



HORMIGON AUTOCOMPACTANTE REFORZADO CON FIBRAS

Dr. Ing. Raúl Zerbino



Facultad de Ingeniería - UNLP



Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario
para la Investigación Tecnológica

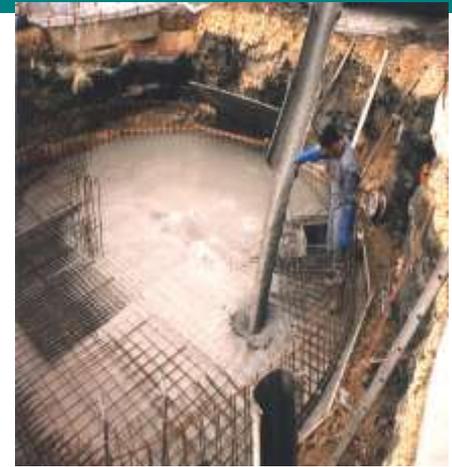
Nuevos hormigones ... avances en el desarrollo ...

- en principio en respuesta a los requerimientos de **mayor performance** por parte del medio
- en la última década se extienden al campo del hormigón requerimientos vinculados con la **sustentabilidad...**

Contenido

- Por qué HAC. Propiedades, ventajas y aplicaciones.
- Por qué HRF. Propiedades, ventajas y aplicaciones.
- Perspectivas que brinda el HACRF
- Desarrollo en laboratorio
- Propiedades particulares. Estudios recientes sobre orientación del refuerzo.

Qué es HAC?



- 1) ... un hormigón capaz de fluir en el interior de los encofrados, pasar a través de las armaduras de refuerzo y llenar el mismo, compactándose solamente por la acción de su propio peso. (Okamura, 1997).
- 2) ... habilidad de llenar los encofrados y encapsular a las armaduras bajo la acción de su propio peso, y mantener su homogeneidad. (Ake Skarendahl).

HAC

Requerimientos

Capacidad de llenado

**Llenado completo,
encapsulado de las armaduras**

Resistencia a la segregación

Mantener homogeneidad

Capacidad de pasaje

**Atravesar obstáculos,
secciones densamente armadas**

HAC

Hormigón del futuro

Valoración superficial

Duración de los moldes

Ahorro en personal

Formas imposibles de alcanzar con un hormigón convencional

Colocación rápida y simple

Menor generación de ruidos

~~Compactación Mecánica~~

Costo

Pese al mayor costo directo del material, el uso del Hormigón Autocompactante permite notables ahorros en la obra, producto de:

- Alta velocidad de colocación del hormigón.
- Reducción de los plazos de construcción.
- Ahorro en mano de obra.
- Ahorro en equipos y maquinaria.
- Reducción de contaminación sonora (trabajo continuo).
- **Alta calidad y durabilidad.**
- **Superficies sin defectos.**

Aplicaciones pioneras

- **Puentes (bloques de anclaje, pilas)**
- **Tanques de almacenamiento de gas licuado**
- **Revestimiento de túneles**
- **Columnas de edificio**
- **Estructuras sandwich**
- **Reparaciones**
- **Elementos prefabricados**
- **Fundaciones**
- **Tuberías**
- **Diversos elementos estructurales**

Aplicación en elementos prefabricados – Mobiliario Urbano

Modelo Banc-U 140/Silla-U
Modulable, Simplemente apoyado
Producto de Escofet



Características:
peso: 815/408 kg
espesor mínimo: 53 mm
ángulo mínimo: 55°

Pruebas a Escala Industrial en Planta

Hormigón vibrado



Tiempo: 10 min
Personal: 3

HAC



Tiempo: 3,5 min
Personal: 1-2

Acabado superficial

Acabado del banco



Se puede conseguir una gran variedad de acabados de alta calidad.



Otras pruebas de texturas



Ventajas del Hormigón Autocompactante

- Mejora la calidad (reduce el rechazo de piezas por el cliente, reduce el coste del acabado manual).
- Mejora la durabilidad (reduce la permeabilidad).
- Reduce los tiempos constructivos.
- Elimina la vibración (prolonga la vida útil del molde, reduce el ruido, mejora el entorno de trabajo, elimina la necesidad de equipos y personal para la compactación).
- Se pueden utilizar materiales alternativos (cenizas volantes, puzolanas, arenas finas).
- Facilita diseños más complejos.

HAC – Aplicaciones en Argentina

Despachos HAC - Hormigones Lomax GBA + ROSARIO

<i>Obra</i>	<i>Año</i>	<i>Clase</i>	<i>Adición</i>	<i>Tipo Estructura</i>	<i>Elemento</i>	<i>Volumen [m3]</i>
Edificio Banco Galicia	2001	H38	Filler	Bóveda de Caudales	Tabiques	117
Edificio Banco Galicia	2001	H47	Escoria	Edificio Gran Altura	Columnas	767
Planta Procter & Gamble	2001	H38	Filler	Silos	Tabiques	190
Casa Nordelta	2003	H30	Escoria	Fundaciones	Pilotes	104
Torres de Palermo	2003	H30	Escoria	Edificio Altura	Tabiques Vistos	694
Monumento	2003	H47	Escoria	Monumento	Premoldeados	14
Torre Bellini	2004	H30	Escoria	Edificio Altura	Columnas Vistas	414
Edificio Corporativo YPF	2004	H47	Escoria	Edificio Gran Altura	Losas (Bombeo a 140 m)	12963
Torres Dolfines Guarani Rosario	2006	H47	Escoria	Edificio Gran Altura	Losas (Bombeo a 140 m)	1280
Torres Dolfines Guarani Rosario	2006	H60	Escoria	Edificio Gran Altura	Columnas	290
Planta Sintoplast	2006	H30	Escoria	Edificio Oficinas	Tabiques	79
Torres Mulieris	2007	H47	Escoria	Edificio Gran Altura	Losas, Tabiques Vistos	14500
Hotel Eurobuilding	2007	H30	Escoria	Cisterna Agua	Tabiques	94
AUSA	2007	H30	Escoria	New Jersey	Premoldeados	145

Despachos HAC - Hormigones Lomax GBA + ROSARIO

<i>Obra</i>	<i>Año</i>	<i>Clase</i>	<i>Adición</i>	<i>Tipo Estructura</i>	<i>Elemento</i>	<i>Volumen [m3]</i>
Torres del Yacht	2008	H47	Escoria	Edificio Gran Altura	Losas, Tabiques Vistos	16639
Torres del Yacht	2008	H60	Escoria	Edificio Gran Altura	Losas, Tabiques Vistos	356
Obras AYSA	2008	H30	Escoria	Conductos AYSA	Varios	155
Obras AYSA	2008	H47	Escoria	Relleno Subterráneo	Varios	295
Madero Office	2009	H47	Escoria	Edificio Gran Altura	Losas, Tabiques Vistos	6941
Madero Office	2009	H60	Escoria	Edificio Gran Altura	Columnas	1640
Madero Office	2009	H80	Escoria	Edificio Gran Altura	Columnas	1018
Torres Maui Rosario	2010	H47	Escoria	Edificio Gran Altura	Tabiques, Losas	1086
Torres Maui Rosario	2010	H60	Escoria	Edificio Gran Altura	Columnas	578
Durmientes	2010	H60	Escoria	Durmientes Ferroviarios	Premoldeados	971
Alvear Tower	2010	H47	Escoria	Edificio Gran Altura	Tabiques	752
Arroyo Maldonado	2011	H38	Filler	Tapón Fondo Pozo Salida	Macizo bajo agua	879
Subte Linea B	2011	H38	Escoria	Varios	Varios	260

HAC - HORMIGONES AVELLANEDA

2001. Ampliación de la planta Cementos Avellaneda en Olavarría. Cerca de 1000 m³ de H-35, para para llenar columnas huecas y una viga cajón pretensada.

2005 / 2008. Atucha, H-38, 30 m³ construcción de cilindros huecos para depósito de residuos.

2008. 30 m³ H-38, tabiques laterales para refuerzo de silo.

2008. Sika. 80 m³ de H-30 y H-38, para llenar base y columnas densamente armadas.

2010. Hotel Alvear, 100 m³, H-38, tanque de agua de muy difícil acceso.

HORMIGONES AVELLANEDA

HAC de alta resistencia (H-60), en la ciudad de Mendoza.

Uso de materiales locales y colocado en clima riguroso.

Diseño en laboratorio

Aplicación en obra

HAC de alta resistencia (H-60)

Ajuste del mortero



HAC de alta resistencia (H-60)

Ajuste del mortero



HAC de alta resistencia (H-60)

Obtención en laboratorio del HAC



HAC de alta resistencia (H-60)

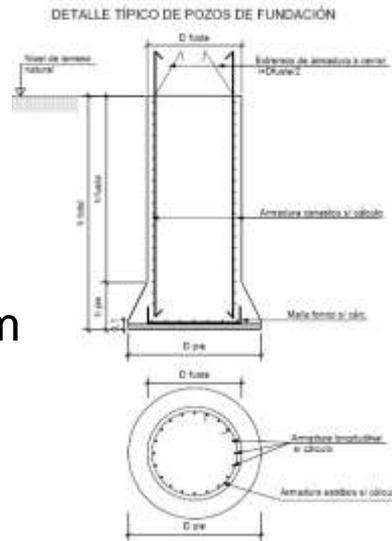
Datos de las estructuras coladas

Tabique:

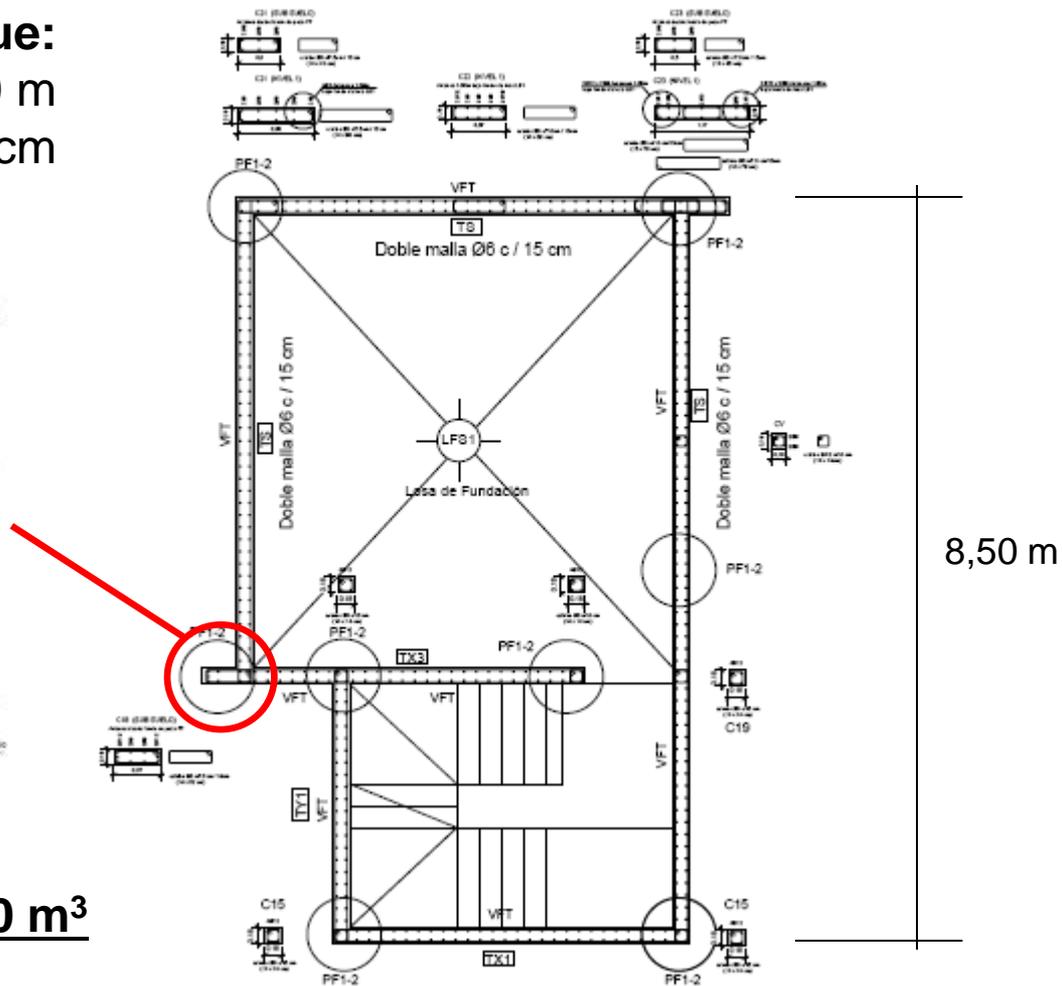
Espesor: 0,18 m, altura: 2,70 m
Armadura: Doble malla $\varnothing 6$ c/15 cm

Pozo de fundación:

Diámetro: 0,70 m
Altura: 2,00 m



DETALLE TABIQUES DE SUB SUELO



Volumen de H° (pozo + tabique) $\approx 20 \text{ m}^3$

HAC de alta resistencia (H-60)

Refuerzo de los encofrados



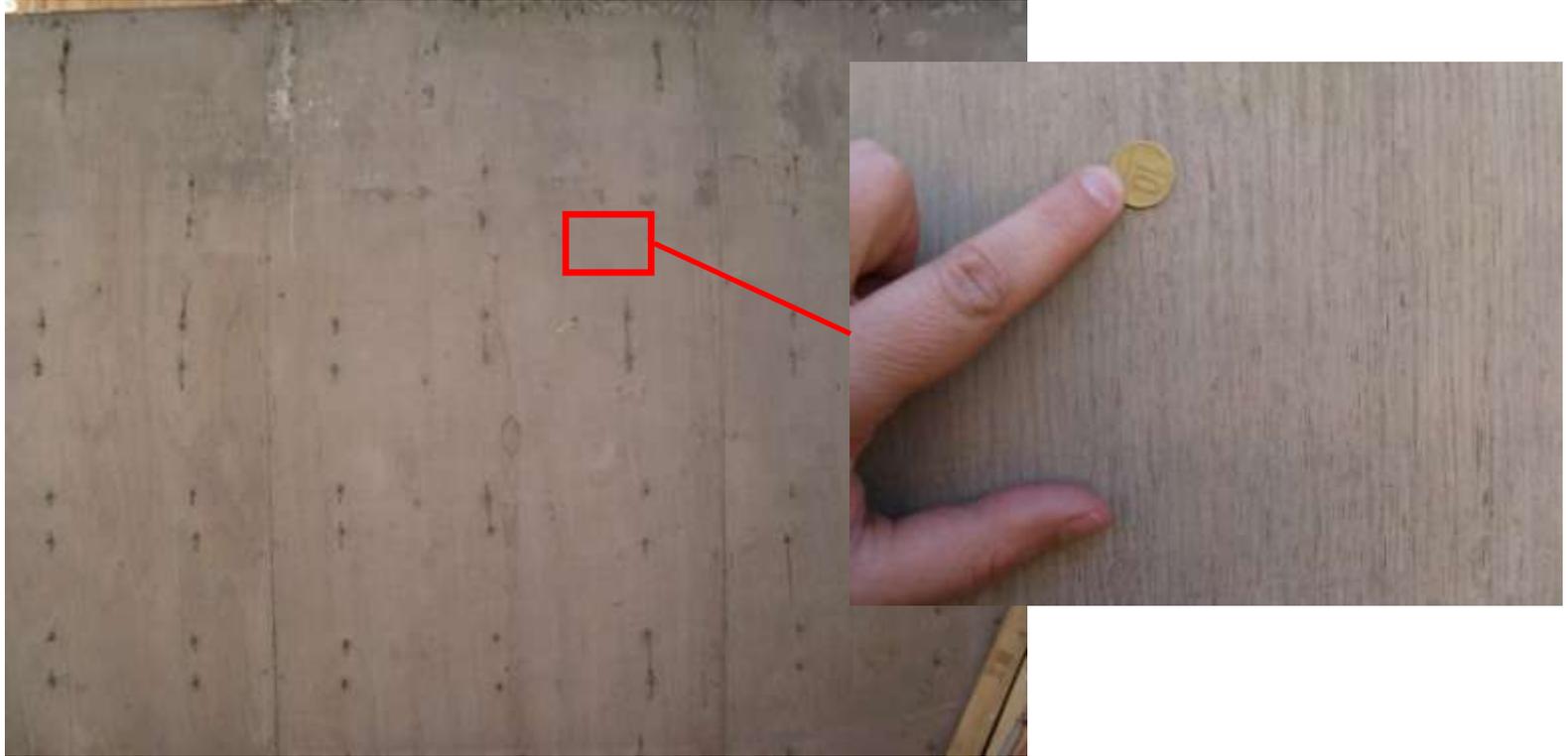
Propiedades del HAC

Df : 650 mm

TV: 4 s

f'c: 74 MPa

HAC de alta resistencia (H-60)



Permitió disminuir la mano de obra y los tiempos de ejecución.

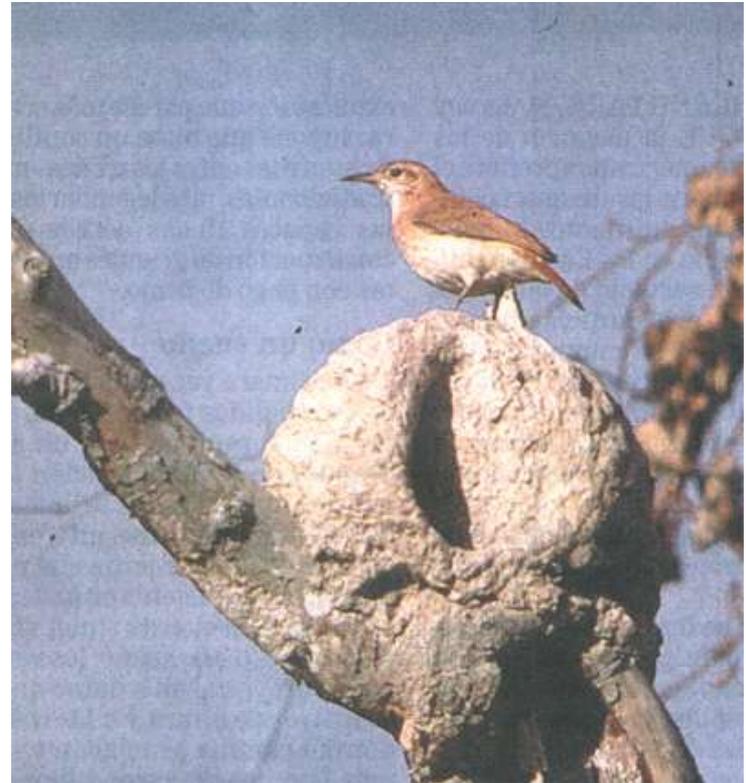
La terminación superficial fue excelente.

No se observó asentamiento plástico típico en hormigón convencional

Materiales reforzados con fibras

Matrices

Resinas poliéster,
epoxi, metálicas,
cerámicas,
cemento portland...



Morteros y hormigones con fibras

Fibras

Acero

Vidrio

Polipropileno

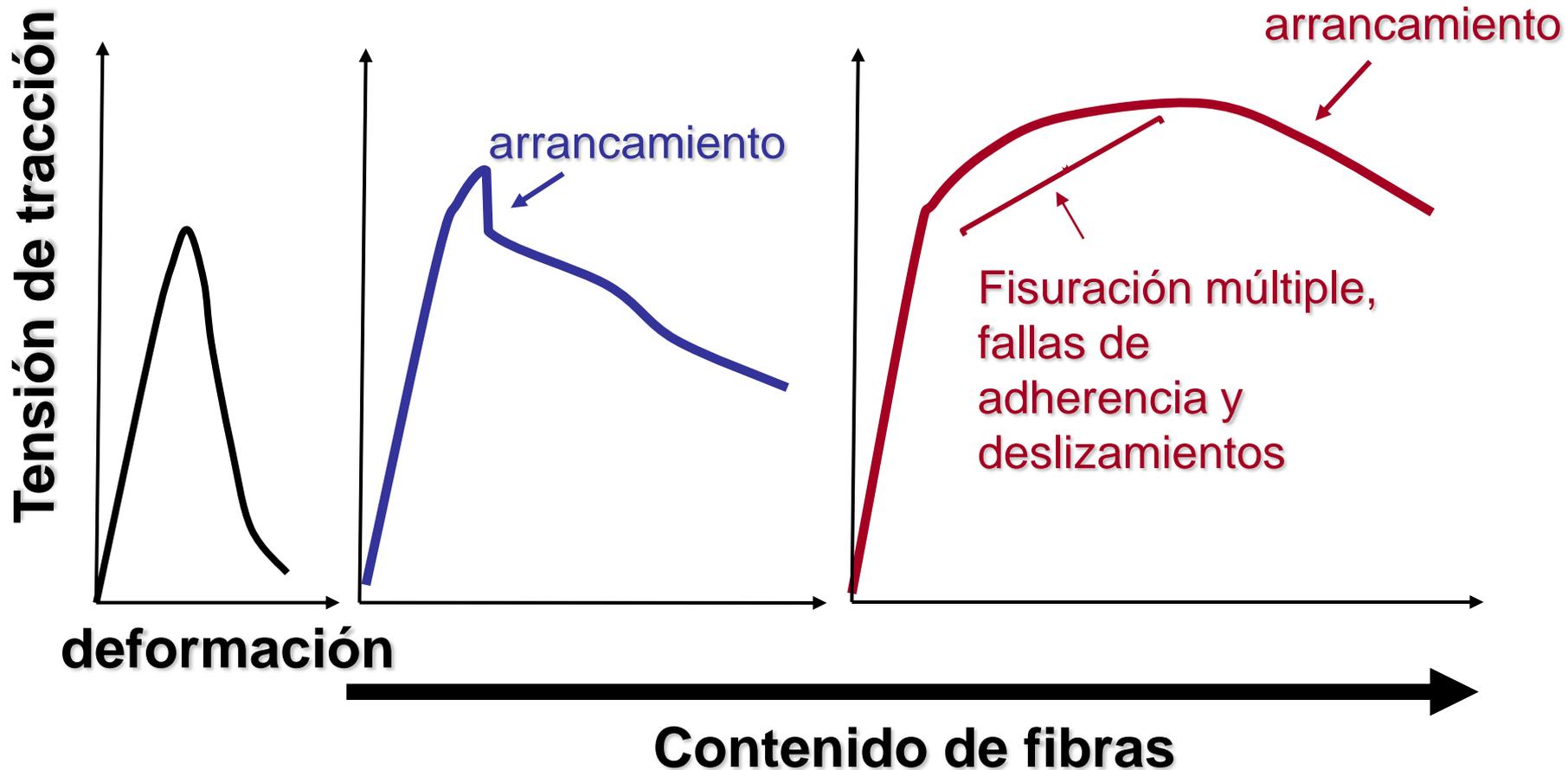
Naturales

Carbono



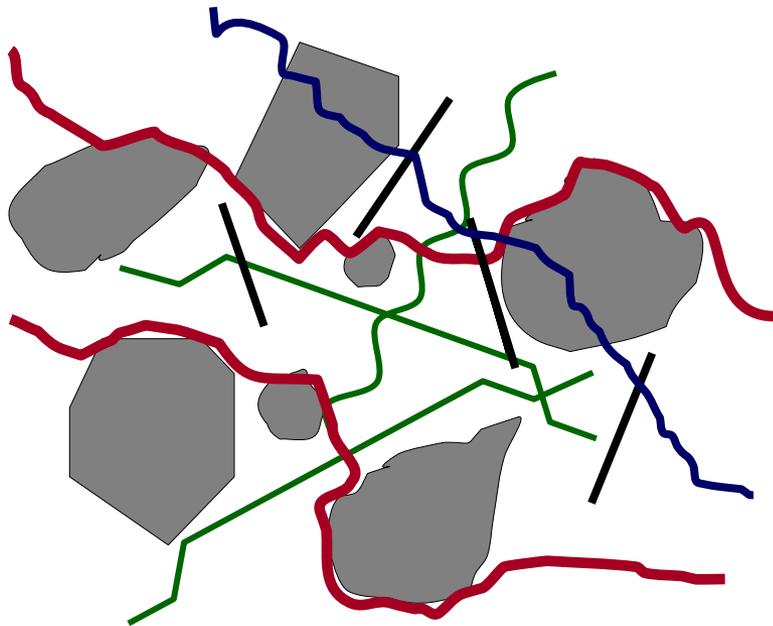
¿Por qué incorporar fibras?

En el compuesto al incorporar fibras resistentes dentro de una matriz frágil, crece la capacidad de carga post-fisuración



Parámetros de las fibras:

- Longitud, l
- Diámetro, d , o aspecto geométrico, l/d
- Volumen, V_f



Cuando las fisuras se propagan principalmente por las interfaces mortero-agregado (hormigón convencional), la fibra será efectiva si su longitud es mayor que el tamaño máximo del agregado (d_{max}).

➤ $l \geq 2.5 d_{max}$

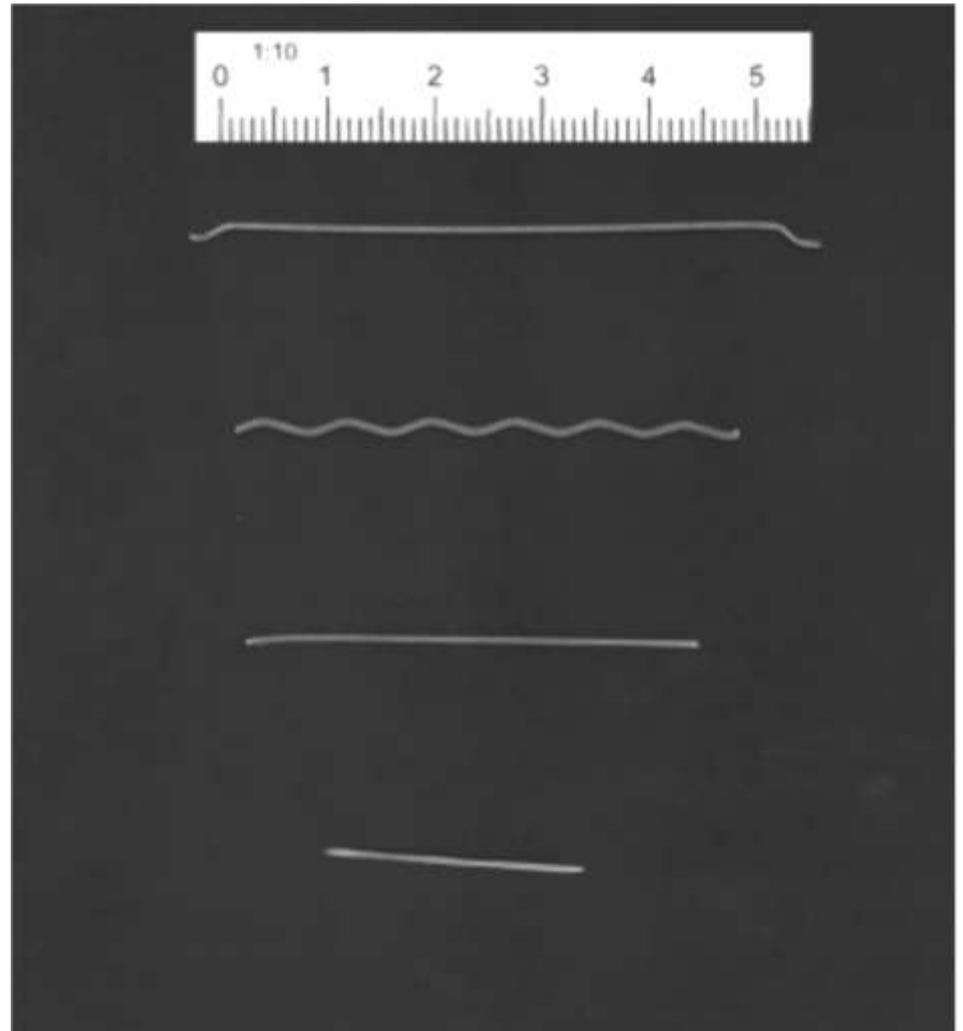
Cuando existe fisuración a través de los agregados (HAR), el largo de la fibra no es tan importante como el V_f (que suele ser mayor que en hormigones convencionales).

Fibras de acero

volúmenes en hormigón

entre 0.25 y 1 %

entre 20 y 80 kg/m³



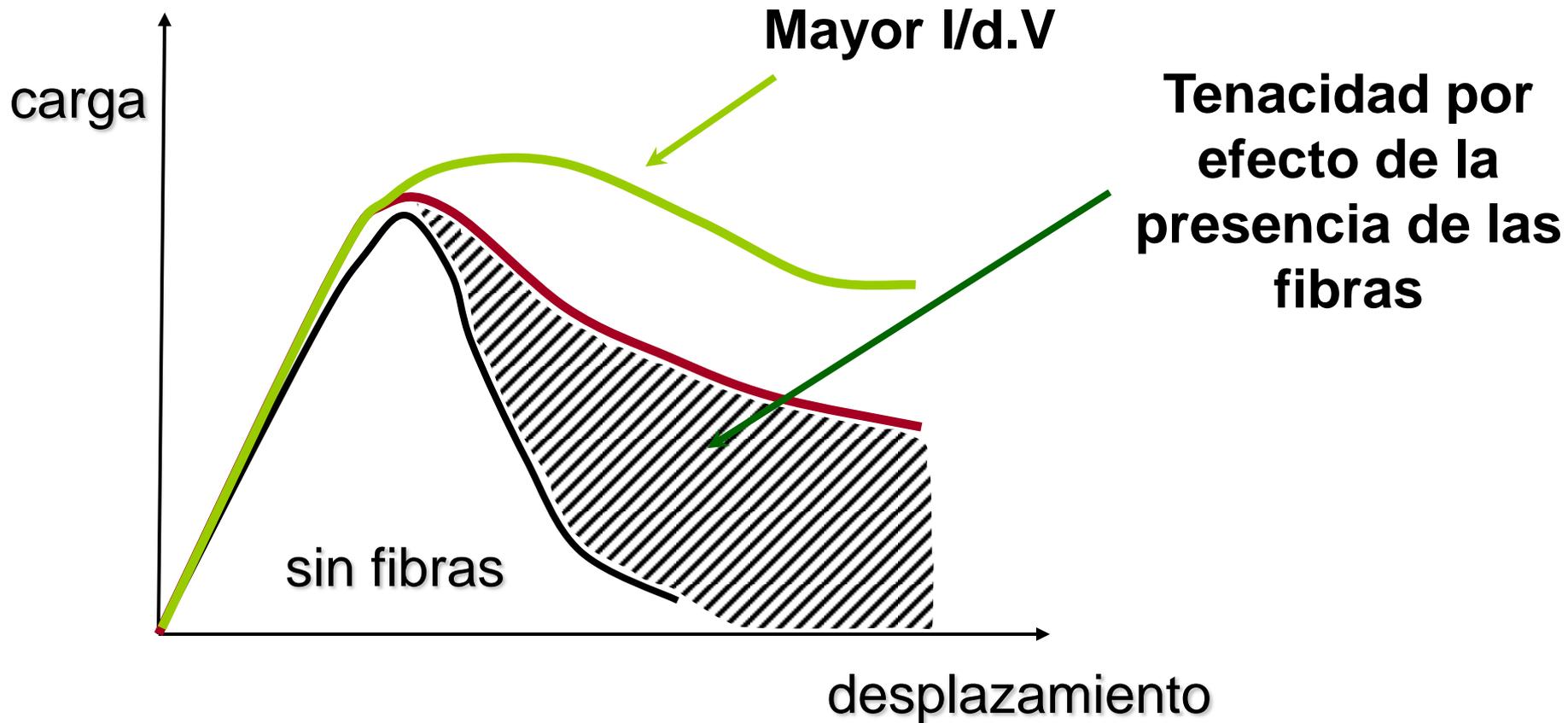
Fibras sintéticas



Macrofibras
entre 2 y 8 kg/m³

Microfibras
unos 0,6 kg/m³

Carga – desplazamiento en flexión



Efecto de las fibras

```
graph TD; A[Efecto de las fibras] --> B[Control de fisuración]; B --> C[Incrementos de: Tenacidad]; B --> D[Control de los efectos de la contracción]; C --> E[Resistencia a tracción]; C --> F[Resistencia a compresión];
```

Control de fisuración

Incrementos de:
Tenacidad

Resistencia a tracción

Resistencia a compresión

Control de los efectos de la contracción

Ventajas que pueden motivar la elección del HRF frente al hormigón armado convencional

Costos de suministro y ahorro de tiempos de obra para la ubicación de las barras convencionales soldadas

Beneficios de salud y seguridad en los operarios durante el manipuleo del refuerzo

Solución de problemas derivados de defectos en la ubicación del refuerzo

Aumentos de ductilidad o tenacidad estructural



Aplicaciones



Hormigones con fibras de acero

Guidance for the Design of Steel-Fibre-Reinforced Concrete.
Concrete Society, Tech Report N°63, March 2007

- **Losas**

Losas sobre el piso: pisos industriales, caminos, aeropuertos y áreas pavimentadas exteriores, overlays, railways

Losas elevadas: Sobre pilas (losas de 3x3 a 4x4 aprox) o sobre columnas eliminando todas las armaduras

In situ, combinado con hormigón armado convencional: reducción del 50 % de armaduras en estructuras para contención de aguas; reemplazo de armaduras en muros; reemplazo en fundaciones de casas, muros de seguridad ante impactos

Losas compuestas con perfiles de acero

- **Elementos premoldeados**

Segmentos para túneles (transporte y manipuleo)

Tanques de almacenamiento, tuberías (formas, fatiga, durabilidad)

Vigas y paneles

Hormigones con fibras de acero

Guidance for the Design of Steel-Fibre-Reinforced Concrete.
Concrete Society, Tech Report N°63, March 2007

- **Hormigón proyectado**

Minería, túneles, proyectos hidráulicos: eliminación de mallas, adaptación a movimientos de tierra súbitos, mejoras en la adherencia sustrato – hormigón

Revestimiento de túneles (alto rendimiento, automatización),
Estabilizado de taludes.

Reparaciones: puentes, edificios, túneles, estructuras en el mar,
torres de enfriamiento

- **Estructuras expuestas a impactos y explosiones**

- **Durabilidad** (para $w < 0.5$ mm no se detecta corrosión).

Hormigones con macrofibras sintéticas

Guidance on the use of Macro-synthetic-fibre-reinforced Concrete.
Concrete Society, Tech Report N°65, April 2007.

Si es admisible cierta apertura de fisuras pueden ser más eficientes que las de acero; si hay fuego su uso es cuestionable pues se degradan.

Losas sobre el piso: Pavimentos y playas de estacionamiento (mejoras en zonas expuestas a sales descongelantes), caminos, pisos, refuerzo de losas para trenes (efectos magnéticos)

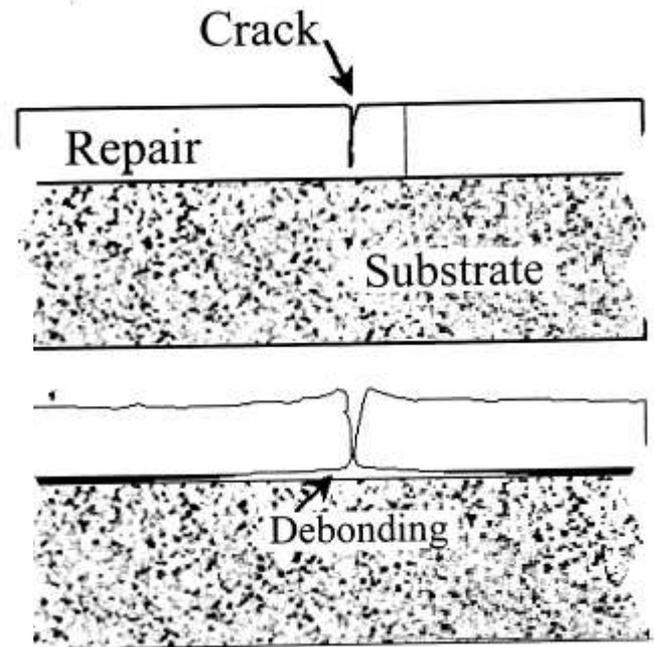
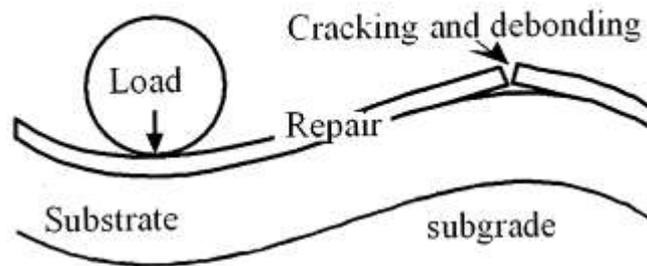
Hormigón proyectado: Túneles y minería; pueden reemplazar a las de acero y ser convenientes en ambientes agresivos (corrosión) y por el menor desgaste en los equipos; la pérdida de performance por fuego puede inhabilitarlas.

Construcción in situ: revestimiento de túneles; en aplicaciones marinas en reemplazo de las de acero, muros, estructuras para contención de aguas.

Elementos premoldeados: baldosones para veredas, tanques y tuberías (formas, fatiga, durabilidad), paneles para viviendas.

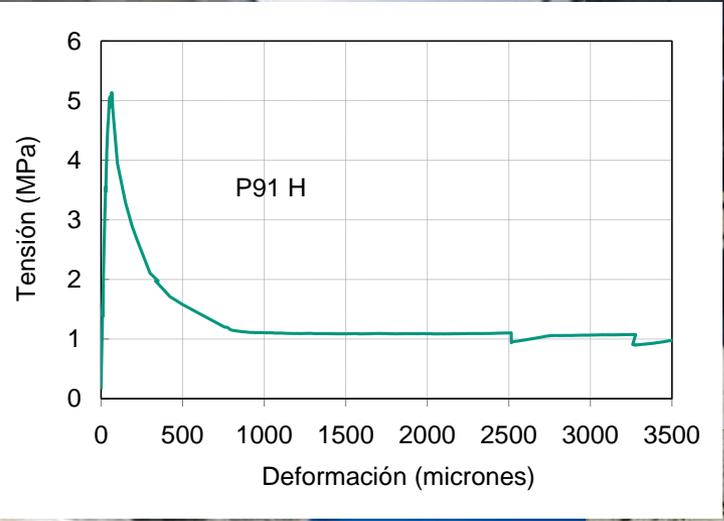
Aplicaciones de HRF

Fibras en overlays



Durability of bonded cement-based overlays...

Turatsinze et al, Materials & Structures 38, 2005



Ruta 24 Uruguay



HORMIGONES AUTOCOMPACTANTES CON FIBRAS

Ventajas del HAC

- Eliminación del trabajo de compactación
 - Reducción del tiempo de construcción
 - Menor contaminación acústica
 - Mejor homogeneidad del material resultante
 - Facilidad de operación
 - Ahorro en personal y equipos
 - Acceso a zonas densamente armadas
 - Excelente terminación superficial
- + fibras**
- Aumento de ductilidad o tenacidad estructural
 - Mayor durabilidad
 - Reducción de tiempo (sustitución total o parcial de estribos)

HACRF para reparación y refuerzo de estructuras de hormigón

En la actualidad crecen las actividades relacionadas con el refuerzo y/o reparación de estructuras (Farhat et al 2007; Wang & Lee 2007; Kim et al 2007). A veces no es viable el reemplazo total de la estructura, ya sea por razones económicas o por imposibilidad de cese de funcionamiento (Li et al 2000).

Entre las técnicas de refuerzo para reparar estructuras es eficiente la adhesión de capas finas de morteros u hormigones, pero en ocasiones plantea problemas de durabilidad. La interfaz se despega si se fisura la reparación. Recubrimientos con mayor resistencia a tracción reducen el riesgo de fisuración.

La armadura convencional condiciona el espesor del recubrimiento.

HACRF para reparación y refuerzo de estructuras de hormigón

El HRF resulta apto para refuerzo y/o reparación por su

- mayor tenacidad
- fisuración más extendida con menores anchos (Altun et al., 2007)
- modo de falla dúctil (Lee, 2006)
- resistencia al corte (Juárez et al., 2006)
- resistencia a cargas dinámicas (Campione y Mangiavillano, 2008)
- excelente desempeño frente a ciclos de congelación y deshielo, resistencia al arrancamiento de armaduras, buena adherencia entre capas de hormigones (Wang y Lee, 2007).
- las fibras de acero, a diferencia de las armaduras convencionales, prácticamente no presentan riesgos de corrosión (Nguyen, Toumi y Turatsinze 2010). Esto incluso desaparece si se emplean macrofibras sintéticas.

HACRF para reparación y refuerzo de estructuras de hormigón

Por su lado el uso de HAC es

- cómodo para trabajar en espesores pequeños (Massicotte y Boucher-Proulx 2008, Mesbah et al 2000, Cunha et al 2010).
- la zona de interfaz entre agregados y pasta es mejor
- presenta menos defectos internos (Ding et al 2011).

Desarrollo y caracterización de Hormigones Autocompactantes Reforzados con Fibras

Desarrollo de HAC con fibras de acero

Barragán, B., Giaccio, G., Soriano, M. y Zerbino, R.

15 R Técnica AATH, 2003

Componentes	kg/m³
Agua	142
Cemento fillerizado	465
Filler calcáreo	63
Arena natural	1025
Piedra (14 mm)	665
Fibras de acero	0 – 20 – 40 - 60
Aditivo (líquido)	1,5

Desarrollo de HAC con fibras de acero



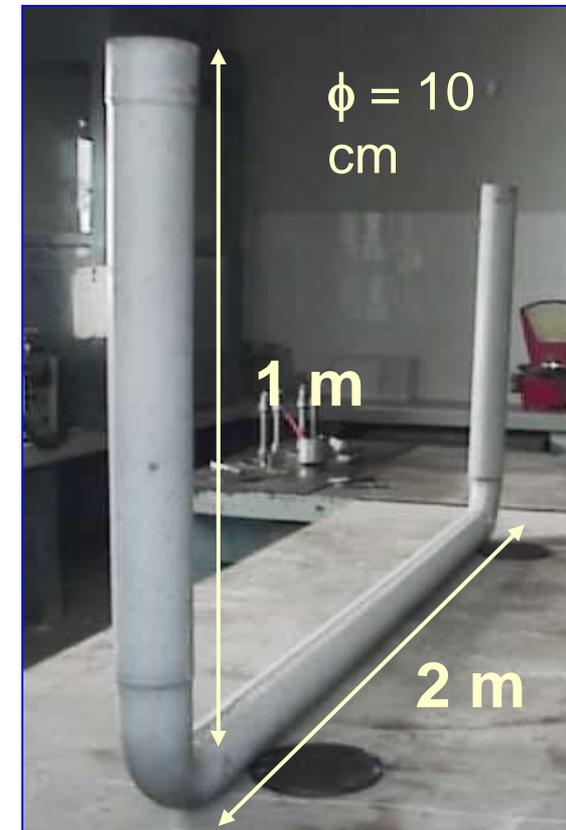
Desarrollo de HAC con fibras de acero

Estado Fresco

Hormigón	Slump flow		V - funnel	L - Box	Box - filling capacity
	T_{50} (s)	Df (mm)	T_V (s)	(RB_L)	(RB_F)
HAC	6	645	9	0,84	0,95
HACRFA-20	4	655	4	0,92	0,98
HACRFA-40	5	650	5	0,89	0,93
HACRFA-60	7	650	11	0,75	-

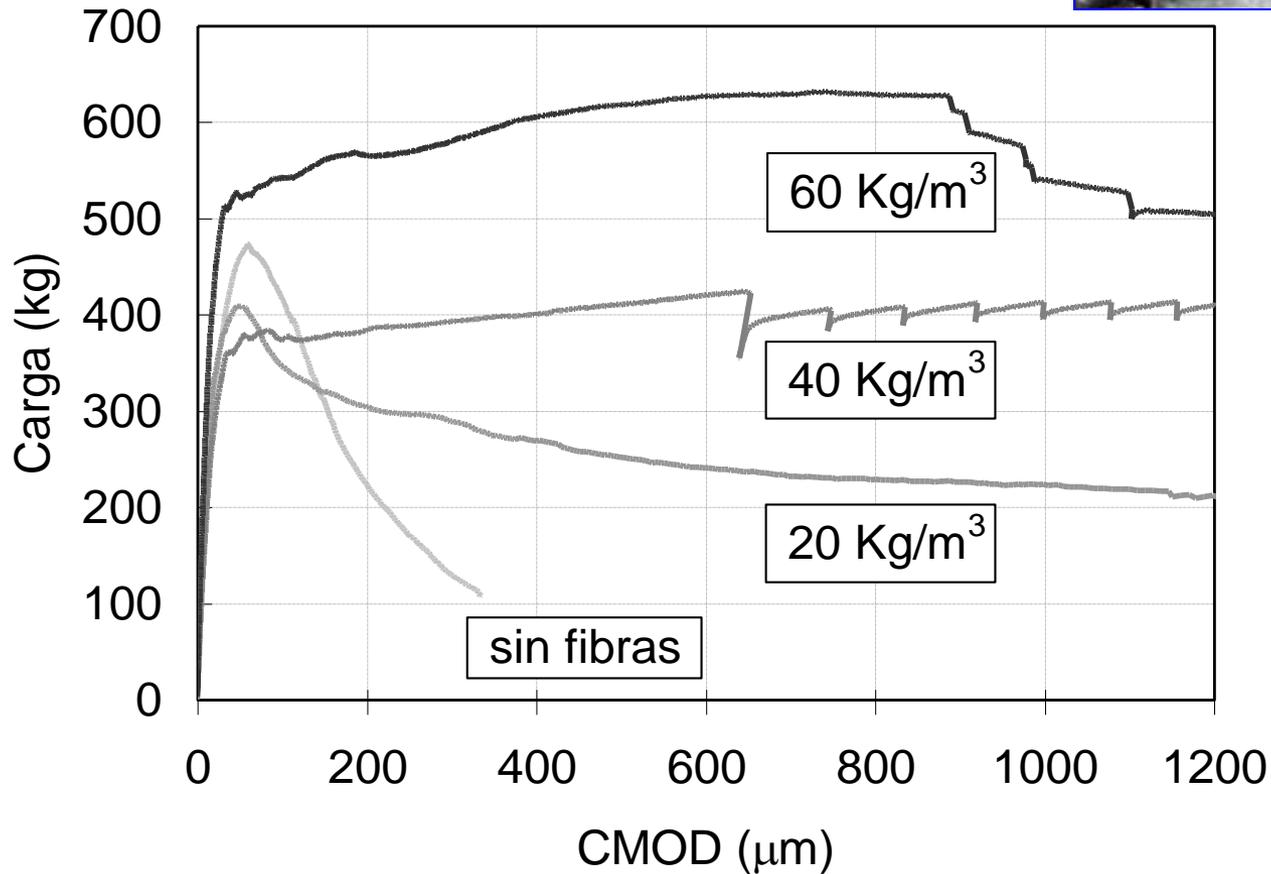
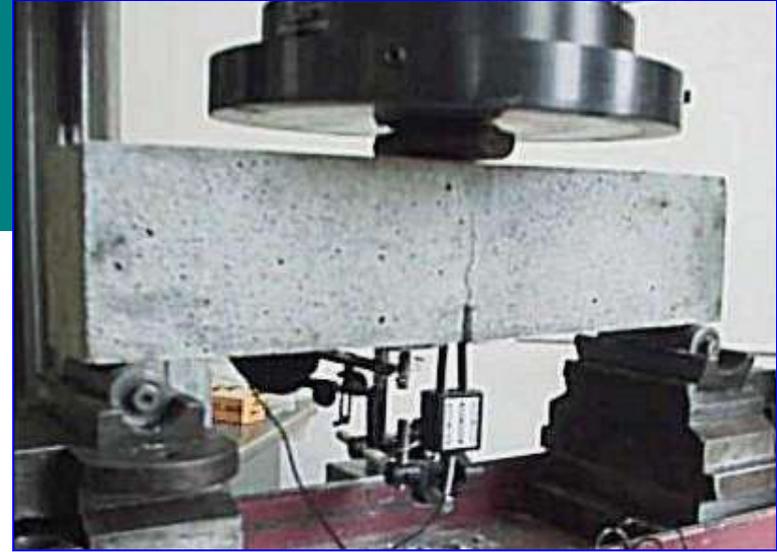
Desarrollo de HAC con fibras de acero

Estudio de la **resistencia a la segregación** en el HAC reforzado con 40 kg/m^3 de fibras.



HAC con fibras de acero

Ensayo de flexión



Aplicación de HACRF en muros delgados

Barragán B., Zerbino, R. Gettu, R. De la Cruz, C. and Bravo, M. 6th Int Cong Global Construction, 2005, Dundee, Scotland,



Aplicación de HACRF en muros delgados



Aplicación de HACRF en muros delgados



Aplicación de HACRF en muros delgados

Hormigón fresco

- Ecurrimiento sin fibras: 620 mm, con fibras: 650 mm, $T_{50} = 2$ s.
- Embudo en V:
T_v: sin fibras 6 s, con fibras 8 s

Hormigón endurecido

- $f'c$ a 28 días = 75 MPa
- Distribución uniforme del árido grueso

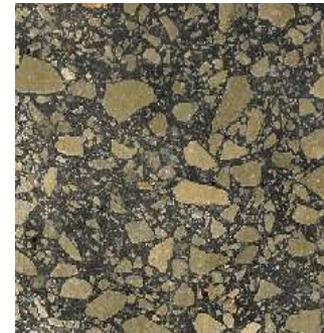
Superior



Medio



Inferior



HAC con macrofibras sintéticas

Tobes, J. M., López, A., Giaccio, G. y Zerbino, R.
Ciencia y Tecnología del Hormigón N 15, 2008.



HACRF: Llenado de elementos esbeltos

M. C. Torrijos, B. Barragán and R. Zerbino
Construction and Building Materials 22 (2008) 1780–1788



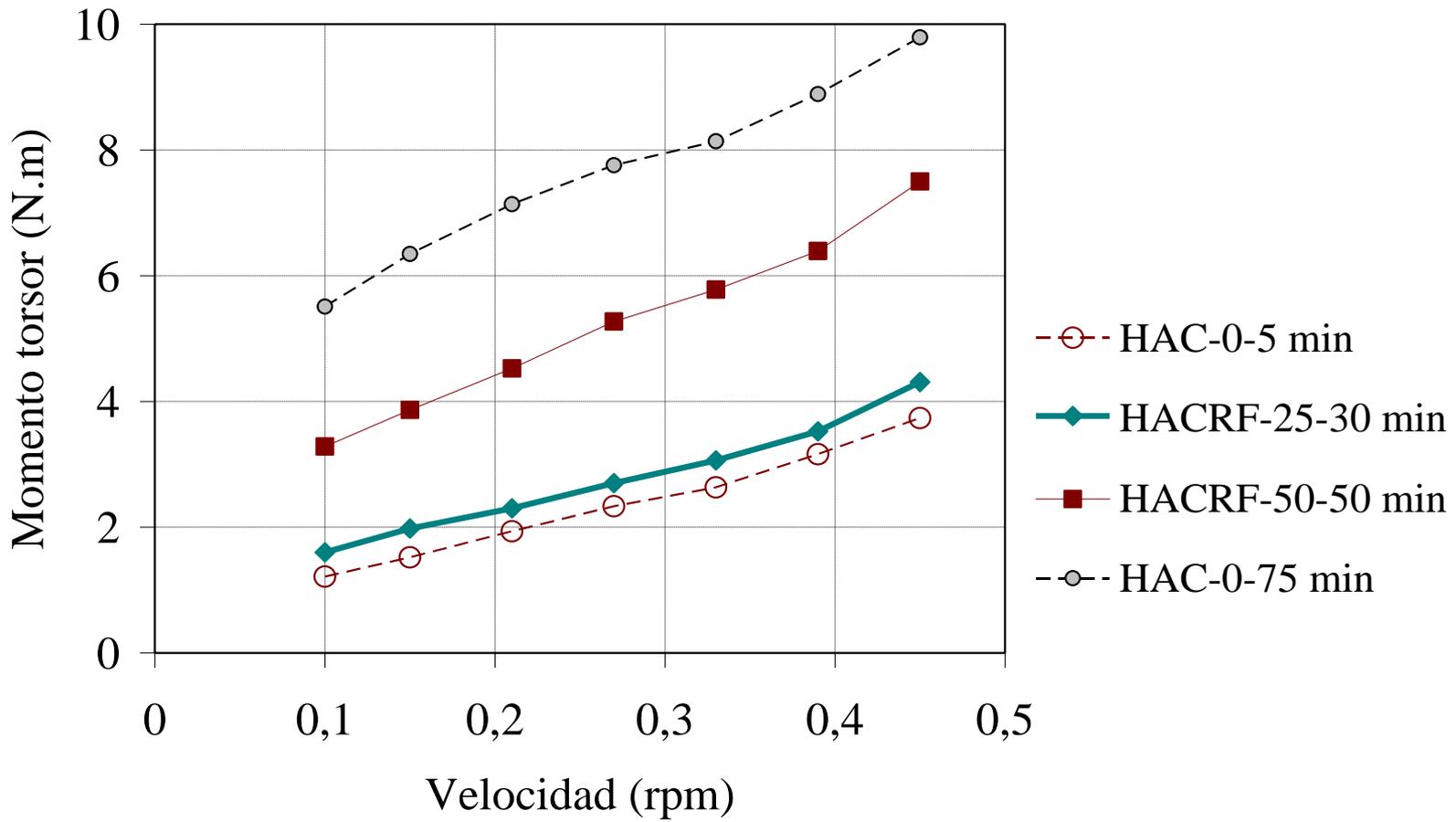
HACRF: Llenado de elementos esbeltos

Proporciones (kg/m³) de los HAC

Hormigón	HAC-0	HACRF-25	HACRF-50
Cemento I 32.5 R		334	
Filler		100	
Agua		164	
Aditivo		5,7	
Arena 0-2 mm		602	
Arena 0-5 mm		337	
Grava 5-12 mm		447	
Grava 12-18 mm		328	
Superfluidificante		7	
Fibras de acero	0	25	50

HACRF: llenado de elementos esbeltos

Propiedades reológicas estado fresco

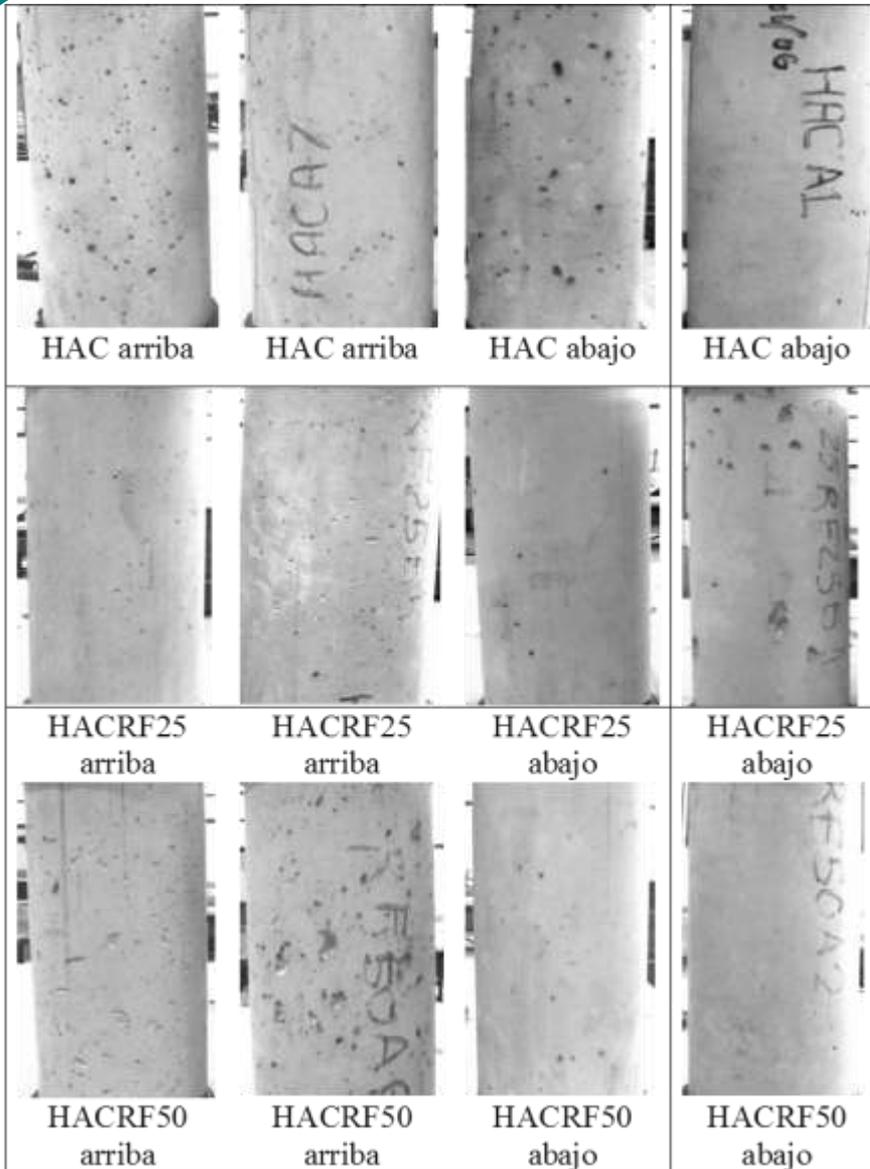


HACRF: llenado de elementos esbeltos

Propiedades en estado fresco

HAC	Tiempo h:min	Df mm	T ₅₀ s	T _v s	Dj mm	T _{50J} s	τ ₀ Pa	μ Pa.s	PU kg/m ³
HAC-0	0:04	610	1,7	5,8	595	2,0	28	51,4	2,370
HACRF-25	0:30	560	1,7	10,5	530	2,8	55	45,9	2,420
HACRF-50	0:47	390		12,8			109	70,5	2,360
HAC-0	1:15	310		13,0			200	80,5	

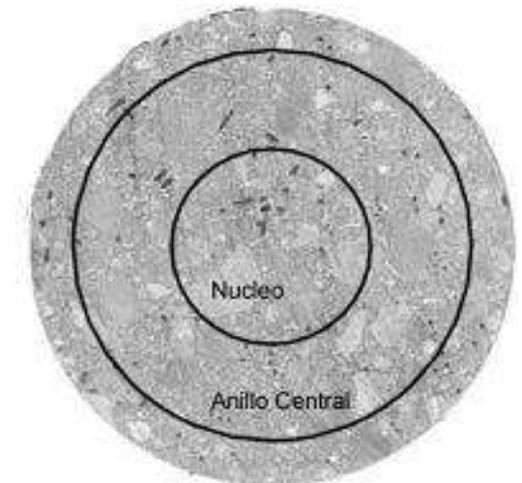
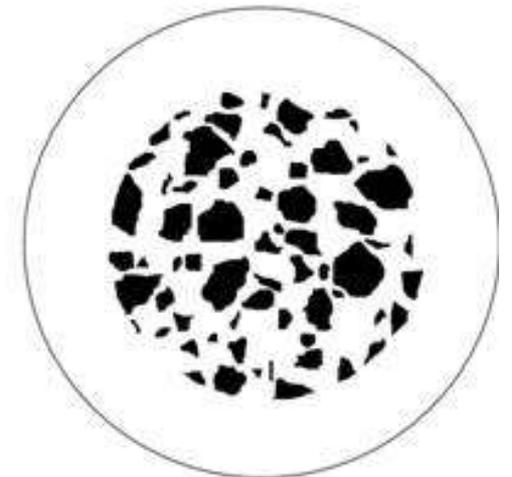
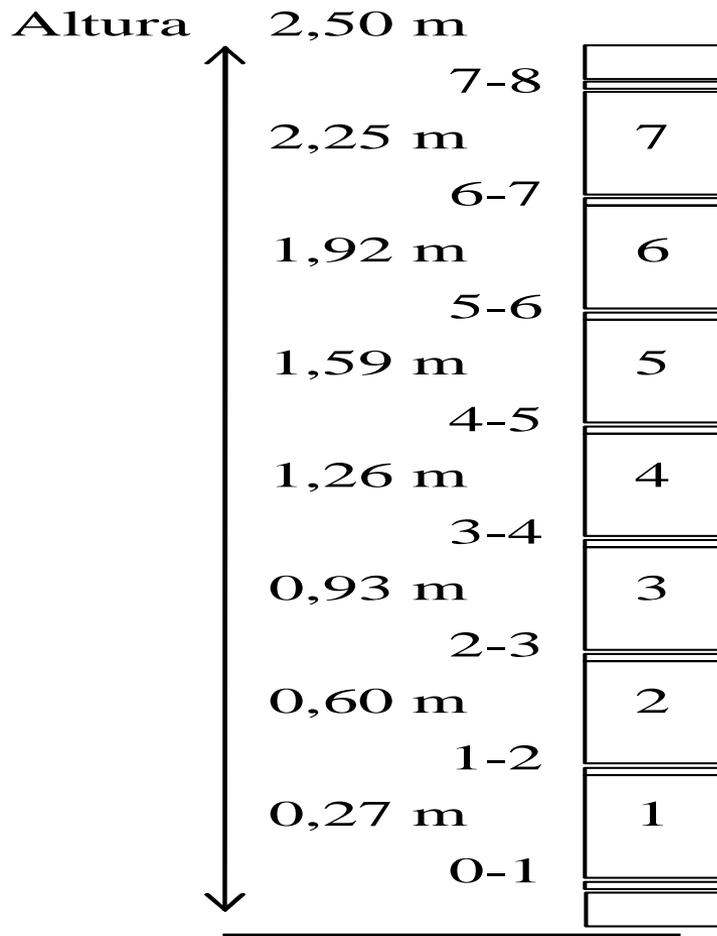
HACRF: llenado de elementos esbeltos



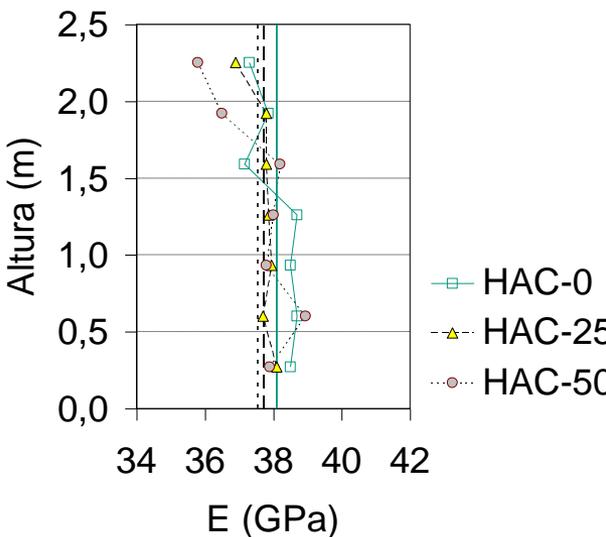
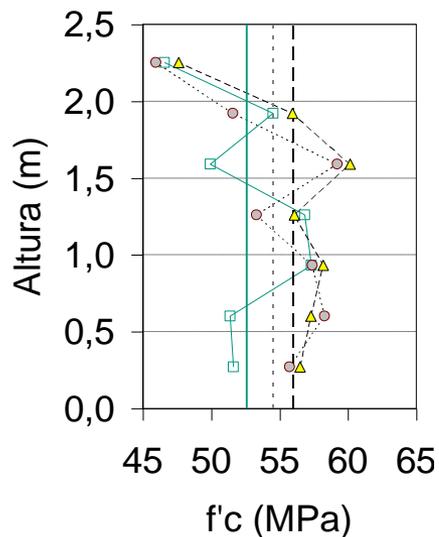
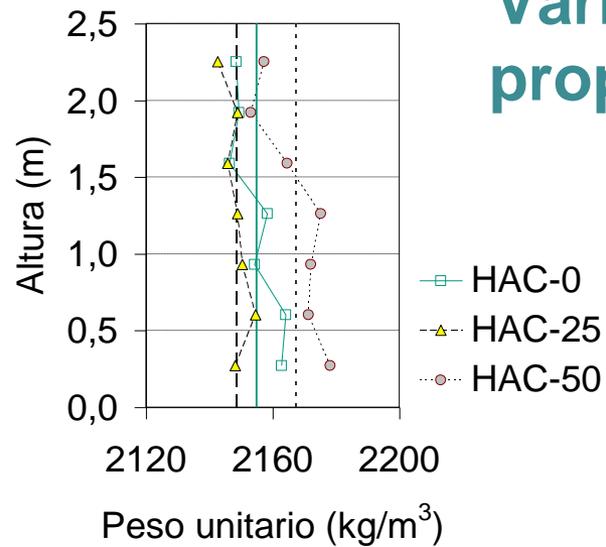
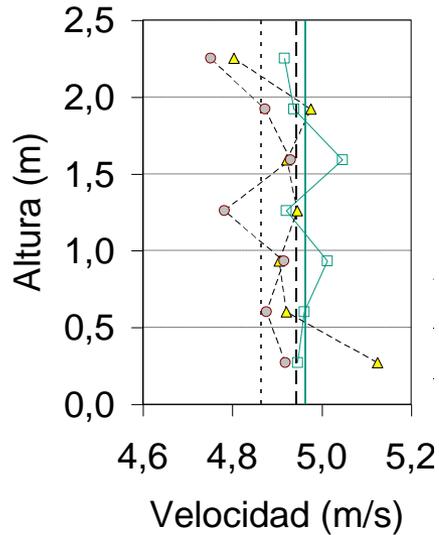
La terminación superficial fue aceptable y sólo aparecieron algunas burbujas superficiales.

Los casos más críticos ocurrieron con el HAC-50 pero en este caso ya se había perdido la condición de HAC.

HACRF: Llenado de elementos esbeltos



HACRF: llenado de elementos esbeltos



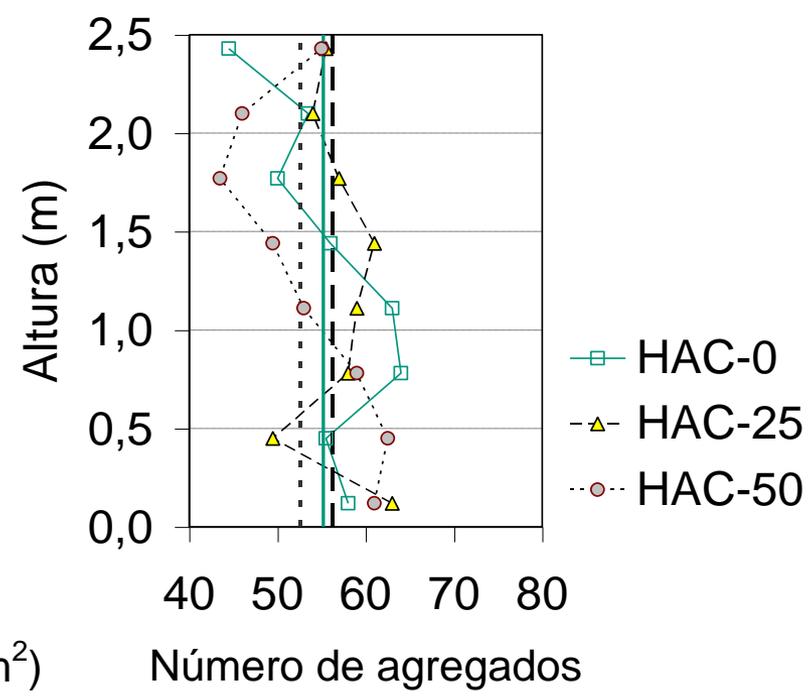
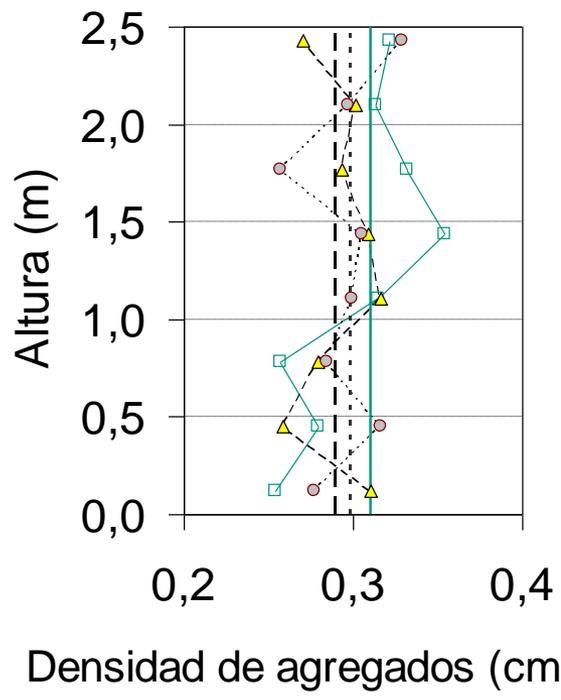
Variación con la altura de las propiedades fisicomecánicas

Aunque no cambiaron en gran medida con la altura, se produjo una disminución en el tercio superior, donde la resistencia a compresión se redujo entre 11 y 15 %.

HACRF: Llenado de elementos esbeltos

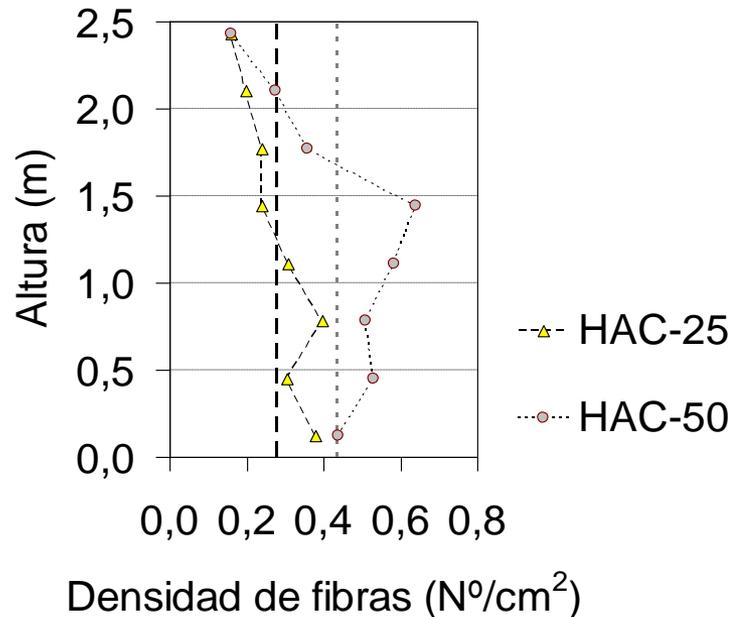
Variación con la altura de la densidad y del número de agregados

La distribución de agregados no cambió mayormente a lo largo de la altura. La distribución fue más homogénea en HRF lo que implica que las fibras aportan estabilidad al HAC.



HACRF: Llenado de elementos esbeltos

Variación con la altura de la densidad de fibras



La variabilidad en la distribución de fibras fue mayor que la de los agregados, se observó una tendencia a disminuir con la altura.

El HAC permitió llenar columnas 2,5 m de altura e incorporar al menos 25 kg/m³ de fibras de acero sin perder autocompactabilidad.

Proceso de llenado, orientación de las fibras y respuesta mecánica

M. C. Torrijos, B. Barragán and R. Zerbino, 7th International RILEM Symposium on FRC Chennai, 2008
Construction and Building Materials 24 (2010) 1078–1085

Motivación:

El tipo, contenido y orientación de las fibras afectan la respuesta de los elementos estructurales, en particular la respuesta postpico.

Aunque la distribución de las fibras sea homogénea luego del mezclado, la orientación se puede modificar por el proceso de llenado y compactación y por el efecto pared.

En HRF vibrado convencional las fibras toman una orientación 2D en planos horizontales [Edgington & Hannant 1972, Soroushian & Lee 1990, Kooiman 2000, Gettu et al 2005, Ozyurt et al 2007].

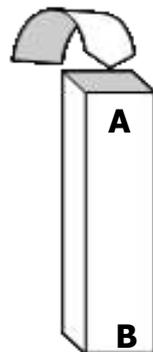
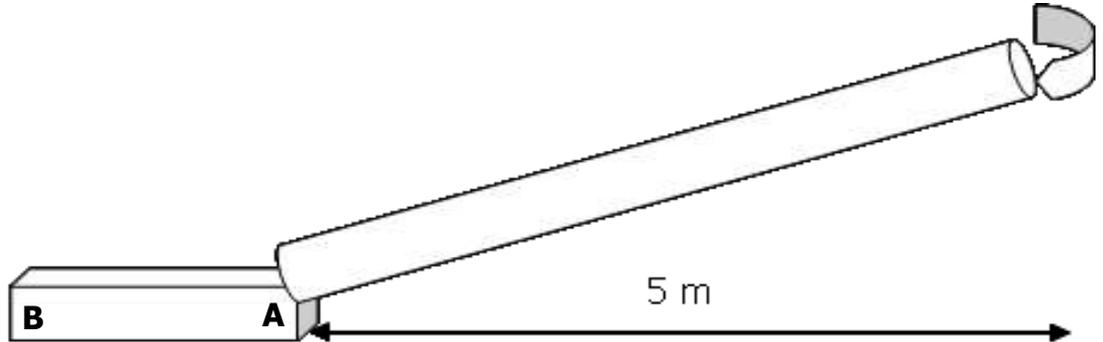
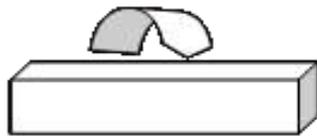
En HACRF las fibras pueden alinearse en la dirección de flujo [Grünewald 2004]. El efecto crece con la fluidez [Stähli & van Mier 2007].

Proceso de llenado, orientación de las fibras y respuesta mecánica

HACRF1	35 kg/m³	fibras acero l=50mm
HACRF2	35 kg/m³	fibras acero l=30mm
HACRF3	2.5 kg/m³	macrofibras sintéticas

**3 formas de moldeo: C-Centro
T-Tubo
V-Vertical**

Proceso de llenado, orientación de las fibras y respuesta mecánica



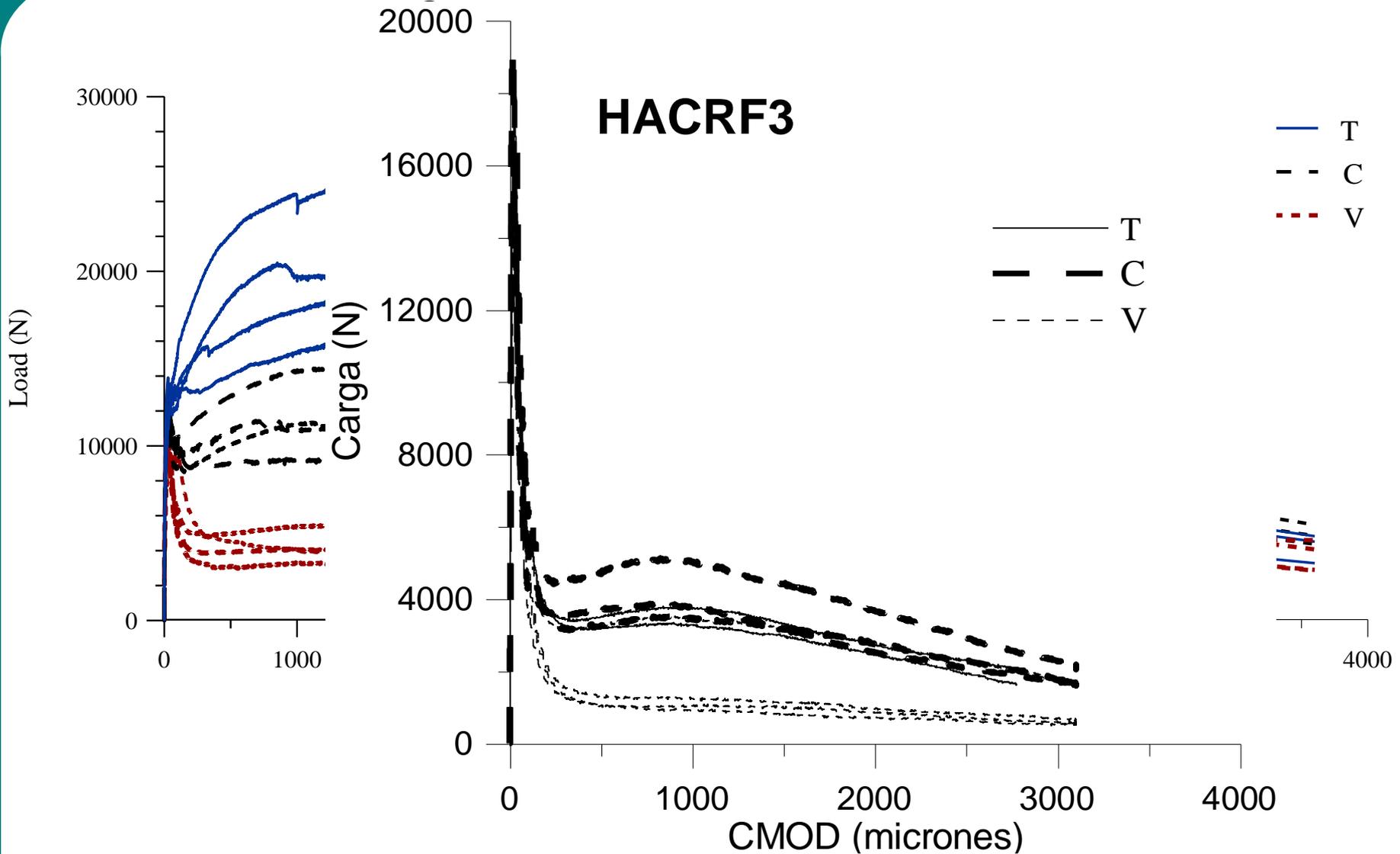
Vertical (V)

según norma (C)

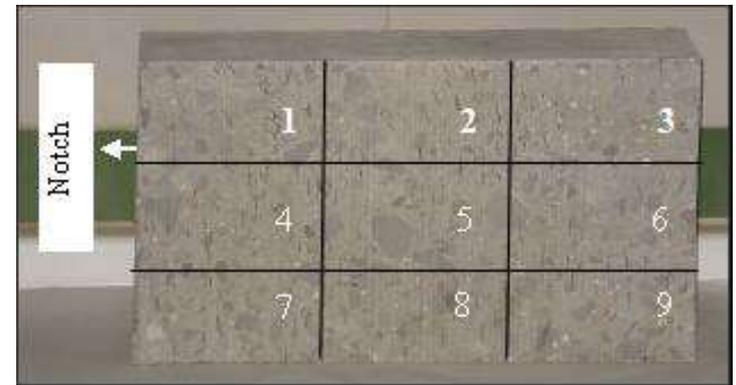
en posición horizontal a través de una tubería (T)

con los moldes ubicados en posición vertical (V)

Proceso de llenado, orientación de las fibras y respuesta mecánica



Proceso de llenado, orientación de las fibras y respuesta mecánica

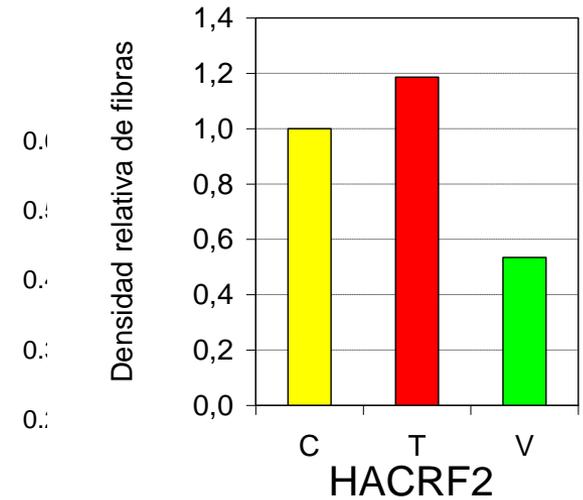
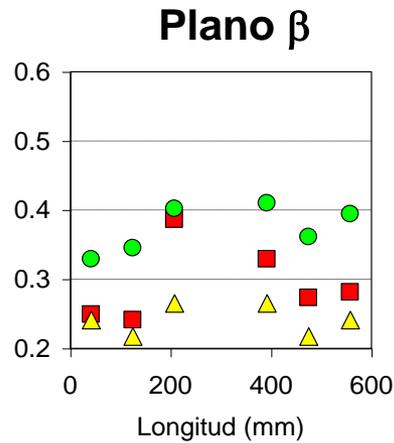
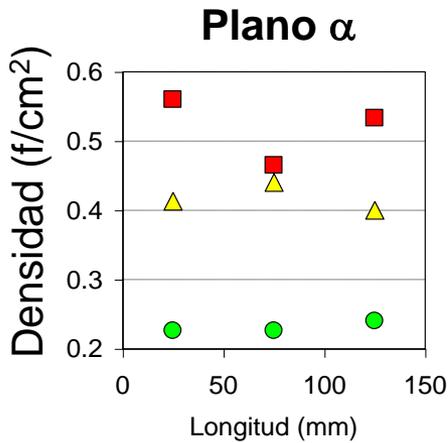


Distribución de fibras

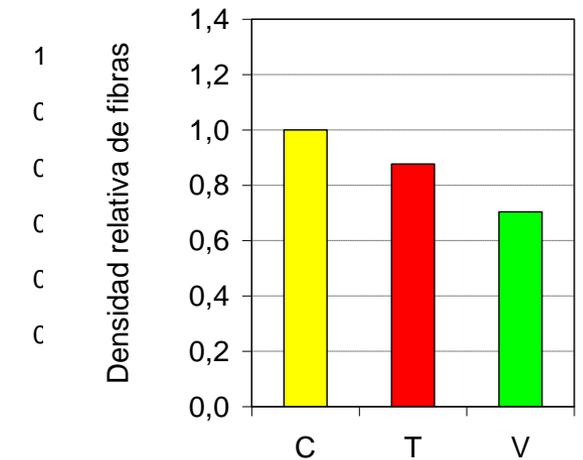
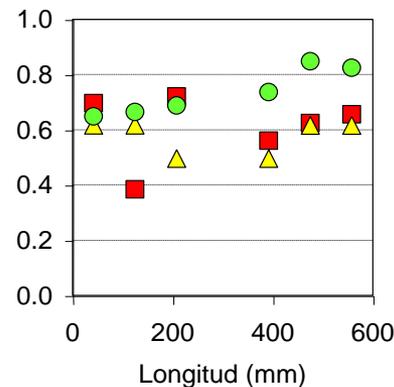
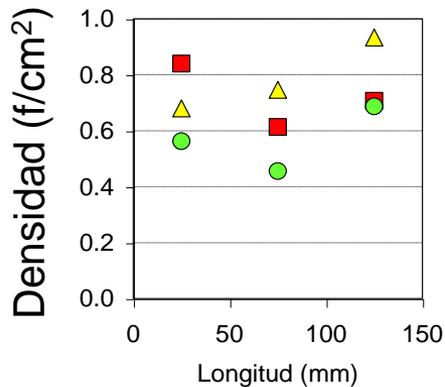


■ T ▲ C ● V

HACRF1



HACRF2



Proceso de llenado, orientación de las fibras y respuesta mecánica

Las fibras se orientan en planos horizontales no sólo en hormigón vibrado sino también en el HAC tanto si se utilizan fibras de acero como con macrofibras sintéticas.

El efecto pared influye en la distribución de las fibras de acero, conforme la relación entre las dimensiones del molde y la longitud de las fibras; con fibras de acero de 50 mm se encontraron diferencias significativas en la orientación y en las propiedades mecánicas, el efecto no fue tan marcado en el HACRF con fibras de 30 mm.

El flujo durante el transporte y llenado de los moldes influye en la disposición de las fibras en HAC.

Proceso de llenado, orientación de las fibras y respuesta mecánica

En las vigas que se llenaron en forma vertical (V), se observó una orientación más homogénea. No obstante el refuerzo fue notablemente menos eficiente desde el punto de vista mecánico.

La orientación de las fibras puede adquirir significativa importancia sobre la performance de elementos de HACRF. La comprensión de las causas de orientación constituye una herramienta para lograr una mayor aprovechamiento del refuerzo, por ejemplo al definir las condiciones de llenado.

Orientación de las fibras en diferentes elementos

Zerbino, Bossio, Tobes & Giaccio,
Cement & Concrete Composites, 2012

Aunque las fibras se distribuyan en forma homogénea durante el mezclado, el moldeo y la compactación pueden afectar la distribución y orientación, y consecuentemente la respuesta mecánica del HRF.

En hormigón con fibras convencional vibrado se conoce que existe una distribución en planos (2D), en HACRF existen efectos del flujo y de los encofrados (pared) que modifican la orientación.

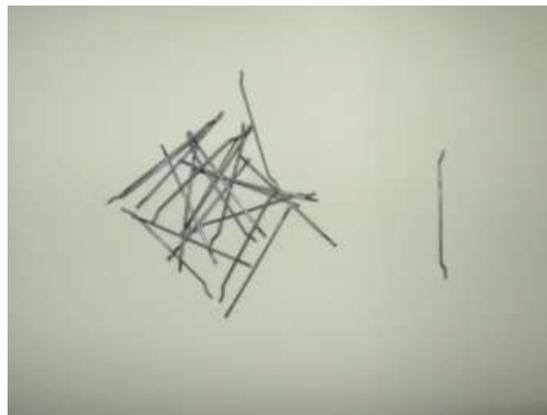
Orientación de las fibras en diferentes elementos

Tres clases de prototipos (losa, panel y viga larga) con un HACRF con 35 kg/m³ de fibras de acero de 35 mm.

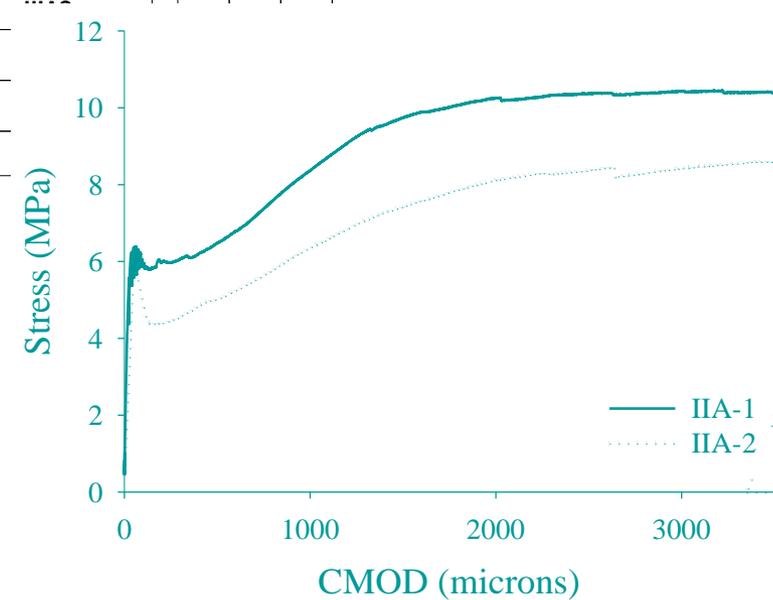
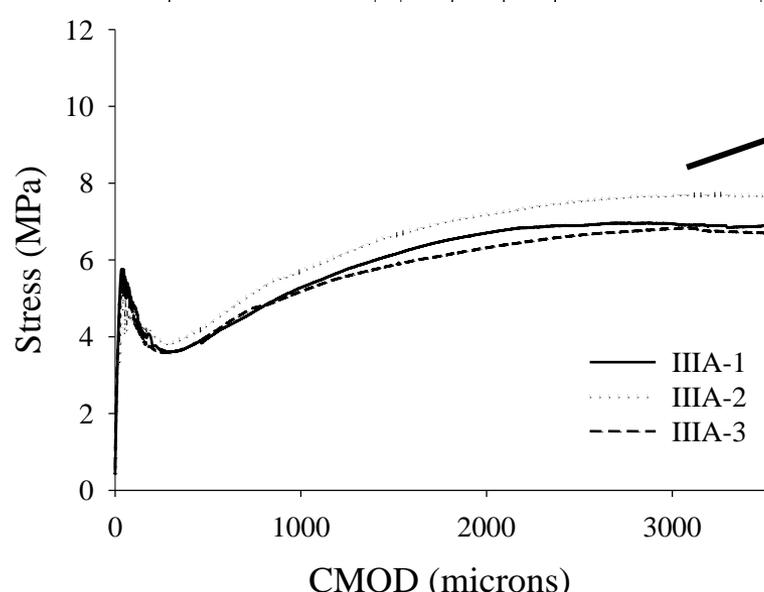
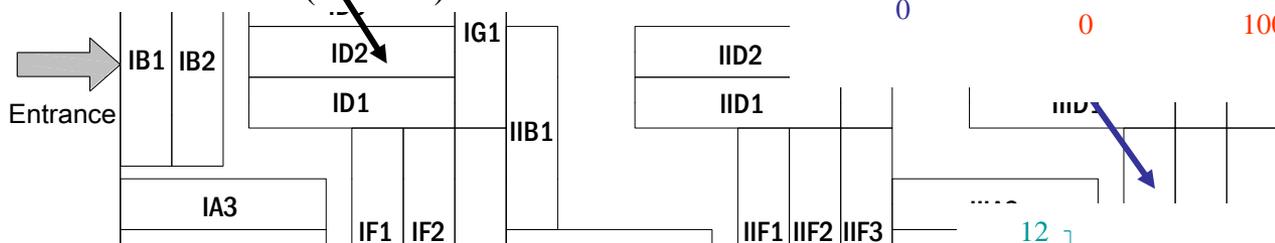
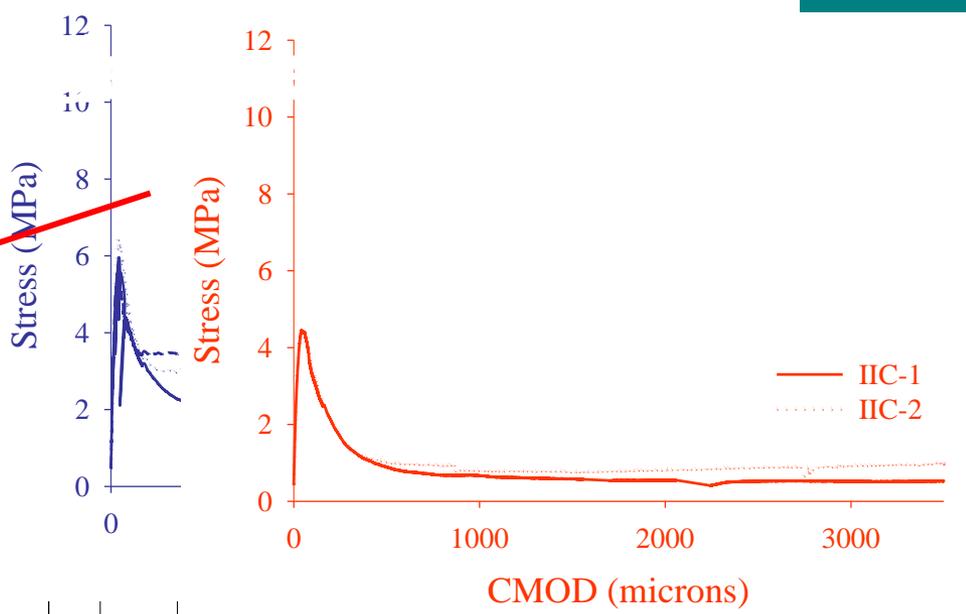
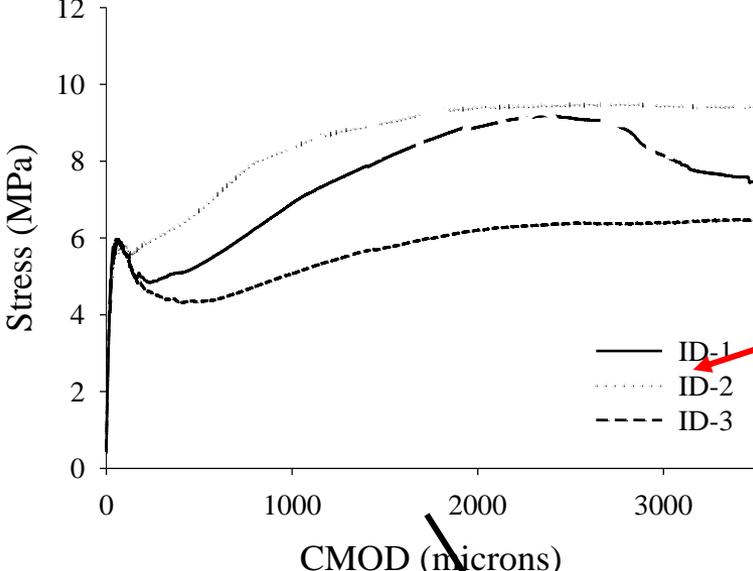
Df: 670 - 700 mm, T_v 13 s. f'c: 60 - 70 MPa.

Panel: HACRF con 3 kg/m³ de macrofibras sintéticas de 50 mm.

Viga larga: HACRF con 40 kg/m³ de fibras de acero de 50 mm.



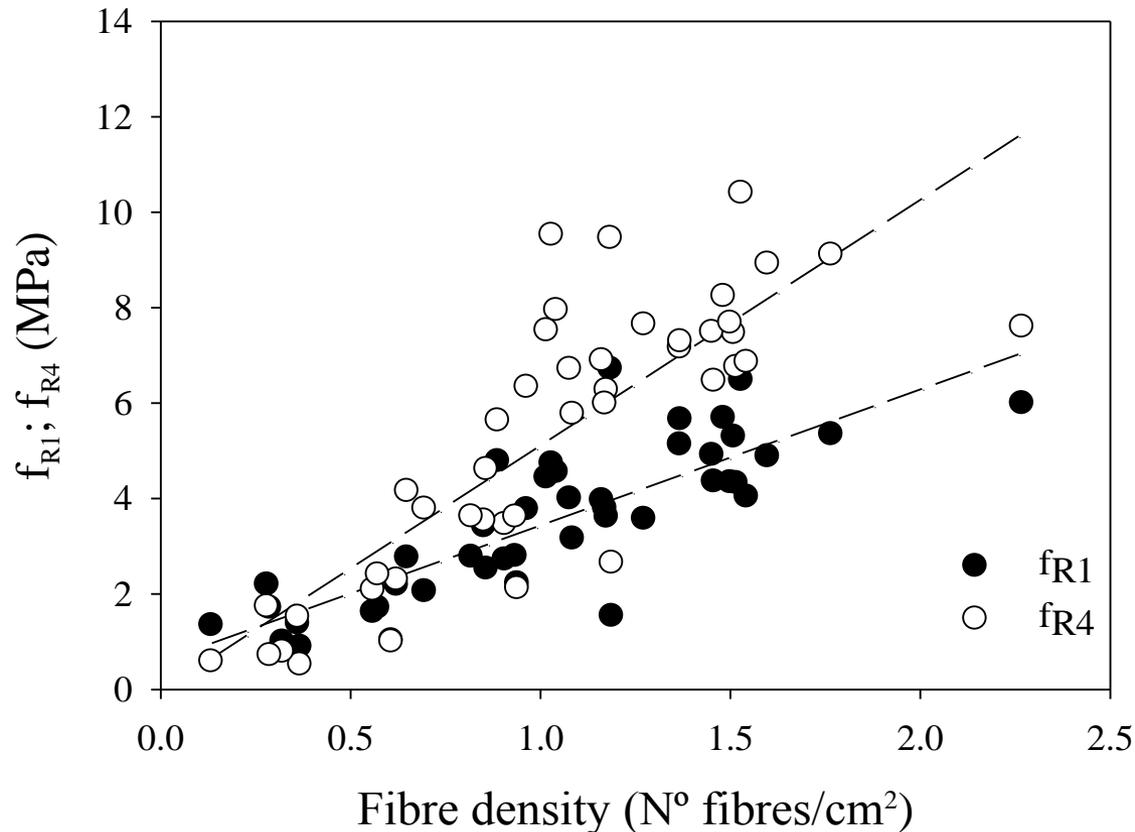
RF

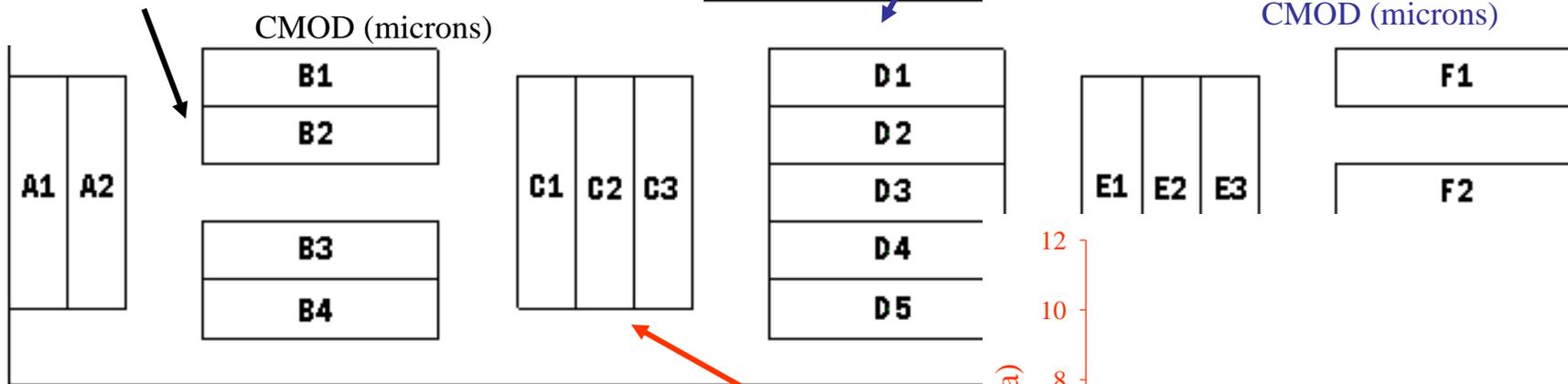
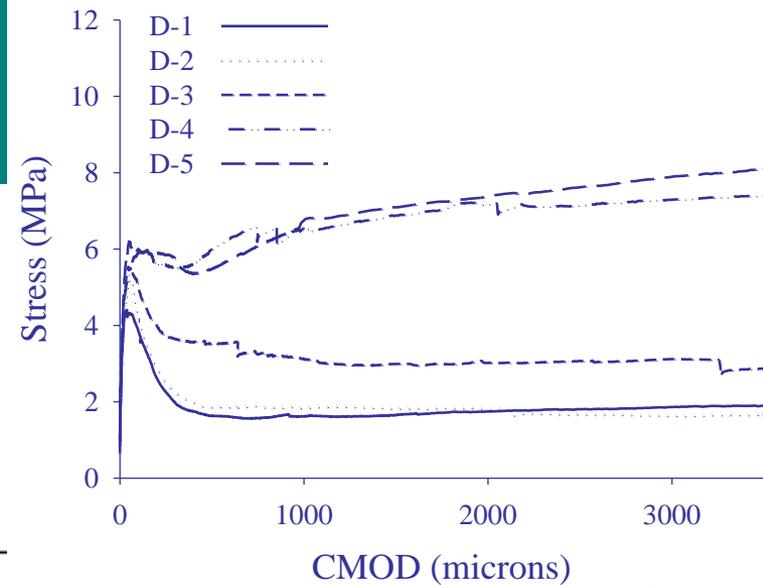
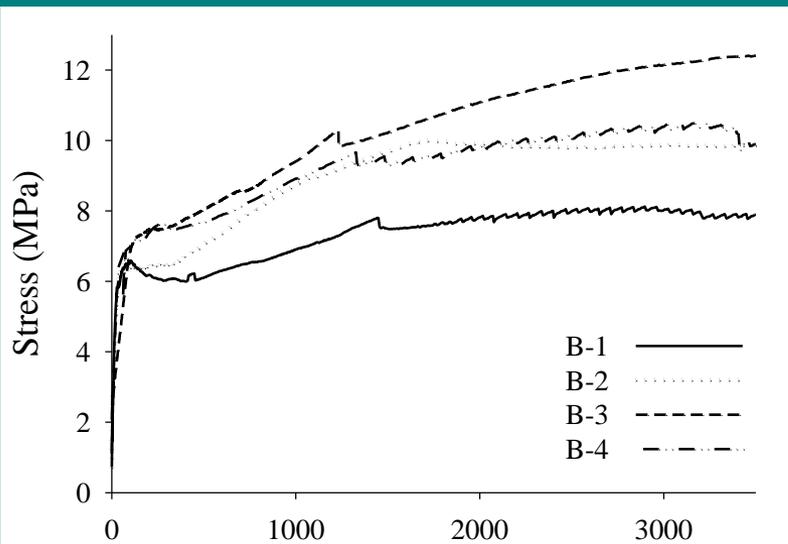


Orientación de las fibras en diferentes elementos

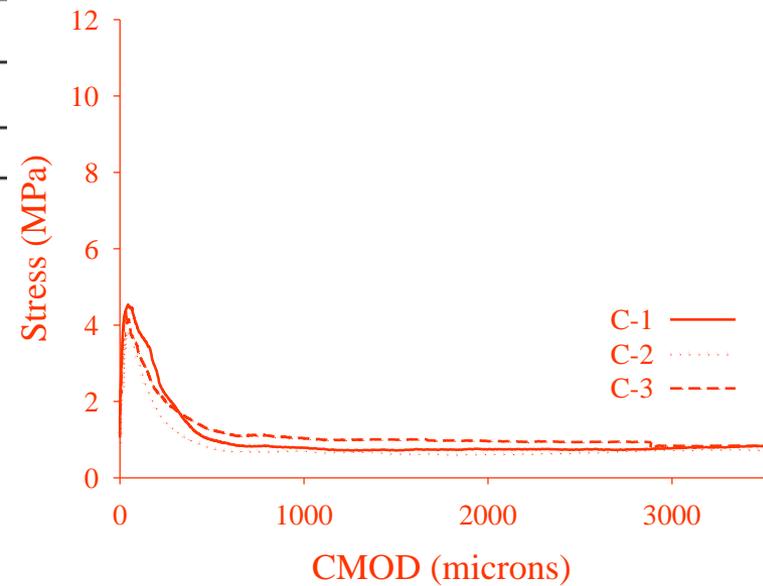
Losa con HACRF de acero de 35 mm

Resistencia residual vs. densidad de fibras





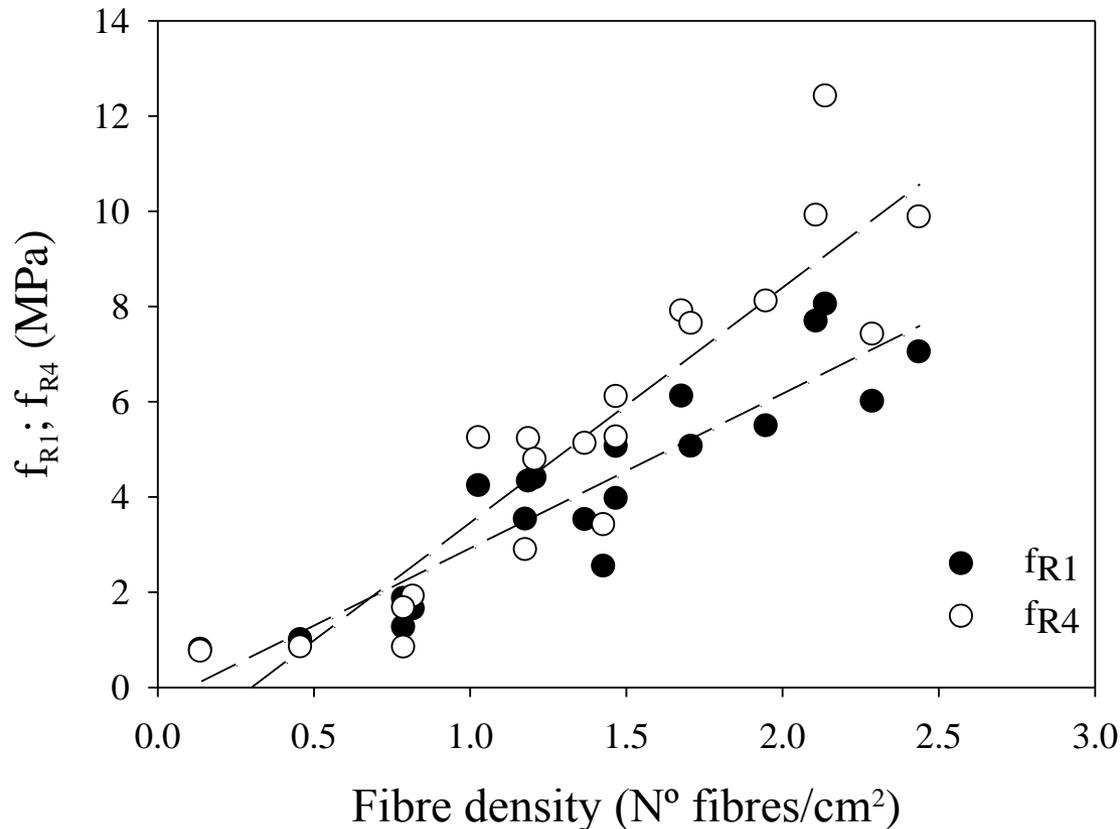
En un panel

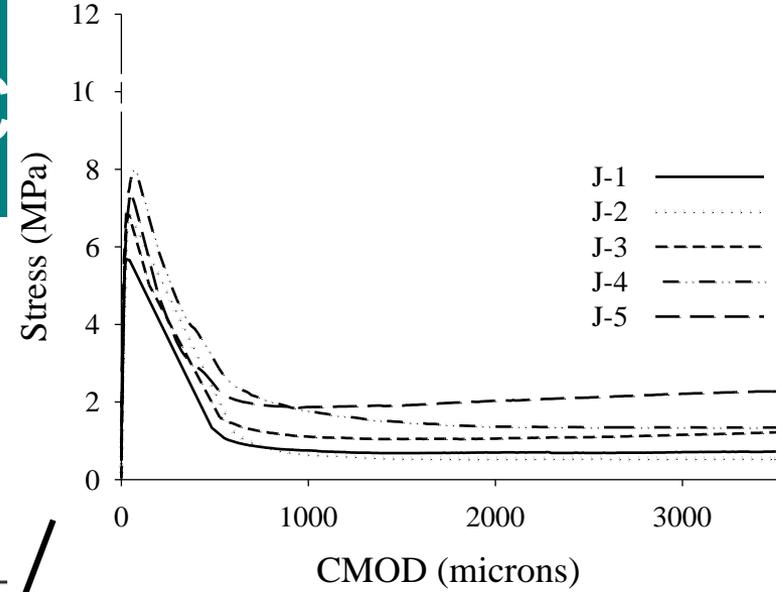
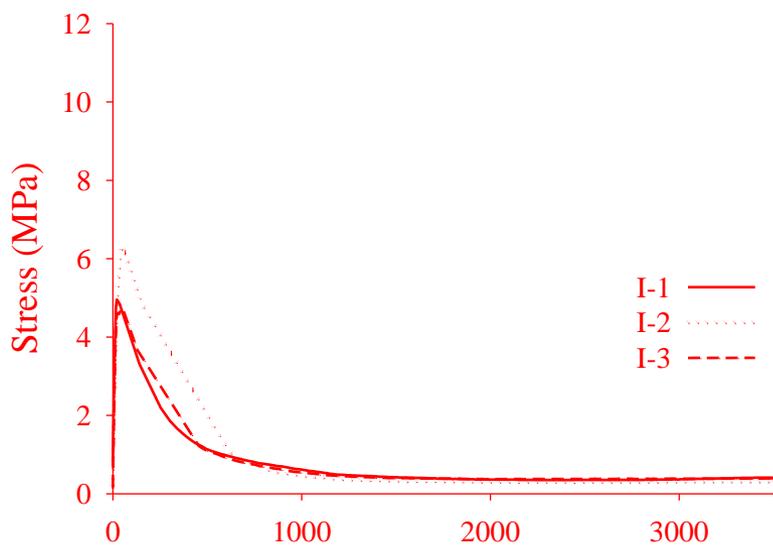


Orientación de las fibras en diferentes elementos

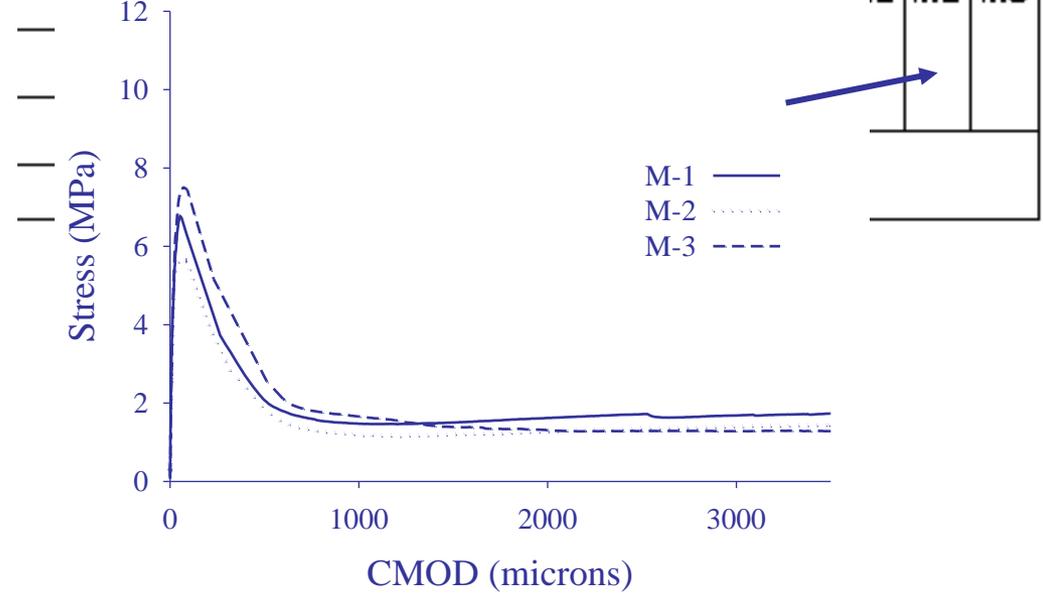
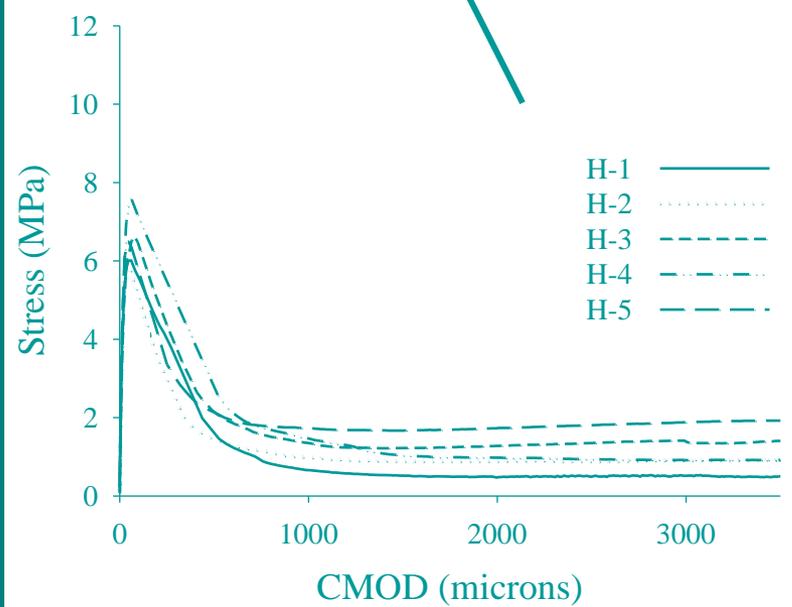
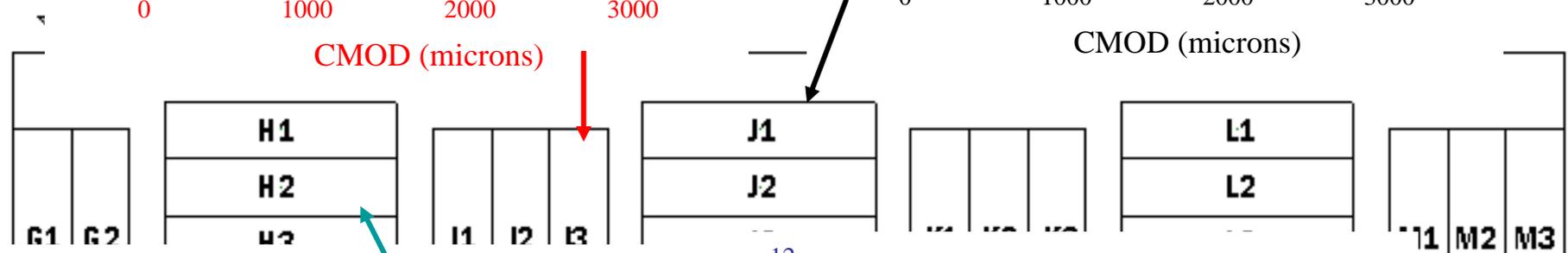
Panel con HACRF de acero de 35 mm

Resistencia residual vs. densidad de fibras



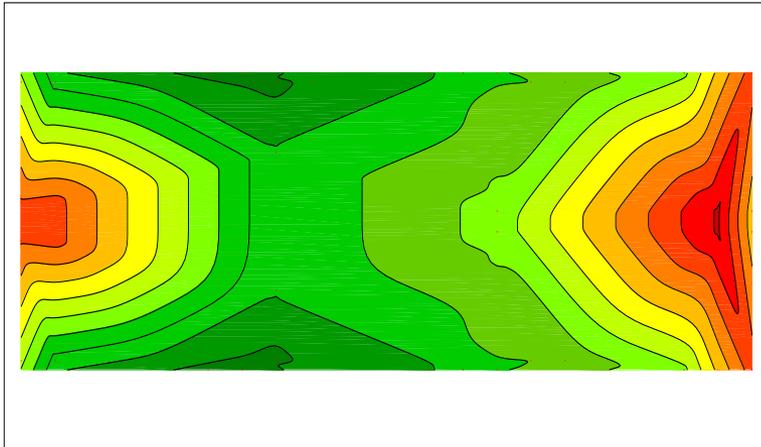


C

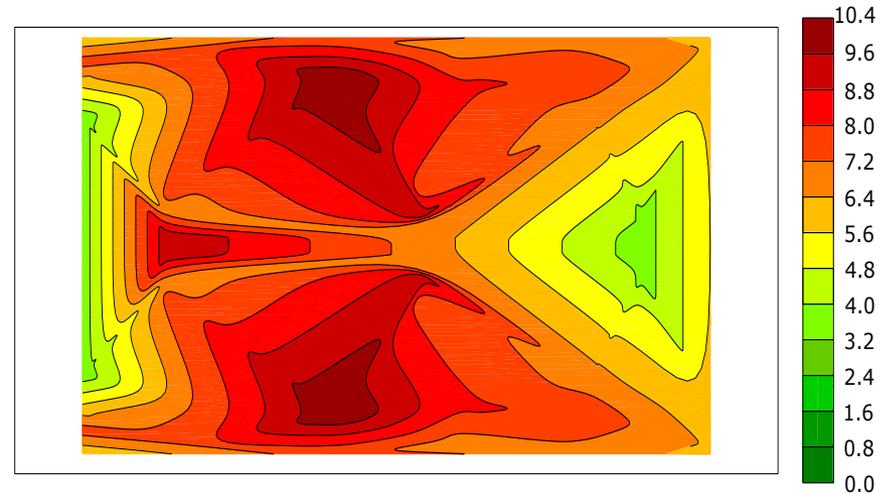


f_{R4} (MPa)

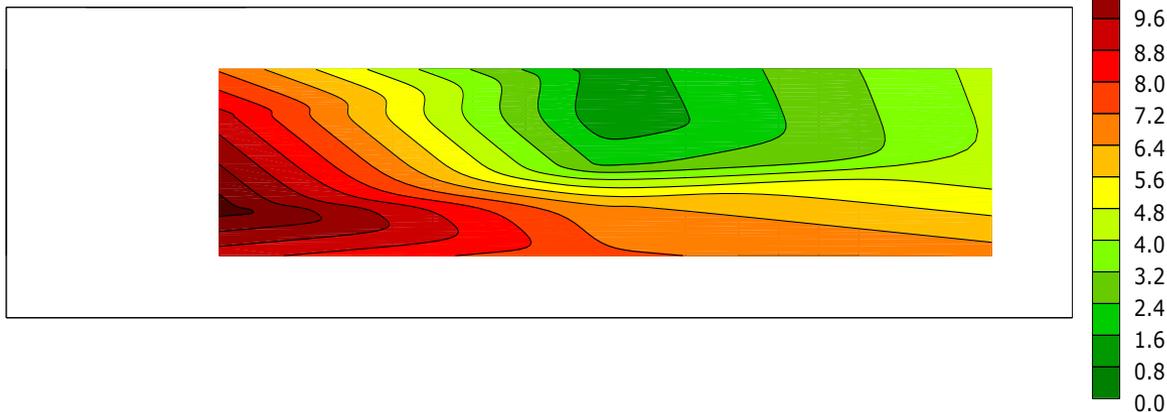
Losa – Normal al llenado



Losa - Paralelo al llenado

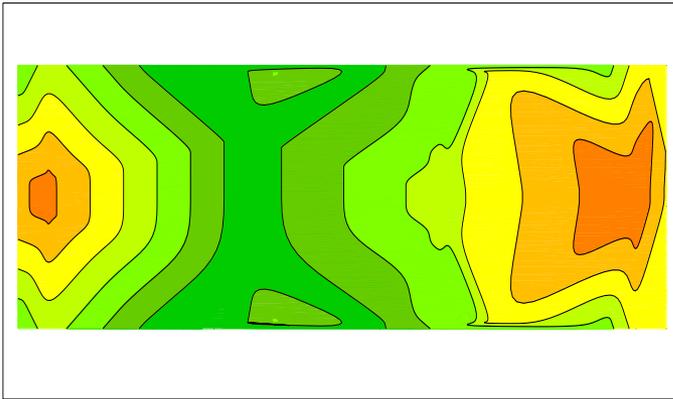


Panel dirección horizontal

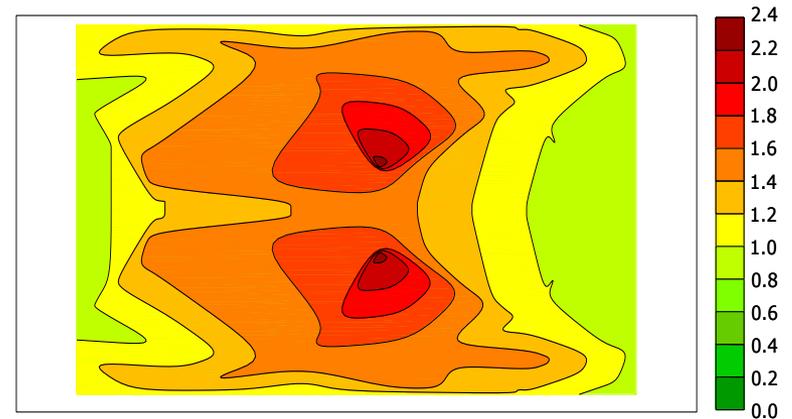


Densidad de fibras (fibras/cm²)

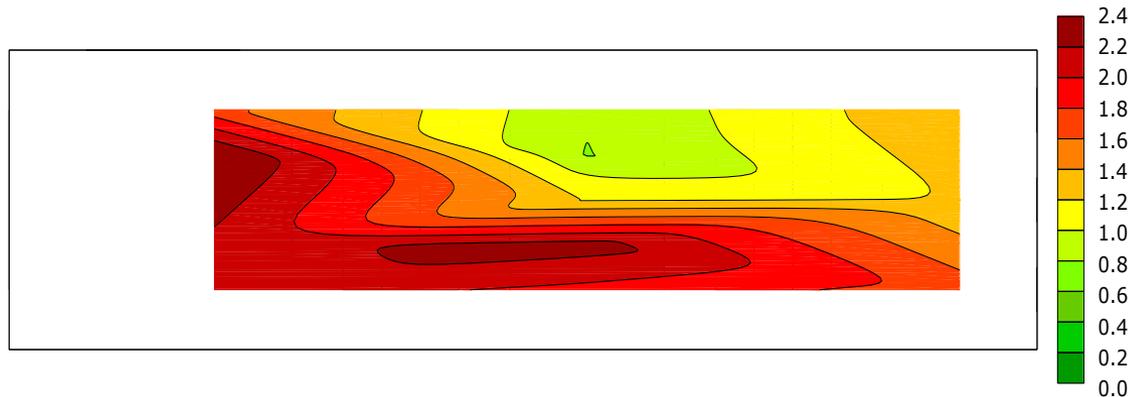
Losa - Normal al llenado



Losa - Paralelo al llenado



Fibras/cm² – Panel dirección horizontal



Orientación de las fibras en HAC

En síntesis:

- La velocidad de flujo y el efecto pared producen anisotropía y heterogeneidad en la orientación de las fibras.
- En elementos delgados las propiedades residuales del HACRF pueden ser bastante diferentes en distintas zonas y/o direcciones de los elementos estructurales.
- La respuesta post-pico en un mismo elemento puede pasar de una tipo “endurecimiento” (hardening type) a una con caída substancial de la capacidad residual.
- Aunque la distribución y orientación de las fibras no son independientes del tipo de fibra, la geometría de los elementos aparece como el principal factor a considerar.

A modo de conclusión

- El HAC aparece como una excelente alternativa para
- lograr una reducción en los tiempos constructivos,
 - posibilitar la realización de nuevos diseños
 - reducir costos (mano de obra, compactación, etc.),
 - desarrollar y facilitar métodos de reparación
 - asegurar un nivel de compactación y ausencia de defectos que se traduzca en la construcción de estructuras más durables

A modo de conclusión

El HRF ofrece ventajas frente a muchos problemas que aparecen durante la construcción y vida en servicio de las estructuras. Su uso permite reducir espesores y gracias al efecto costura mantener en servicio elementos fisurados que en otros casos habrían acabado su vida útil.

La combinación sinérgica entre las ventajas del HAC y las que aportan las fibras da lugar a un material de altas prestaciones. El HACRF ofrece particulares ventajas para la realización de reparaciones y refuerzos.

En HACRF aparecen efectos particulares en cuanto a orientación del refuerzo que deben ser considerados para un mejor aprovechamiento de este material.



**MUCHAS GRACIAS
POR SU ATENCIÓN**

Dr. Ing. Raúl Zebino zerbino@ing.unlp.edu.ar

Fac.Ing.UNLP - CONICET- CIC-LEMIT