con fibras poliméricas
- Empleado en rehabilitación de estructuras (vigas unidireccionales, bovedillas, etc.).
- Ejemplo: Casa Museo de Gaudí, Barcelona



Mobiliario urbano



Normativa y recomendaciones

2001

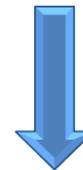
2003

2004

2008

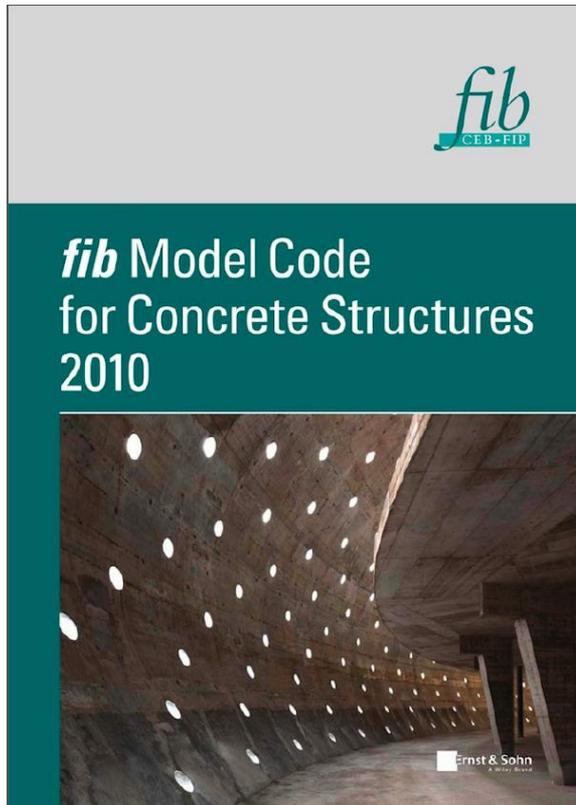
2010

2015



Compilación del conocimiento generado a lo largo de los años

Normativa y recomendaciones



MEASUREMENT OF PROPERTIES OF FIBER REINFORCED CONCRETE		
ACI COMMITTEE 444 REPORT ON THE MEASUREMENT OF MECHANICAL PROPERTIES OF HARDENED FIBER REINFORCED CONCRETE		
Chair	Secretary	Membership Secretary
B. Mobasher	N. Krstulovic-Opara	C. N. MacDonald
Report Prepared by		
Voting Members		
Aldea, Corina-Maria Attigbe, Emmanuel K Bakhchi, Mehdi Banthia Nankumar Barros, Joaquim O.* Bonakdar, Amir * Bordelon, Amanda Charron, Jean-Philippe Destree, Xavier* Dubey, Ashish Ekseel, Mahmut Ferrara, Liberato ** Fischer, Gregor D. Forgeron, Dean P.* Garcia Taengua, Emilio Gupta, Rishi	Helmink, Heidi Hoff, George Invernizzi, Marco Jones, John Krstulovic Opara, Neven Lange, David A. Mahoney, Michael A. MacDonald, Clifford N. Massicotte, Bruno Milligan, James Mitchell, Jr, Nicholas C. Mobasher, Barzin* Novak, Jeffrey L. Pizzari, Giovanni Rieder, Klaus A.	Rossi, Pierre Schaeff, Steve Shah, Surendra P. Silva, Flavio de Andrade Sorelli, Luca West, Thomas E. Wille, Kay Zellers, Robert C. Aoude, Hassan* Naaman, Antoine, E.* Vossoughi, Fariborz *
1	*Members of subcommittee who contributed to the document	
2	** Chair of the Subcommittee C who developed the document	
3	* Consulting and Associate members who contributed to the document.	

Conclusiones

- Criterios de dosificación en función de la aplicación
- Caracterización / control de calidad simplificado
- Amplia experiencia internacional con éxitos de aplicación en diversos ámbitos (obra civil, edificación, elementos singulares)
- Documentos de referencia para el diseño de estructuras de HRF basados en el conocimiento generado



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Construcción y aplicaciones del HRF

AVANCES EN TECNOLOGÍA DEL HORMIGÓN

Montevideo, 2 de diciembre de 2015

ANA BLANCO