



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Bases conceptuales, propiedades y diseño

AVANCES EN TECNOLOGÍA DEL HORMIGÓN

Montevideo, 2 de diciembre de 2015

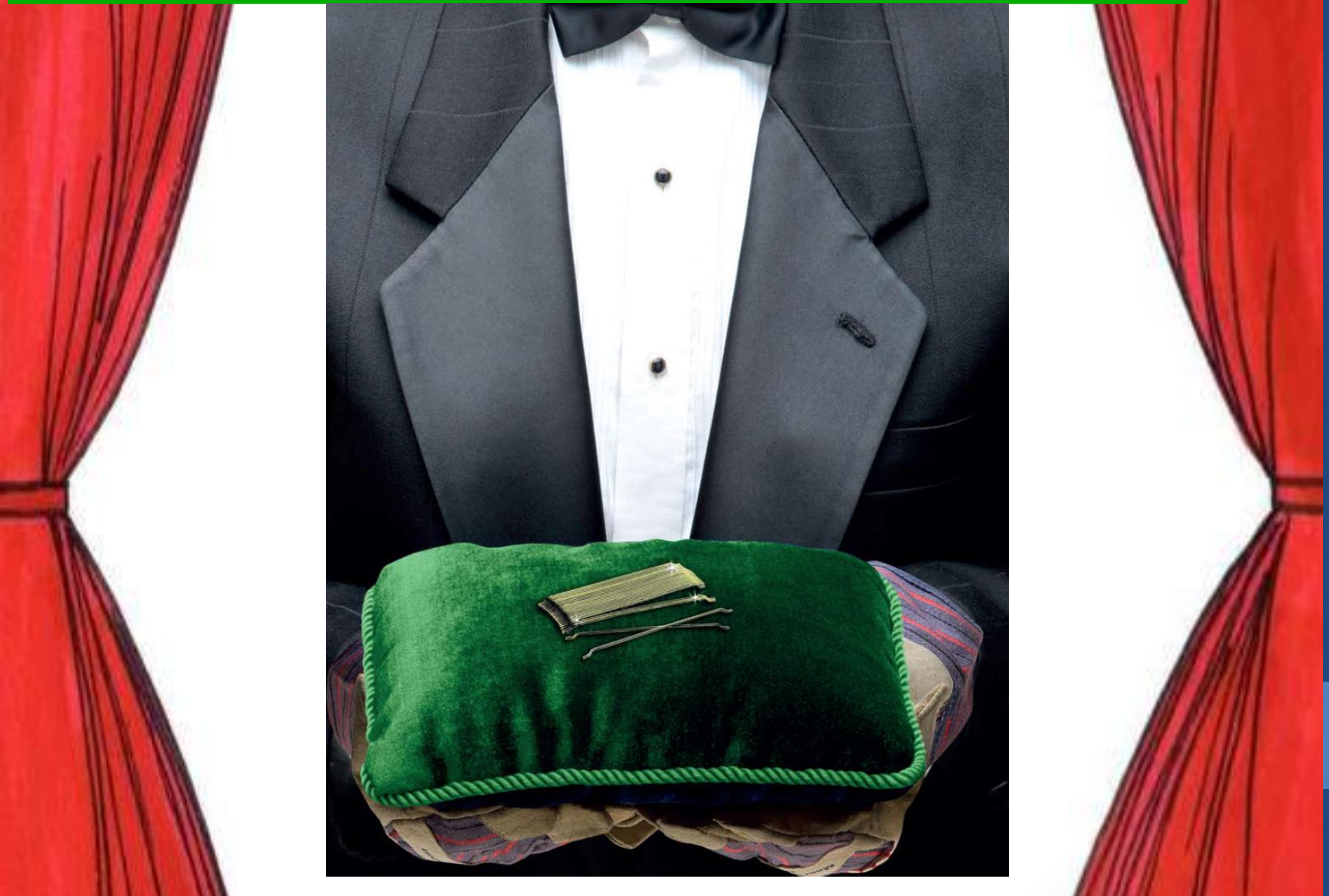
Sergio Cavalaro

Una idea antigua para un nuevo material

- Refuerzo de materiales frágiles no es nuevo → **DUCTILIDAD**



Una idea antigua para un nuevo material



Una idea antigua para un nuevo material



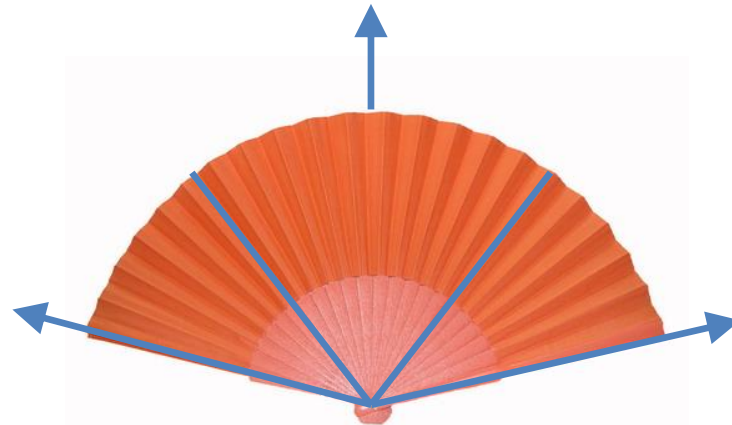
H. con fibras

$$(P = 0 \neq 0)$$
$$(A_s = 0 \neq 0)$$
$$(A_f \neq 0)$$



**HORMIGON
ARAMDO**

$$(P = 0)$$
$$(A_s \neq 0)$$
$$(A_f = 0)$$

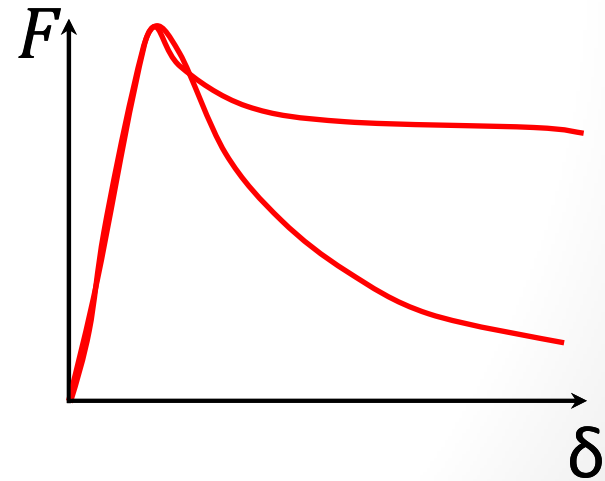
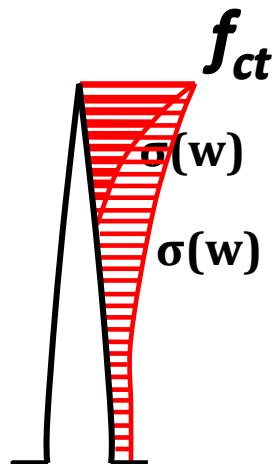
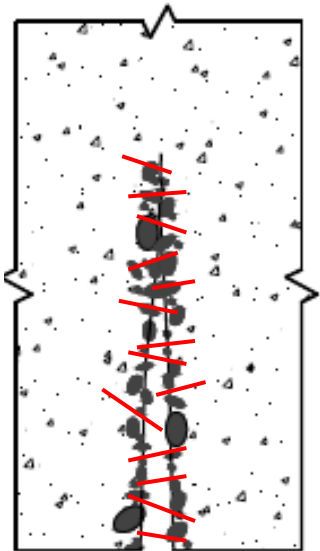


**HORMIGÓN
PRETENSADO**

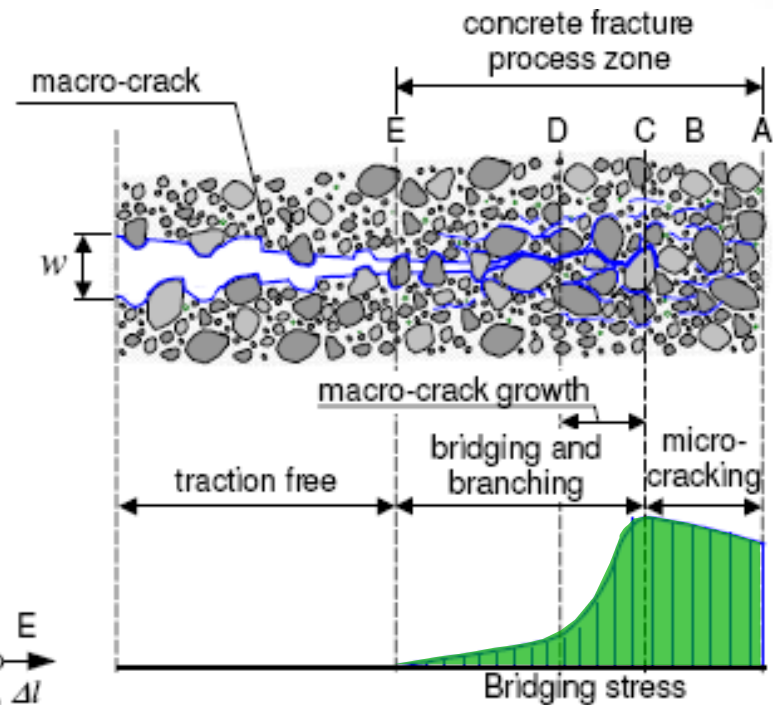
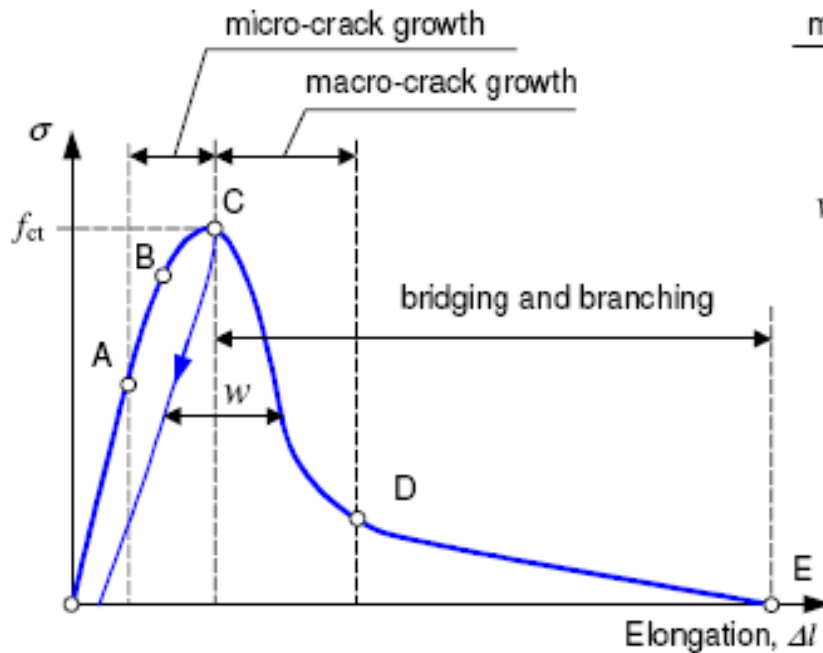
$$(P \neq 0)$$
$$(A_s = 0)$$
$$(A_f = 0)$$
$$(A_p \neq 0)$$

Una idea antigua para un nuevo material

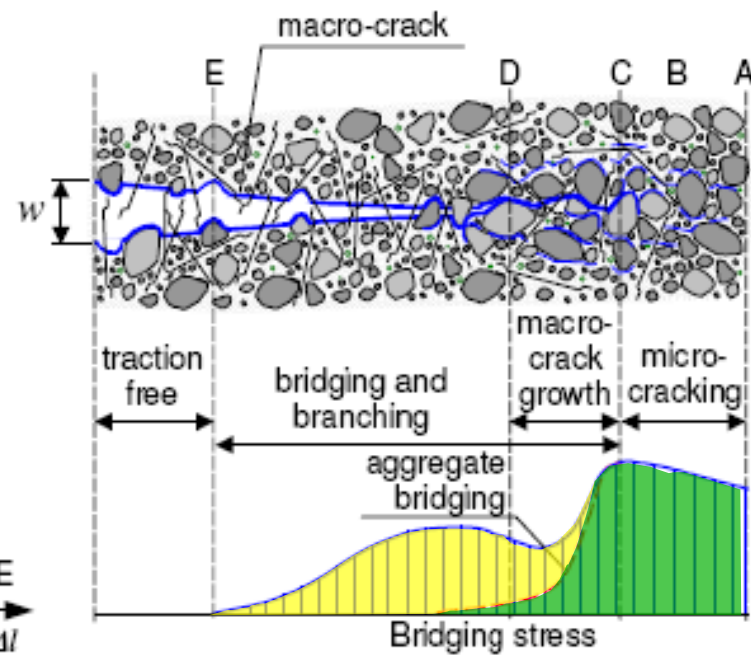
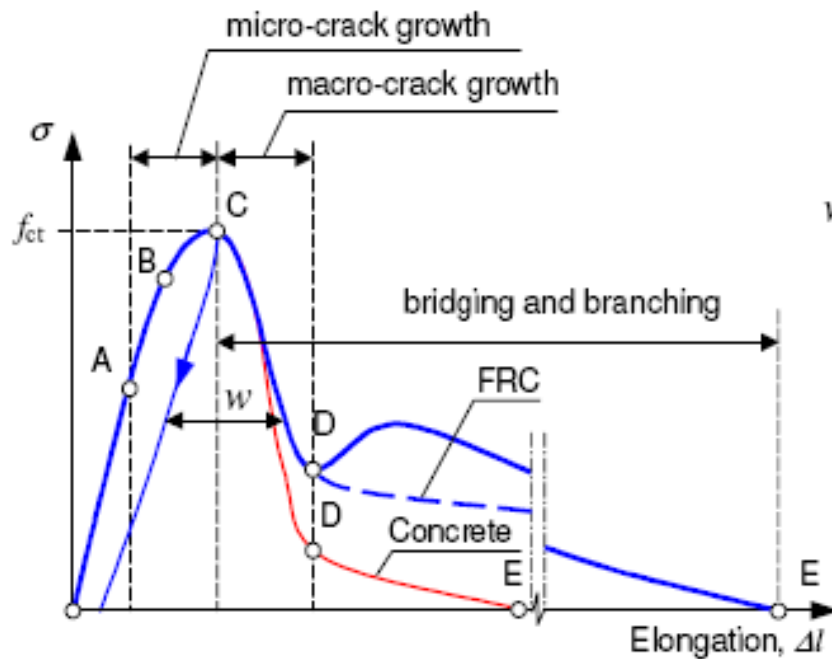
- **Concreto** → comportamiento ~~FR~~ ~~FIL~~
+ **Fibra**



¿Cómo funcionan las fibras?



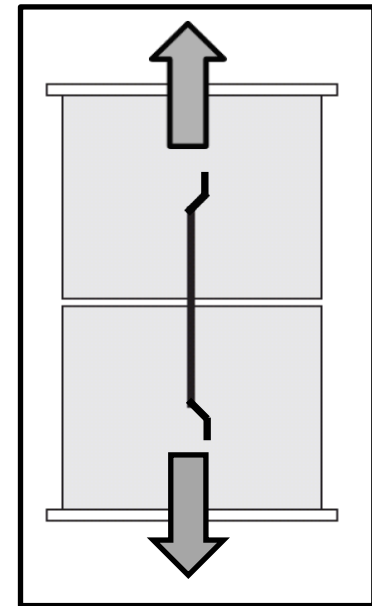
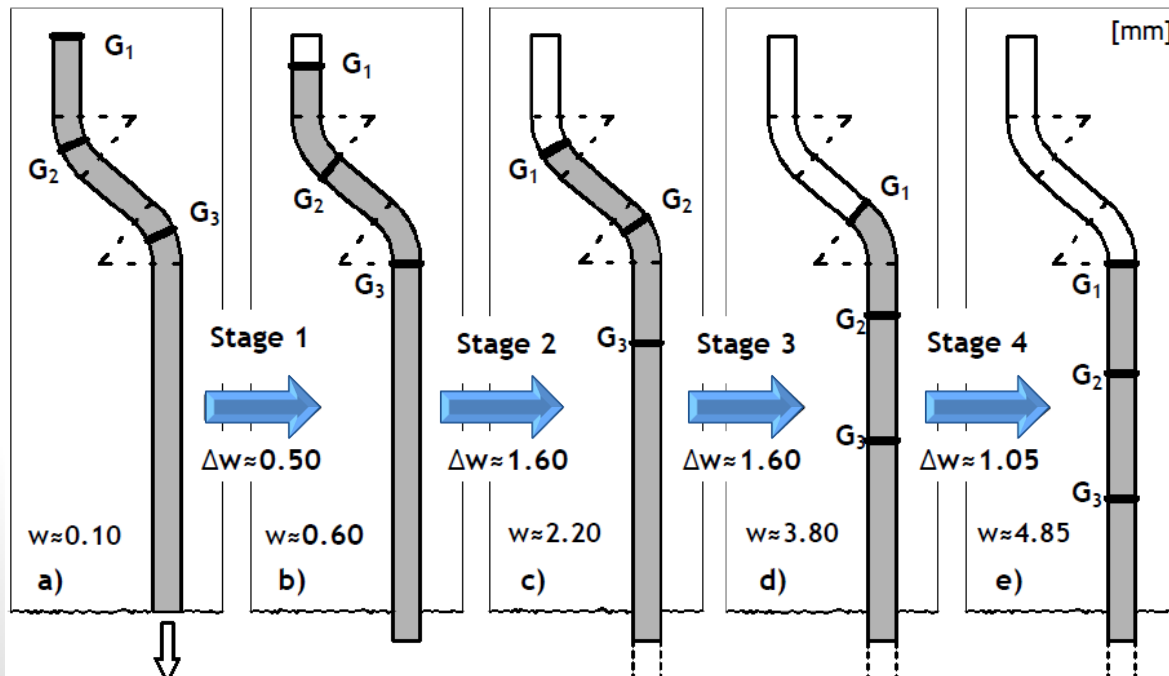
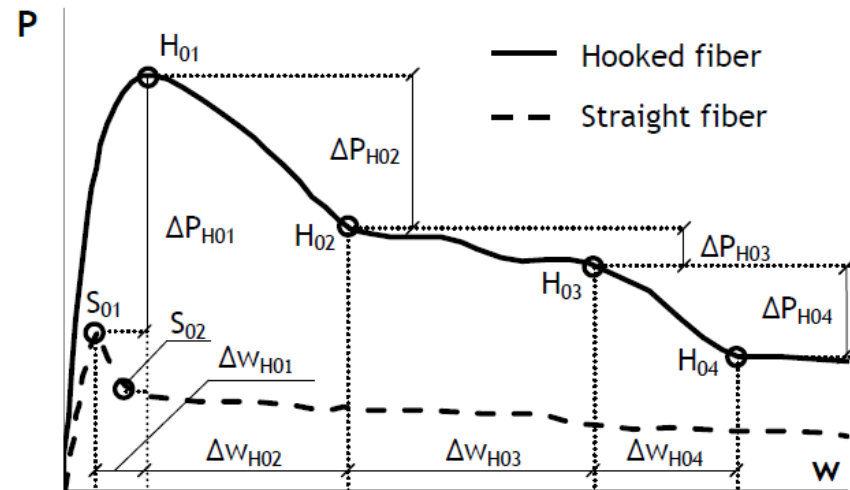
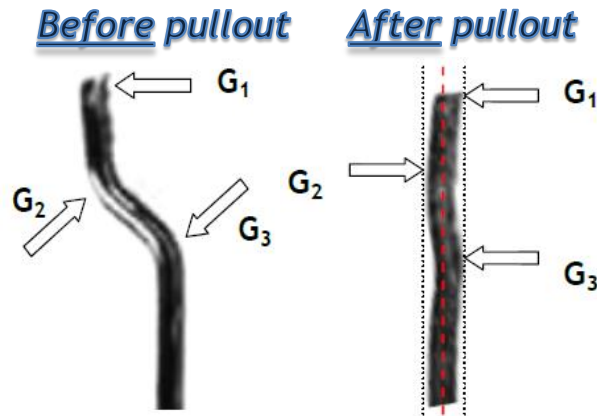
¿Cómo funcionan las fibras?



¿Cómo funcionan las fibras?

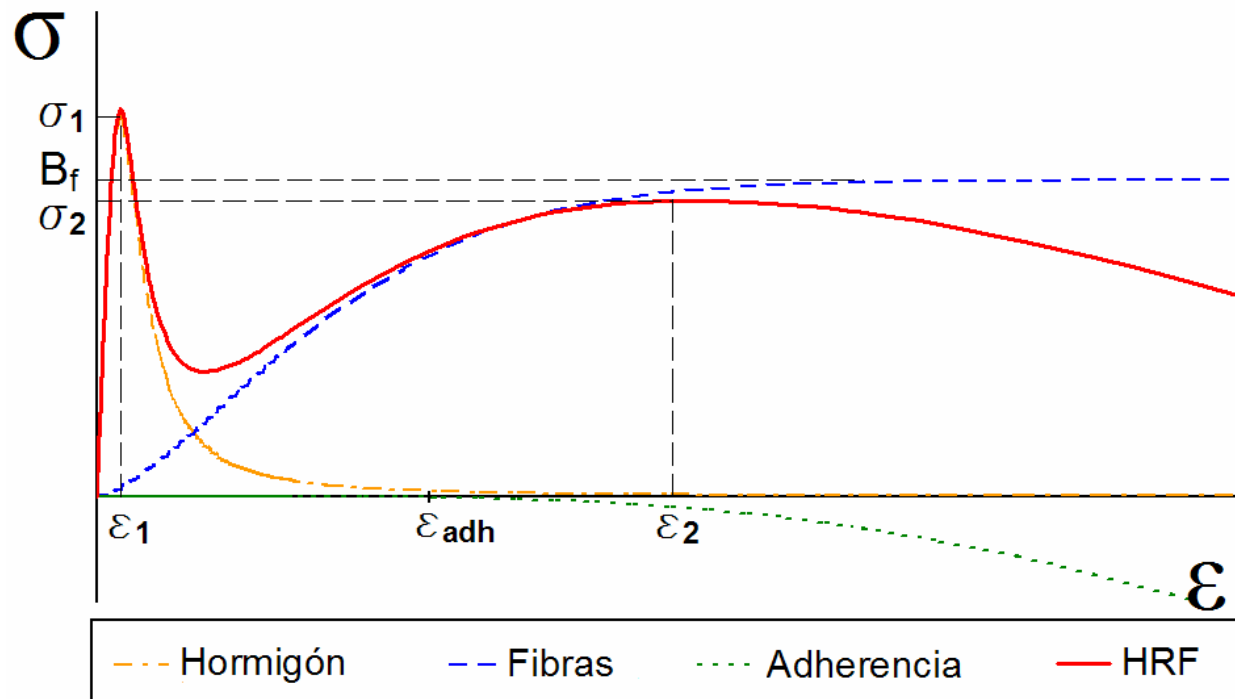


¿Cómo funcionan las fibras?

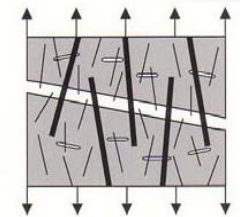
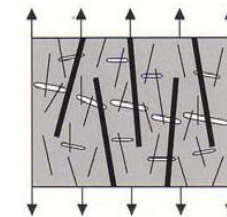
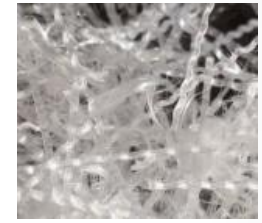


¿Cómo funcionan las fibras?

- HRF: superposición de 3 factores



Clasificación de las fibras



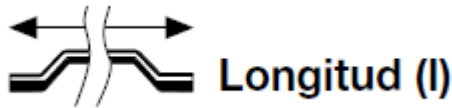
Características de las fibras

✓ Forma de la fibra

✓ Naturaleza de la fibra (módulo elástico y resistencia)

✓ l_f : longitud de la fibra (mm).

✓ l_d : longitud desarrollada de la fibra (mm).

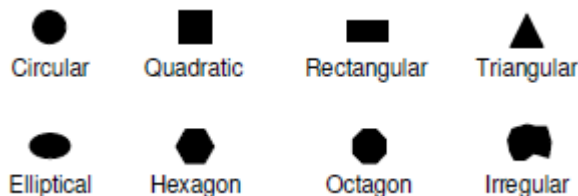


✓ d : diámetro o diámetro equivalente de la fibra (mm).



✓ λ : esbeltez o relación de aspecto de la fibra (l/d).

✓ A_f : área de la sección transversal de la fibra (mm^2).

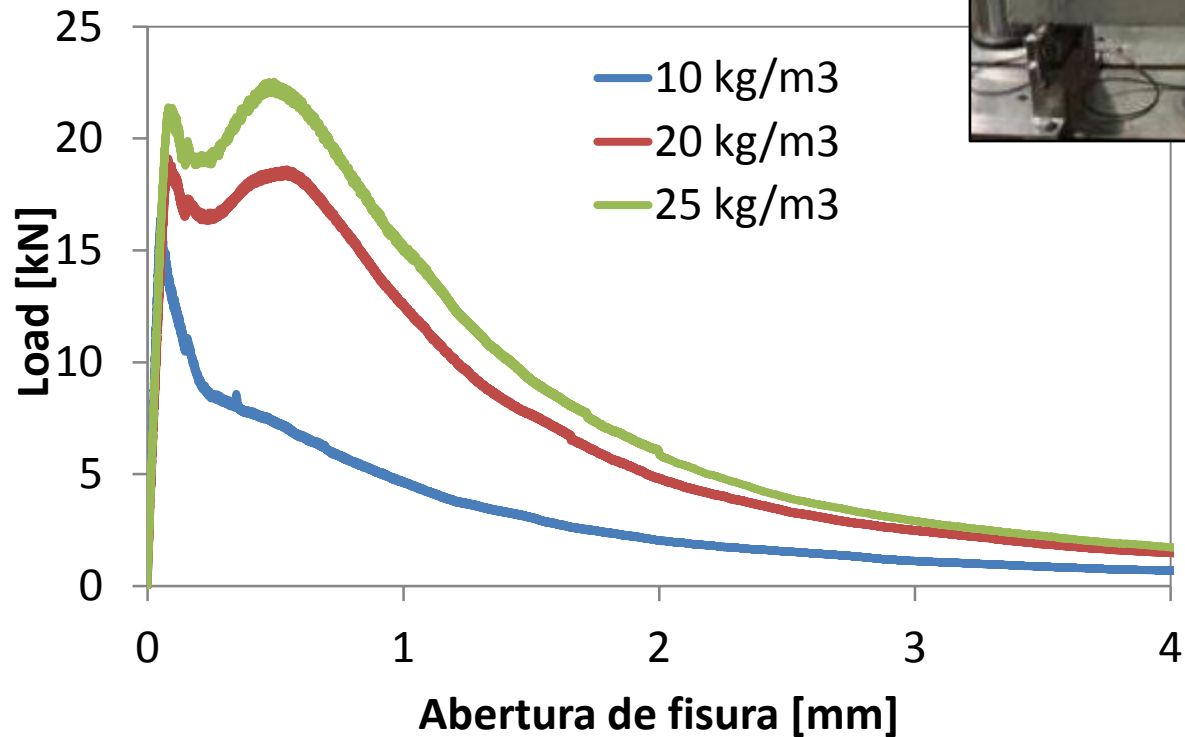


Características de las fibras

TIPO DE FIBRA	DIÁMETRO EQUIVALENTE (mm)	DENSIDAD (kg/m ³)	RESISTENCIA A TRACCIÓN (MPa)	MÓDULO DE YOUNG (GPa)	ALARGAMIENTO DE ROTURA (%)
Acrílico	0,02-0,35	1100	200-400	2	1.1
Asbesto	0,0015-0.02	3200	600-1000	83-138	1-2
Algodón	0,2-0,6	1500	400-700	4,8	3-10
Vidrio	0,005-0,15	2500	1000-2600	70-80	1,5-3,5
Grafito	0,008-0,009	1900	1000-2600	230-415	0.5-1
Aramida	0,01	1450	3500-3600	65-133	2,1-4
Nylon	0,02-0,4	1100	760-820	4,1	16-20
Poliéster	0.02-0,4	1400	720-860	8.3	11-13
Polipropileno (PP)	0,02-1	900-950	200-760	3,5-15	5-25
Polivinil alcohol (PVA)	0,027-0,660	1300	900-1600	23-40	7-8
Carbón	-	1400	4000	230-240	1,4-1.8
Rayón	0,02-0.38	1500	400-600	6,9	10-25
Basalto	0.0106	2593	990	7,6	2.56
Polietileno	0,025-1	960	200-300	5,0	3
Sisal	0,08-0,3	760-1100	228-800	11-27	2,1-4,2
Coco	0,11-0,53	680-1020	108-250	2,5-4,5	14-41
Yute	0,1-0,2	1030	250-350	26-32	1,5-1,9
Acero	0,15-1	7840	345-3000	200	4-10

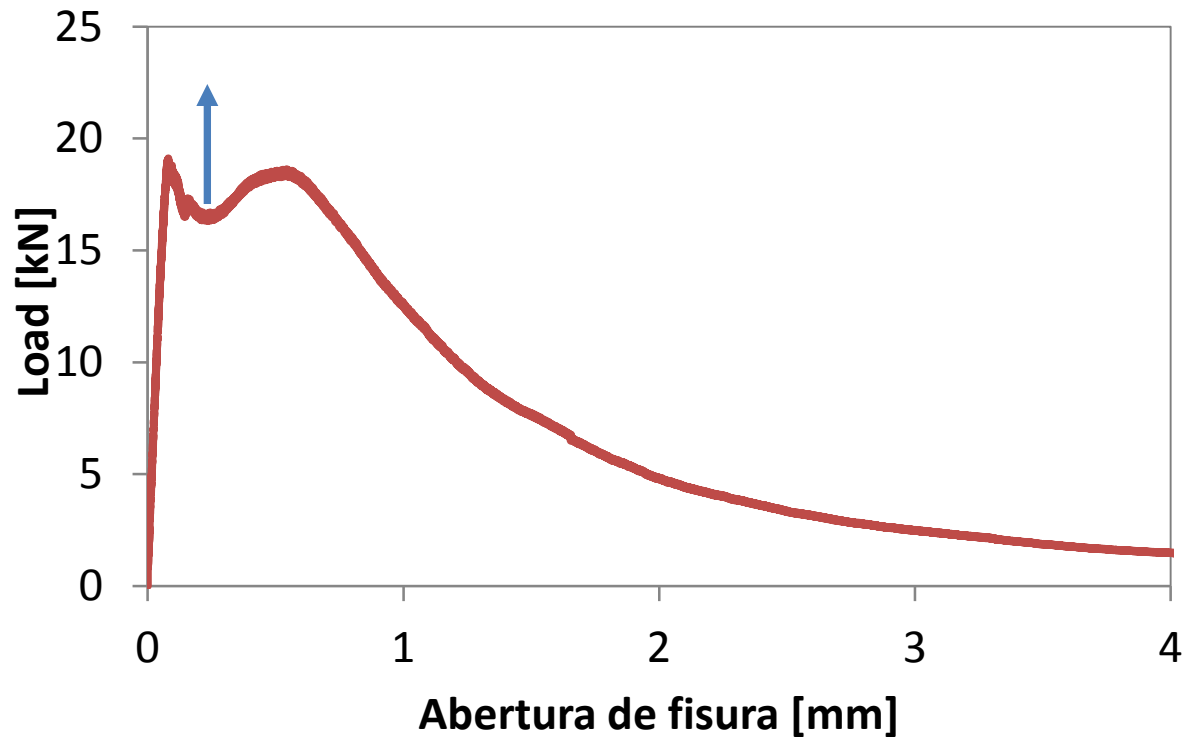
¿Cómo afectan las propiedades?

- Resistencia a flexión



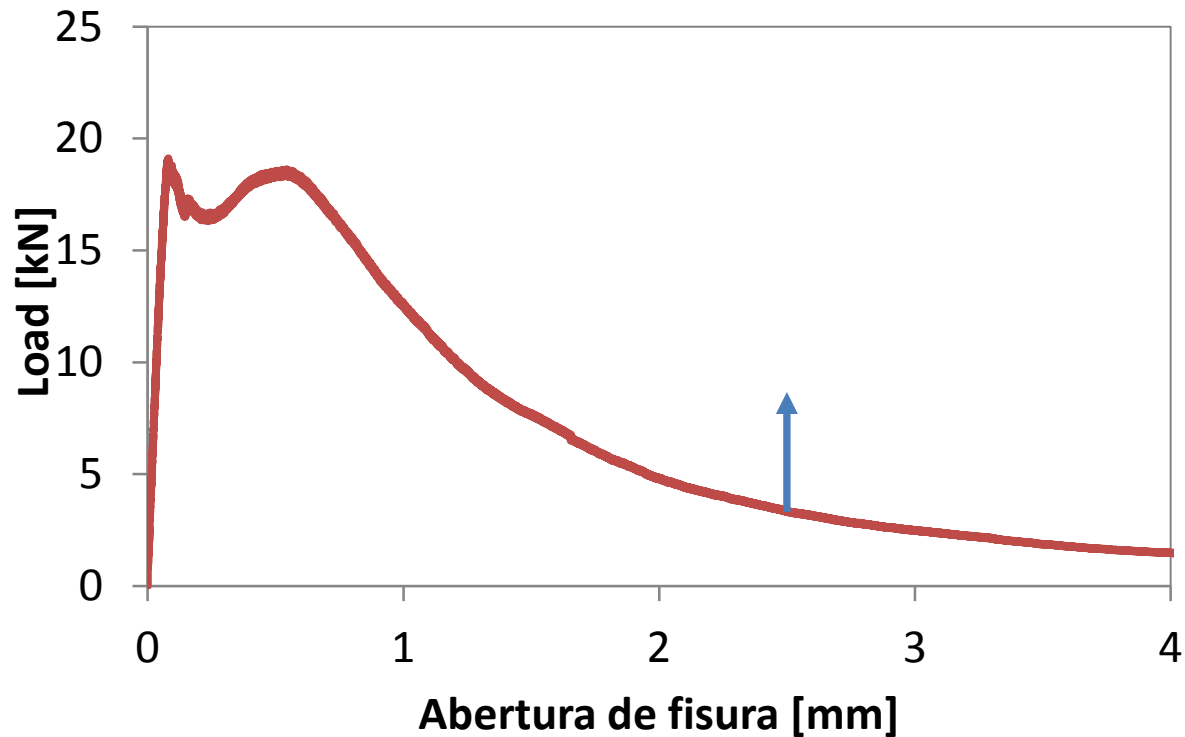
¿Cómo afectan las propiedades?

- Resistencia a flexión



¿Cómo afectan las propiedades?

- Resistencia a flexión

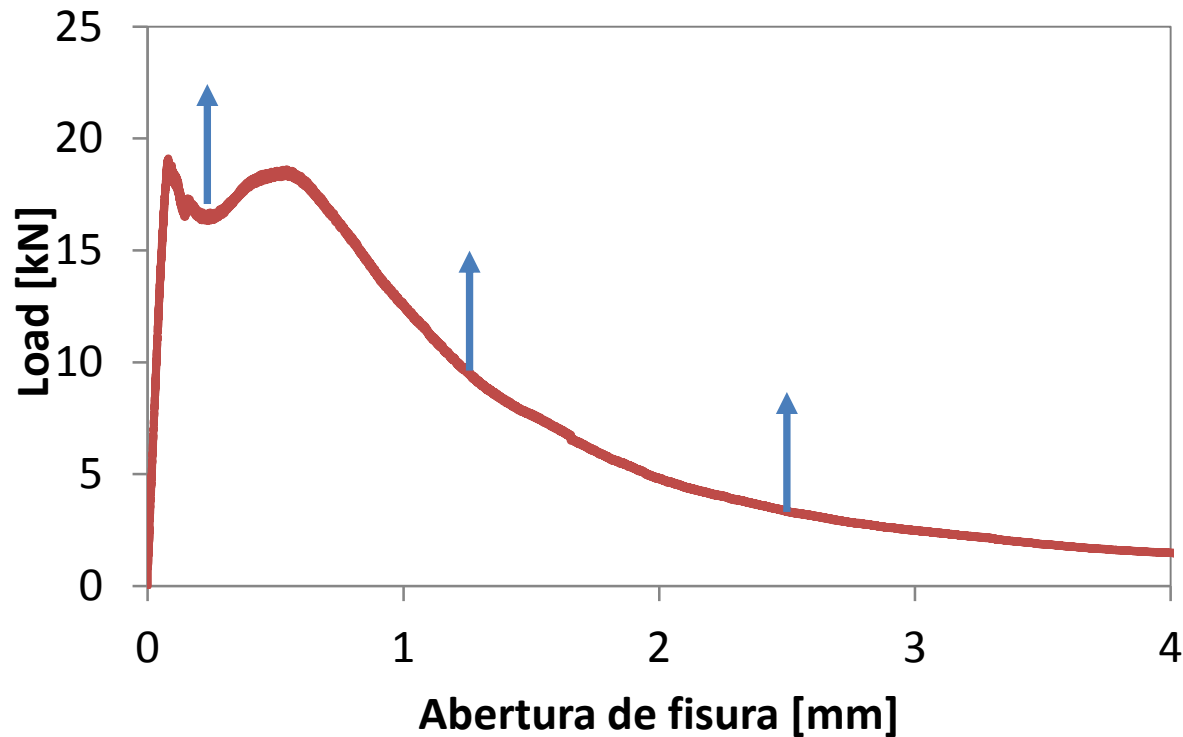


¿Cómo afectan las propiedades?

- Resistencia a flexión



Esbeltez (Si no se rompe)

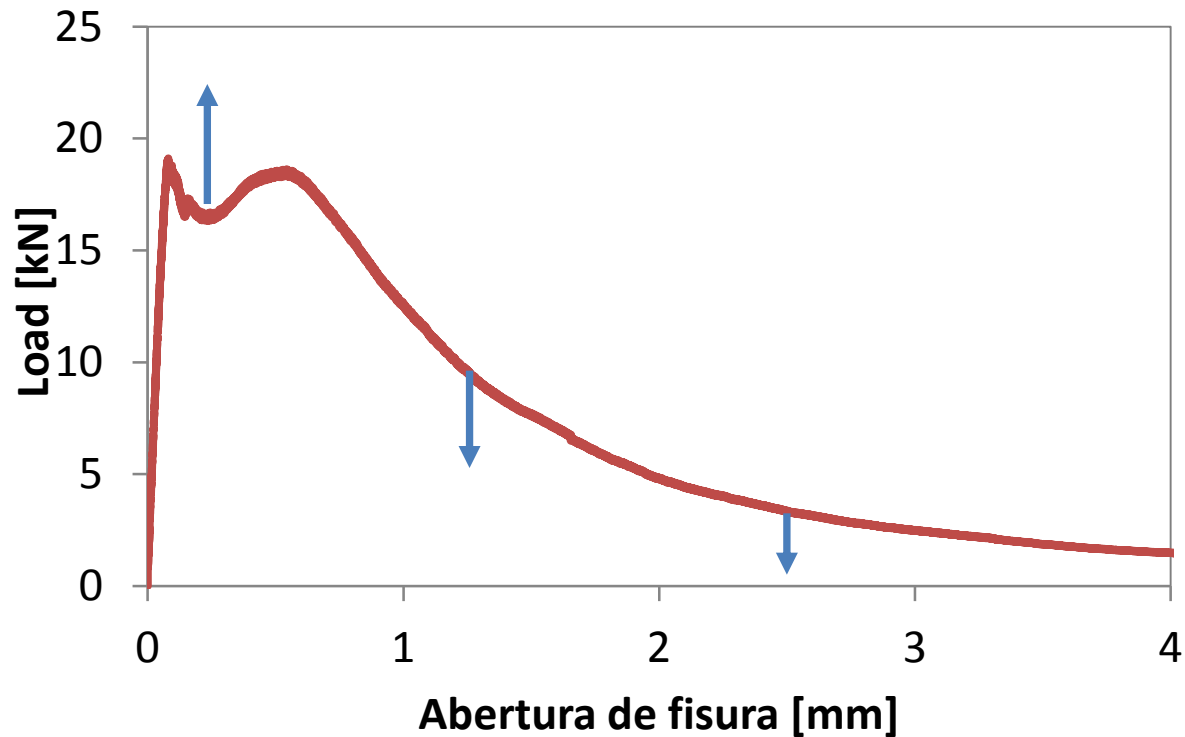


¿Cómo afectan las propiedades?

- Resistencia a flexión



Esbeltez (Si se rompe)

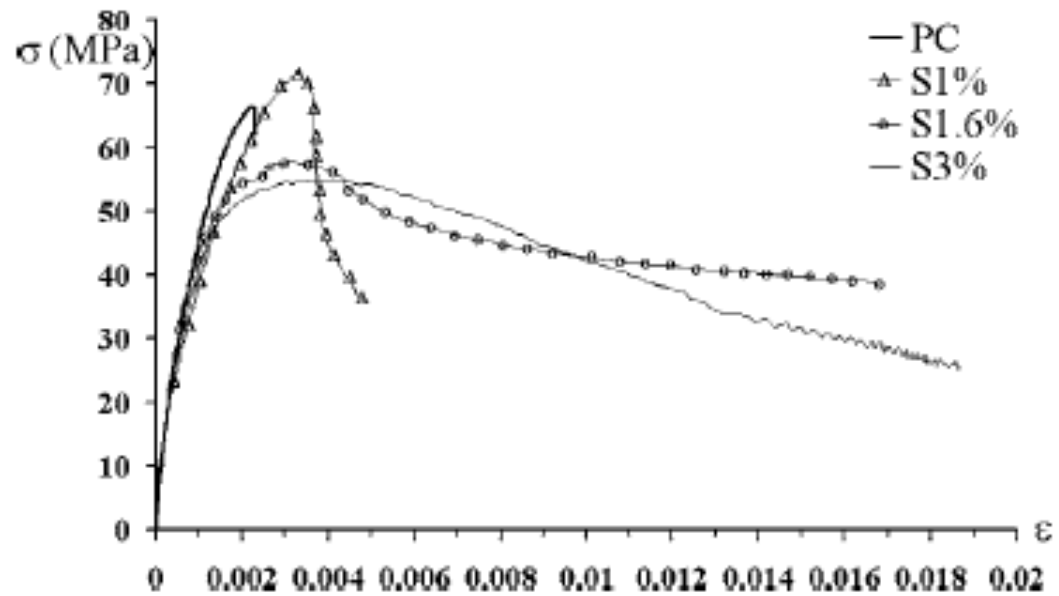


¿Cómo afectan las propiedades?

- Qué necesitamos para uso estructural:
 - **Elevada** resistencia **a tracción**.
 - **Adherencia** con la matriz del mismo orden o incluso superior a la resistencia a tracción de dicha matriz.
 - **Módulo elástico** mayor que el correspondiente a la matriz (por lo menos 3 veces mayor).
 - Debe presentar un **coeficiente de Poisson** y **coeficiente de dilatación térmica** preferiblemente semejantes al de la matriz.

¿Cómo afectan otras propiedades?

- Resistencia a compresión $\begin{cases} \text{“NO” afecta} \\ \text{SÍ mejora la tenacidad y ductilidad} \end{cases}$

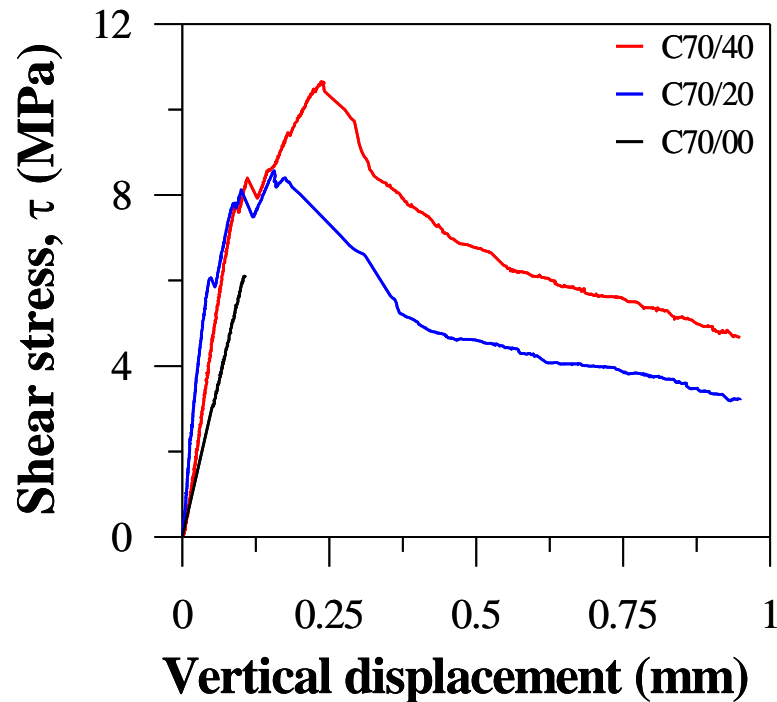


Bencardino et al., 2008

- FIBRA = ÁRIDO DE BAJO COEFICIENTE DE FORMA

¿Cómo afectan otras propiedades?

- Resistencia a cortante



- Normas europeas y el código ACI _ **EVALUACIÓN CORTANTE ÚLTIMO** V_u :

$$V_u = V_c + V_w + V_f$$

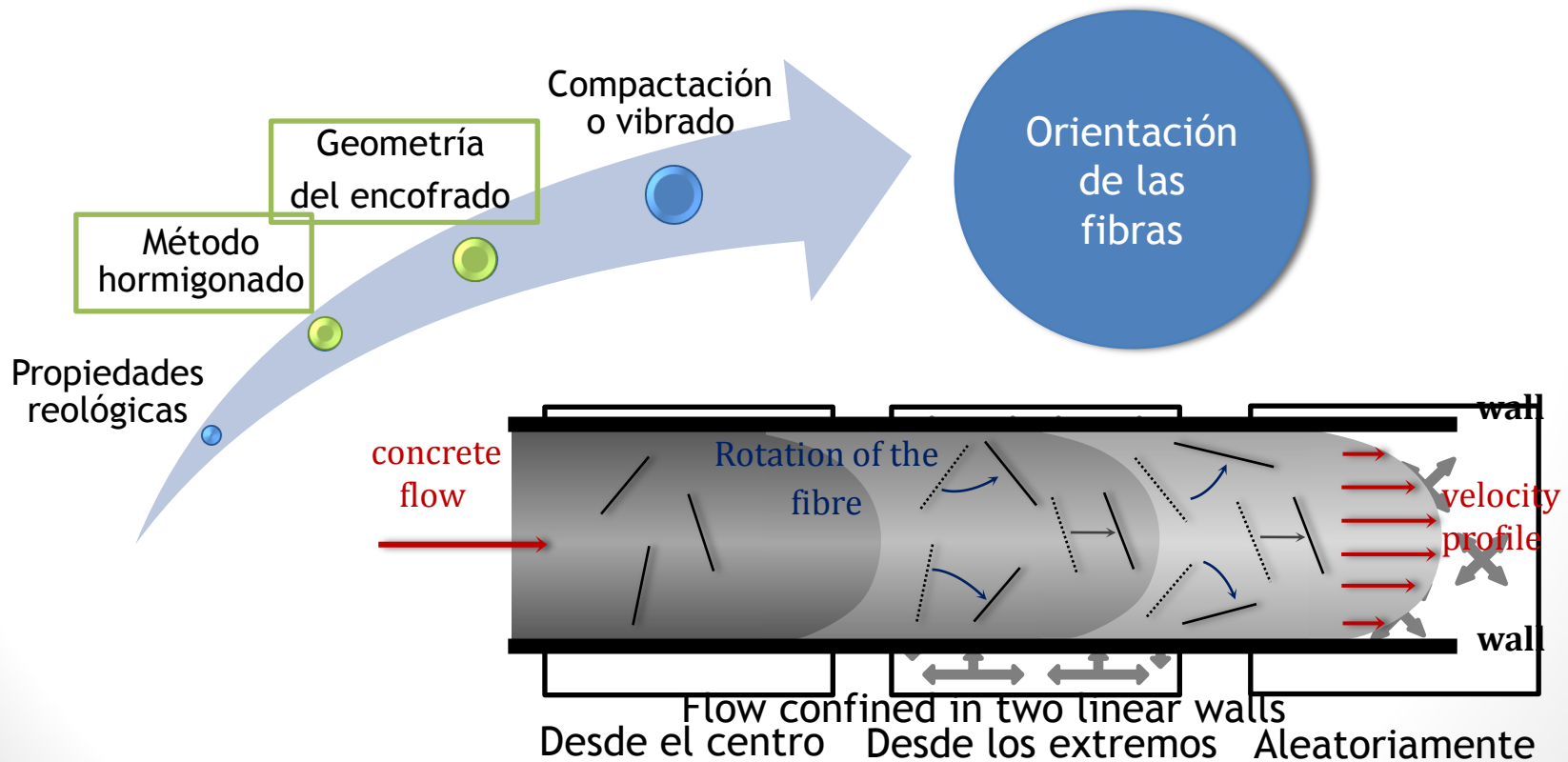
V_c = contribución del hormigón

V_w = armadura de cortante

V_f = contribución de las fibras de acero

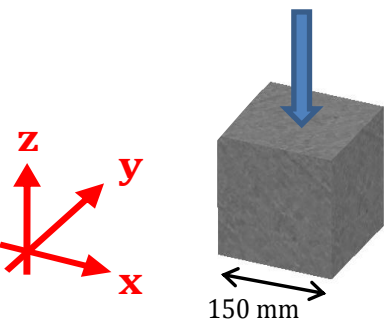
Efecto orientación

Las fibras no proporcionan un refuerzo uniforme con la misma eficiencia en todas las direcciones. Hay **orientaciones preferentes** que son resultado de diversos factores:

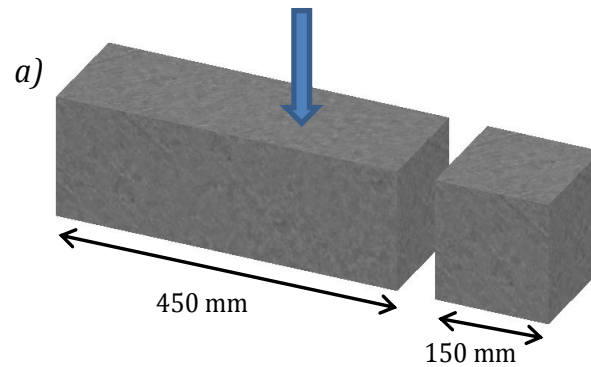


Efecto orientación

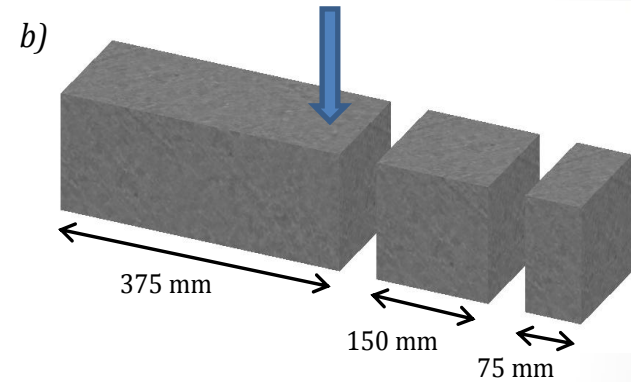
Probeta
(hormigonada en
molde cúbico)



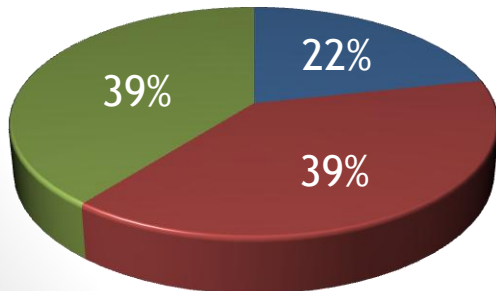
Testigo
(1 corte)



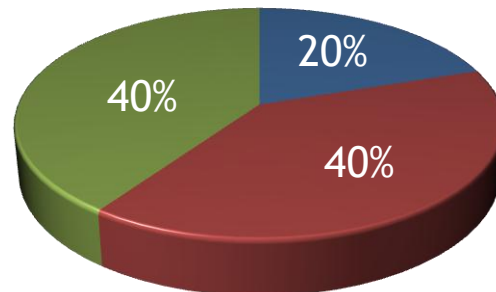
Testigo
(2 corte)



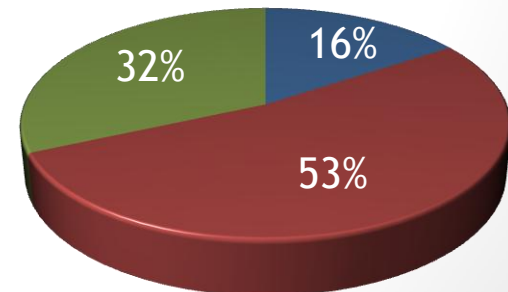
■ Z axis ■ X axis ■ Y axis



■ Z axis ■ X axis ■ Y axis

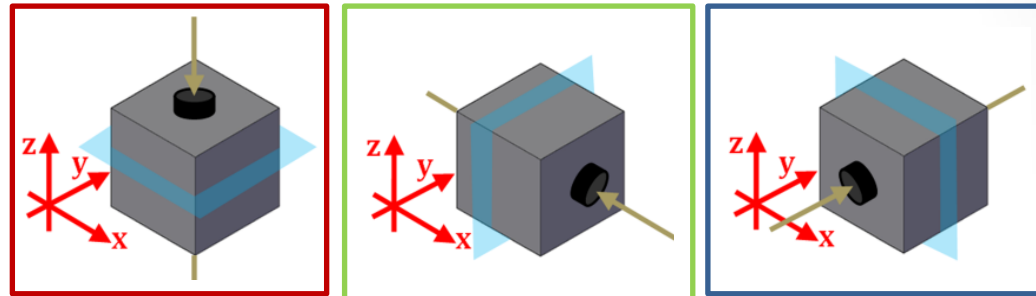


■ Z axis ■ X axis ■ Y axis

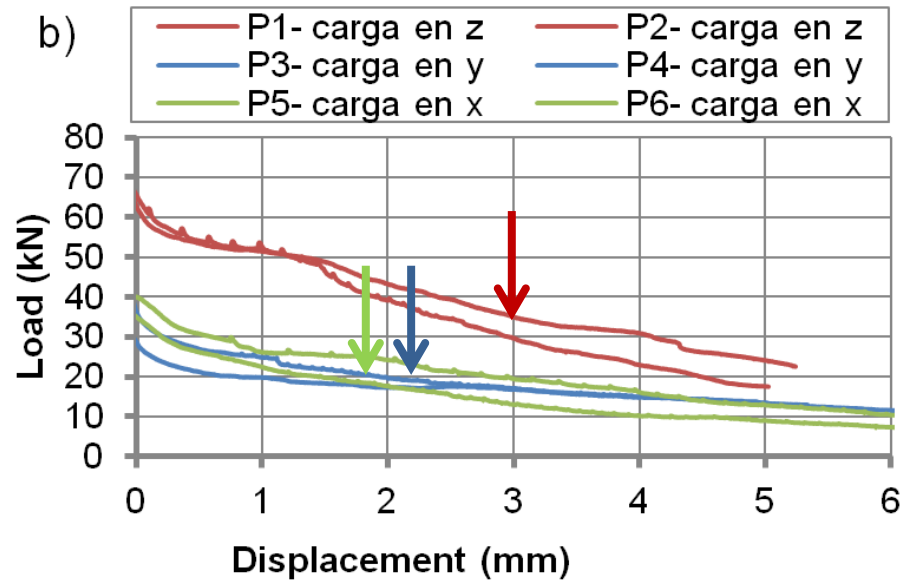
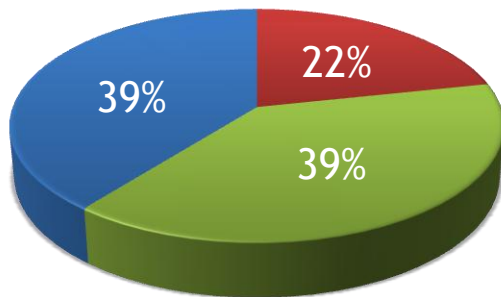


Efecto orientación

Probeta
(hormigonada en
molde cúbico)

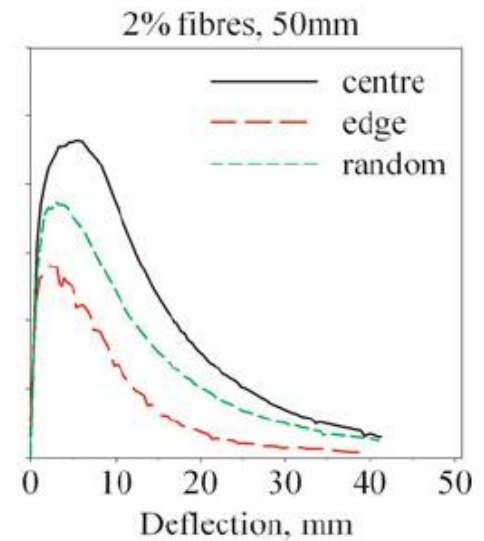
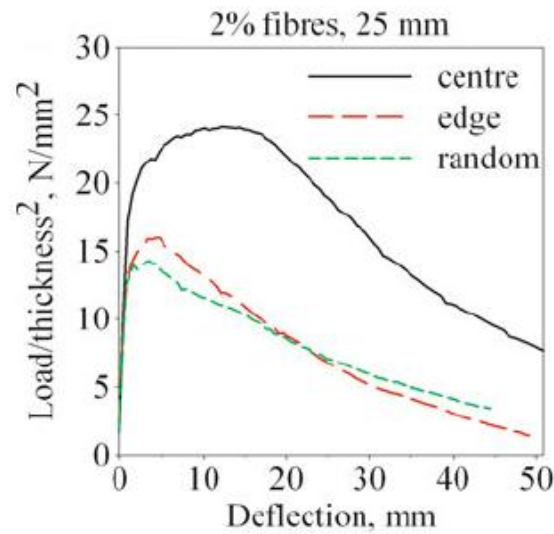
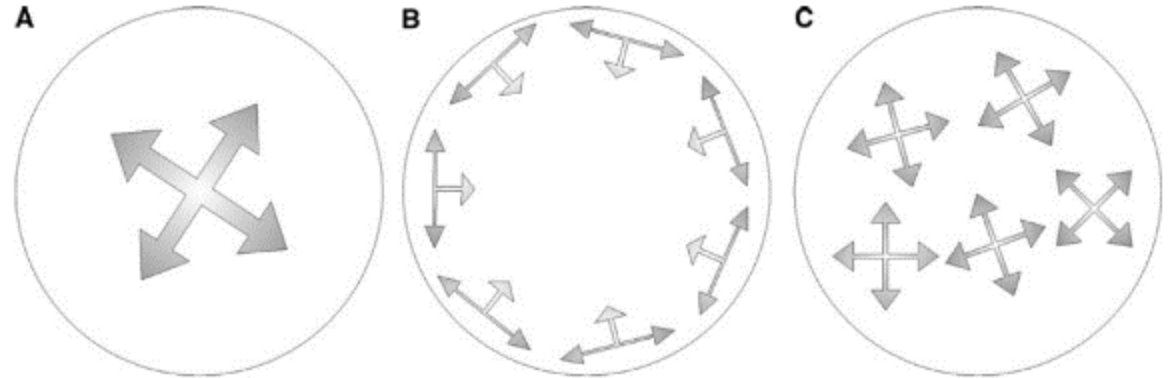


■ Z axis ■ X axis ■ Y axis

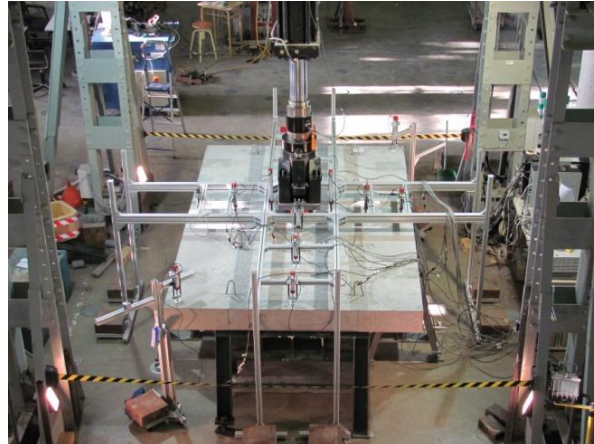
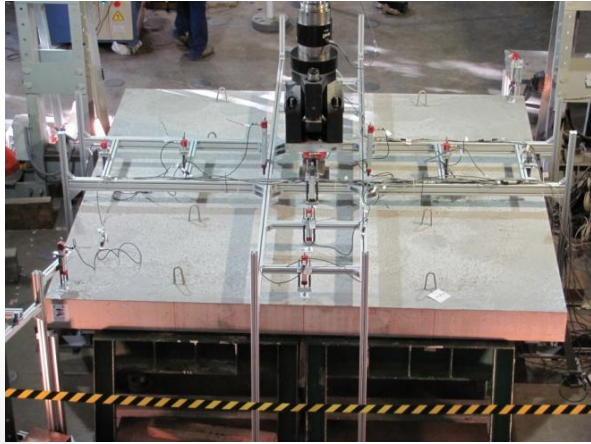


Efecto orientación

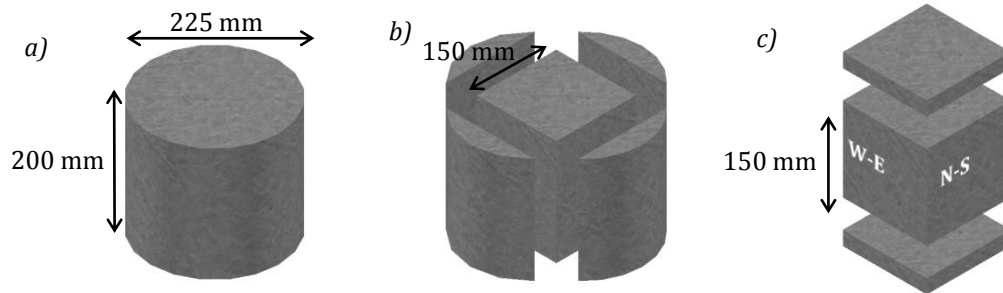
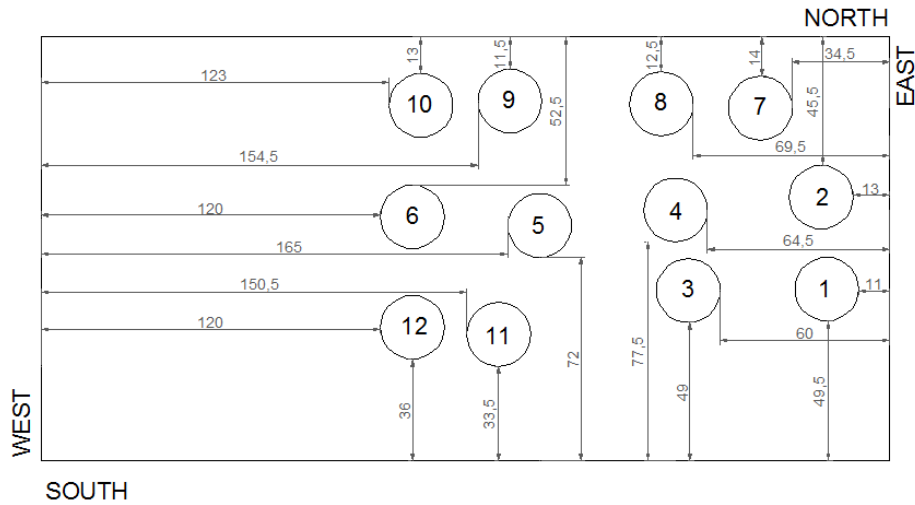
(Barnet et al. 2010)



Efecto orientación

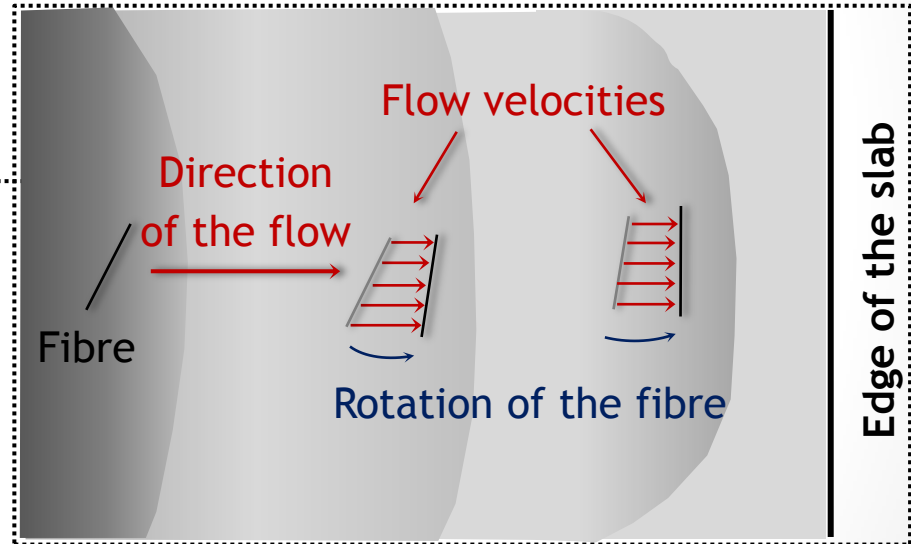
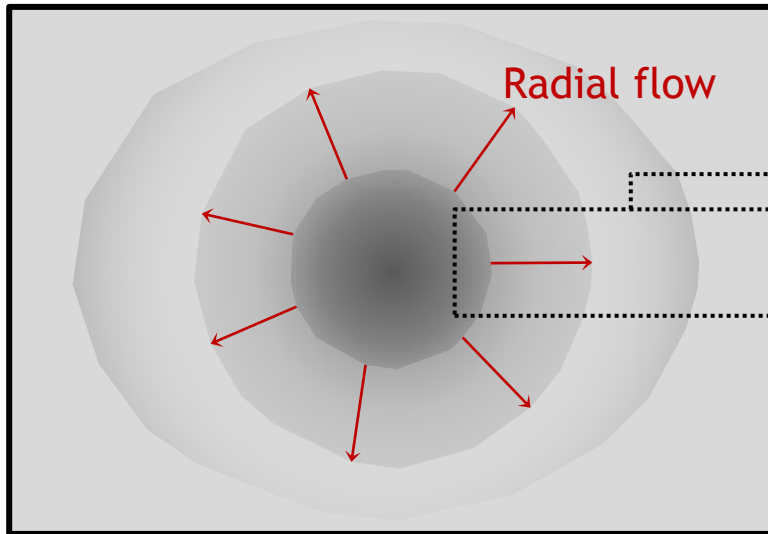


Efecto orientación



Efecto orientación

Formwork

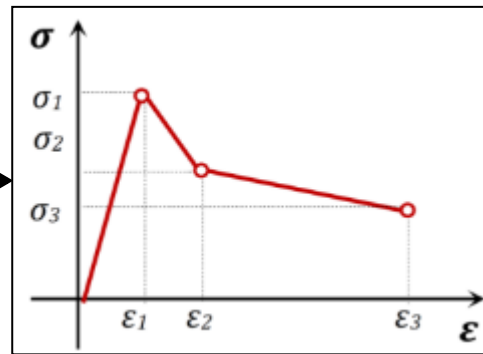


¿Cómo diseñar?

Characterization test



Constitutive model

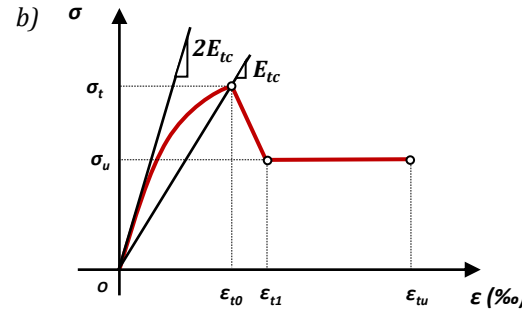
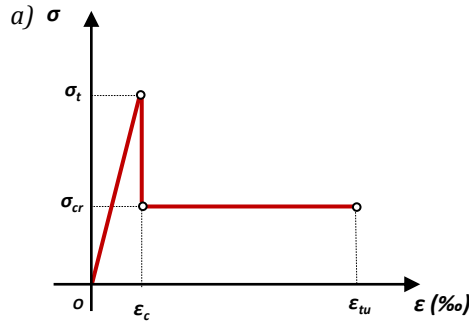


Design

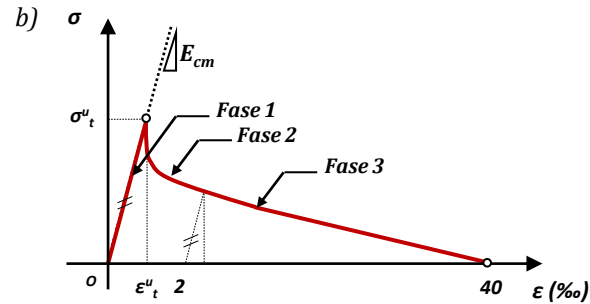
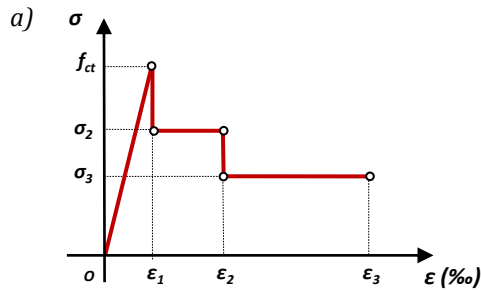


¿Cómo diseñar?

TENSIÓN-DEFORMACIÓN

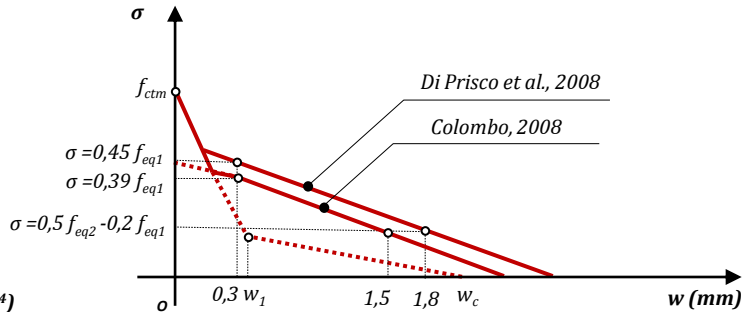
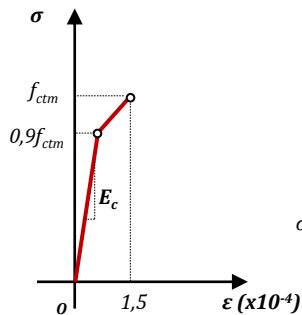


Ecuaciones constitutivas ($\sigma-w$) a tracción del HRF (Lim et al., 1987 y Lok & Xiao, 1998).



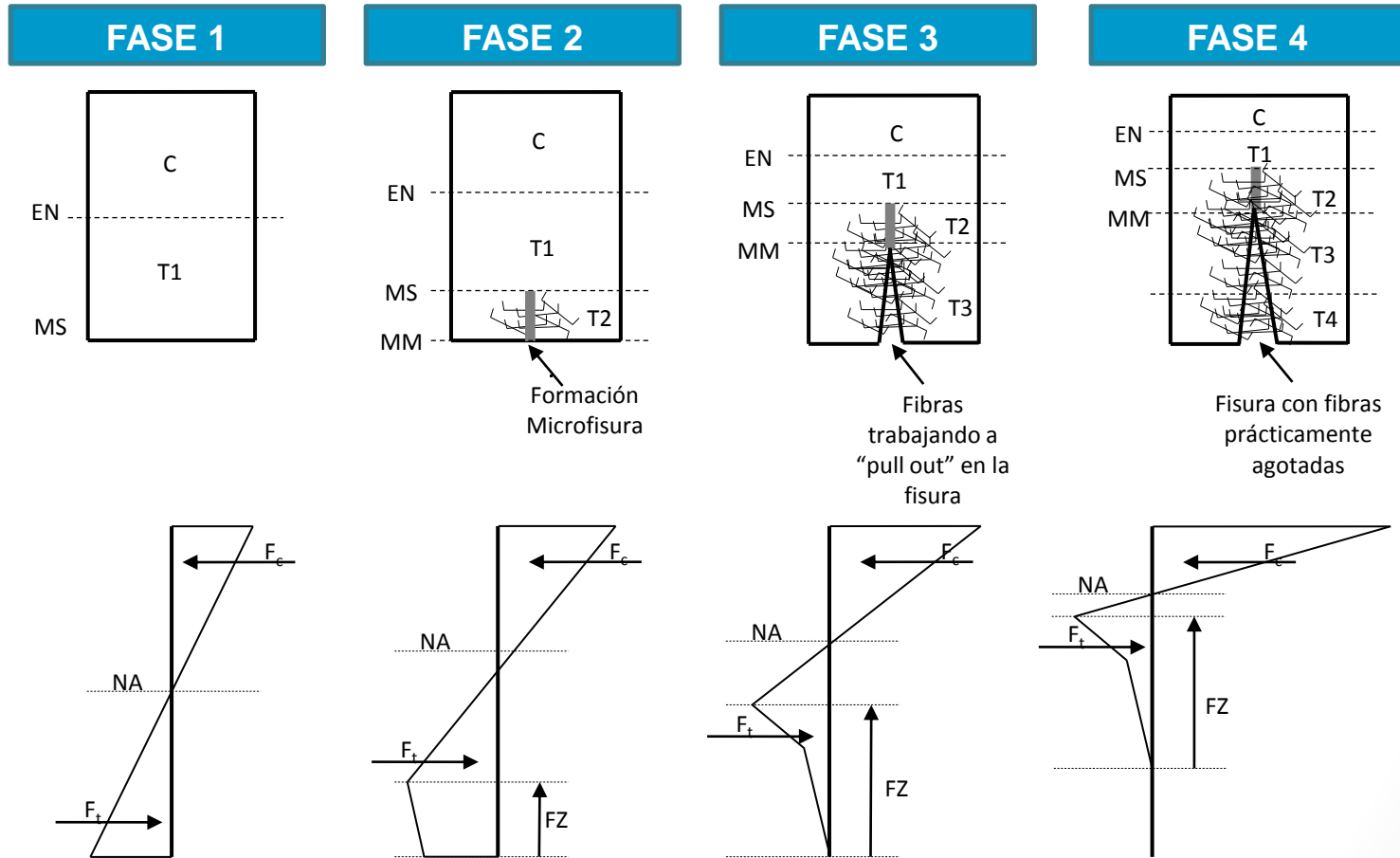
Ecuaciones constitutivas ($\sigma-w$) a tracción del HRF (Dupont, 2003 y Tlemat et al., 2006).

TENSIÓN-ANCHO FISURA



Ecuaciones constitutivas ($\sigma-w$) a tracción del HRF (di Prisco et al., 2008 y Colombo, 2008).

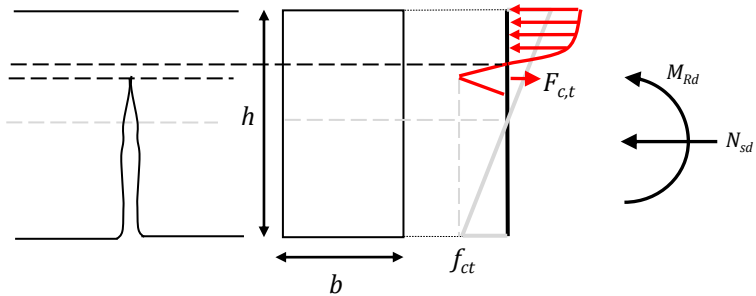
¿Cómo diseñar?



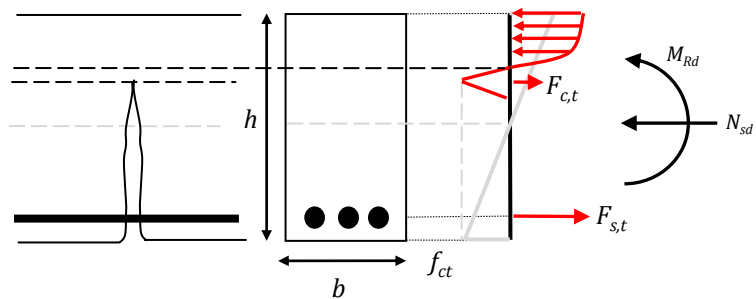
Esquema del comportamiento seccional del HRF a distintos niveles de carga

¿Cómo diseñar?

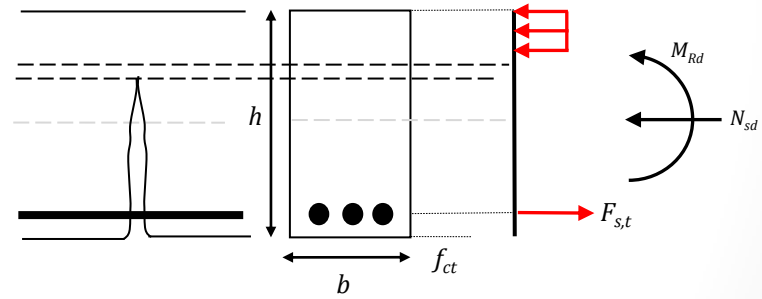
HORMIGÓN EN MASA



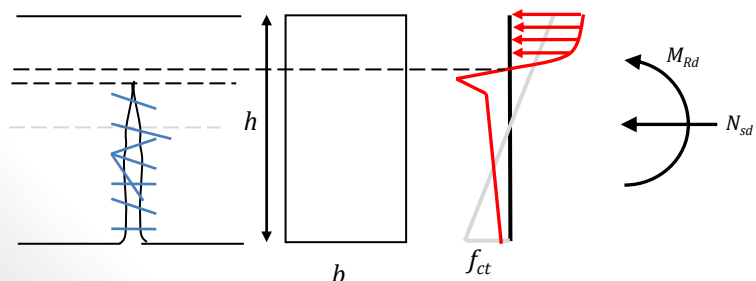
HORMIGÓN ARMADO



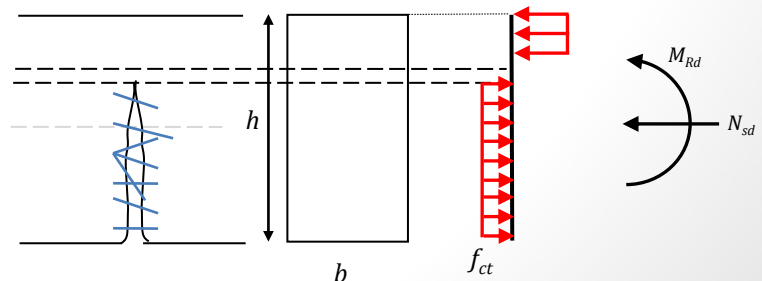
HORMIGÓN ARMADO



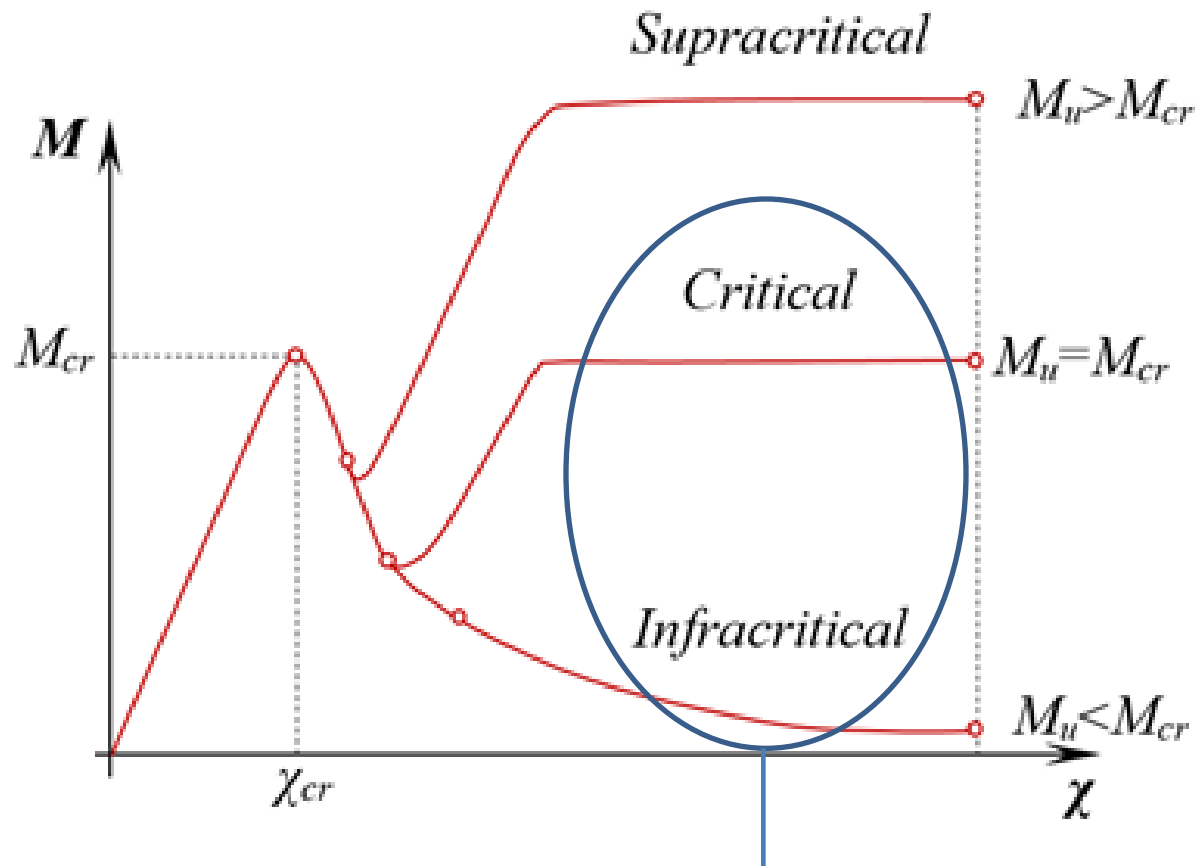
HORMIGÓN CON FIBRAS



HORMIGÓN CON FIBRAS



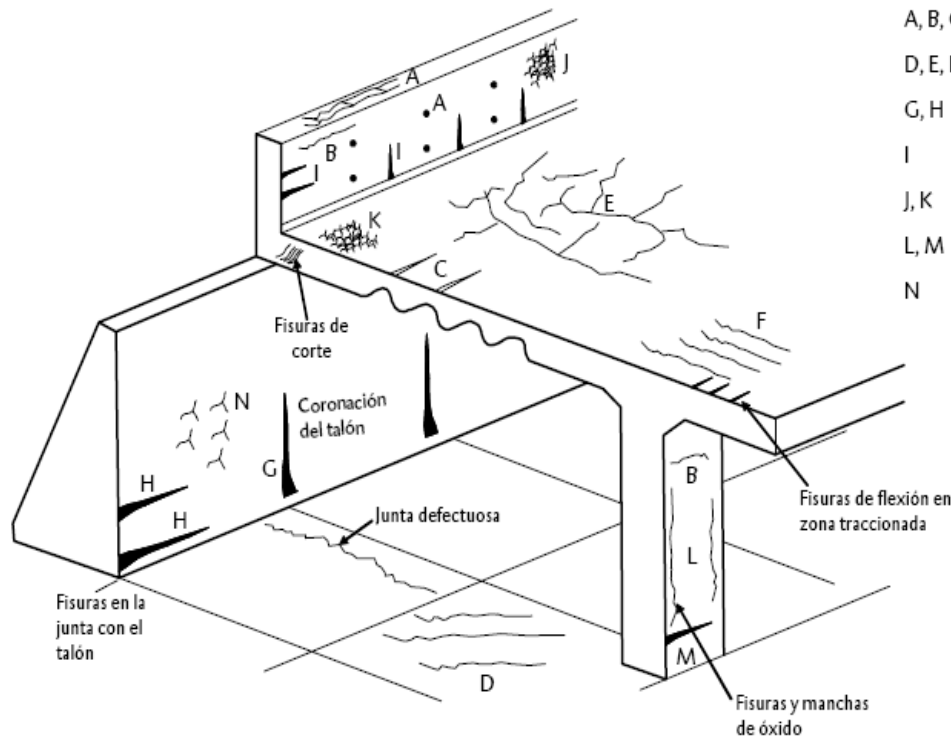
¿Cómo diseñar?



Zona de interés para las fibras

Control de retracción

- **DURABILIDAD FRENTE A LA FISURACIÓN:**
 - La **incorporación de fibras** inhibe la aparición y el desarrollo de fisuras en especial en estas **primeras edades** que son las más vulnerables, permitiendo al hormigón desarrollar toda su capacidad de resistencia y de impermeabilidad.

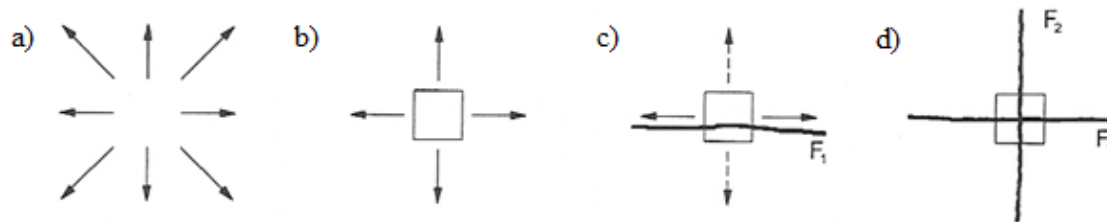


- A, B, C Asentamiento plástico.
- D, E, F Retracción plástica.
- G, H Fisuras de origen térmico.
- I Retracción a largo plazo.
- J, K Afogado
- L, M Corrosión de armadura.
- N Reacción álcali-árido.

Control de retracción

▪ FISURACIÓN DEL HORMIGÓN EN ESTADO PLÁSTICO:

- Es la que **se produce durante las primeras horas** de edad, durante el fraguado del hormigón, debido a una rápida **evaporación del exceso de H_2O** de los poros superficiales.



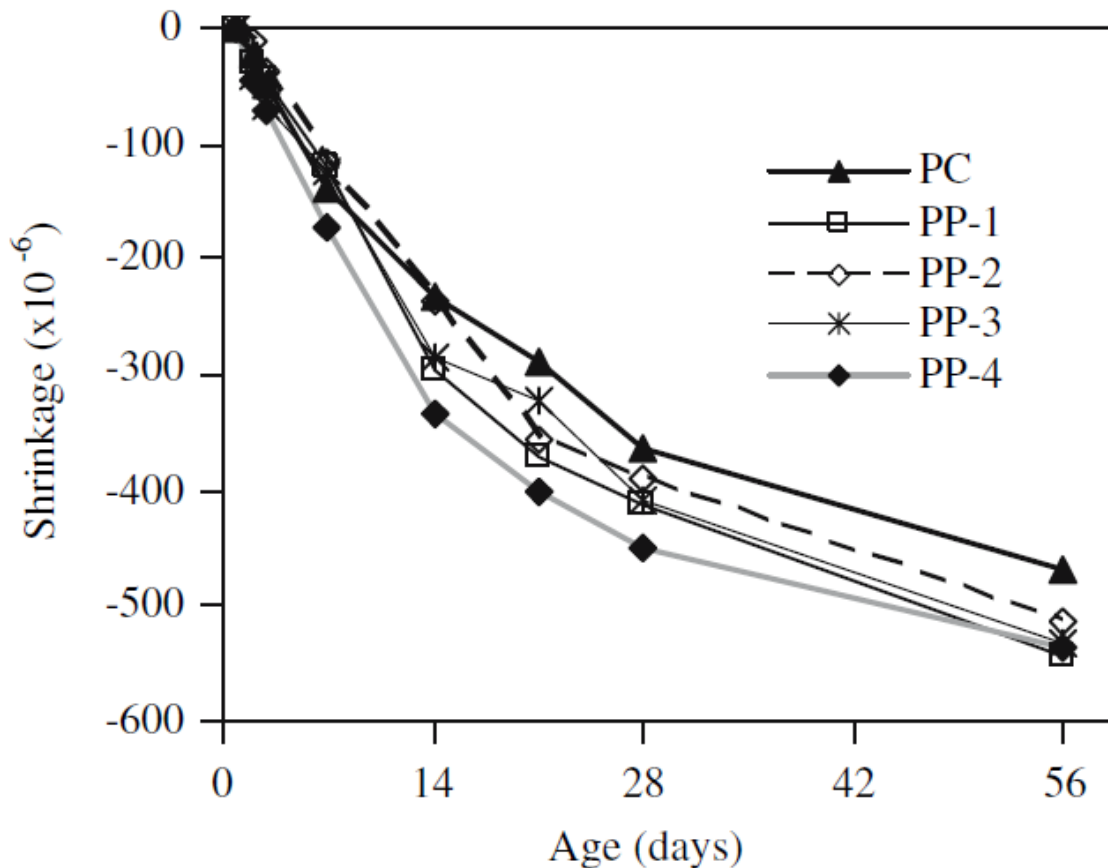
- **Microfibras** → Millones de puentes → la **distribución tridimensional** de las **mini-redes**, conlleva la **reducción** del **agrietamiento** del hormigón



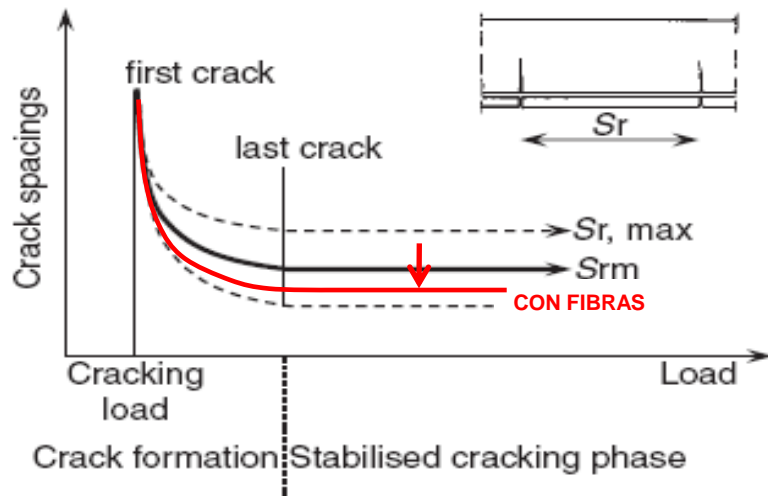
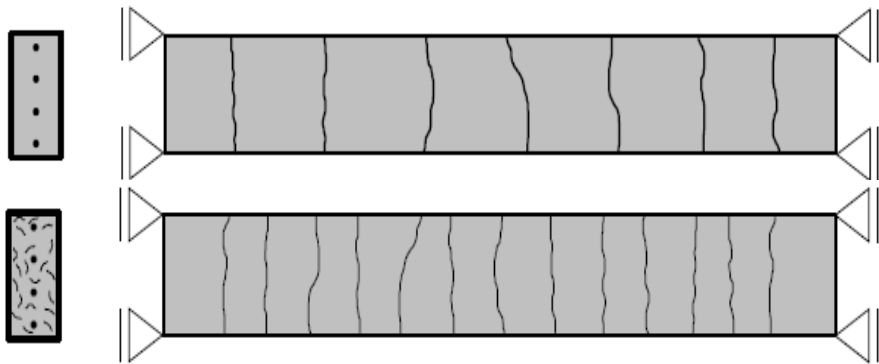
Control de retracción

- **FISURACIÓN POR SECADO O AUTÓGENA:**

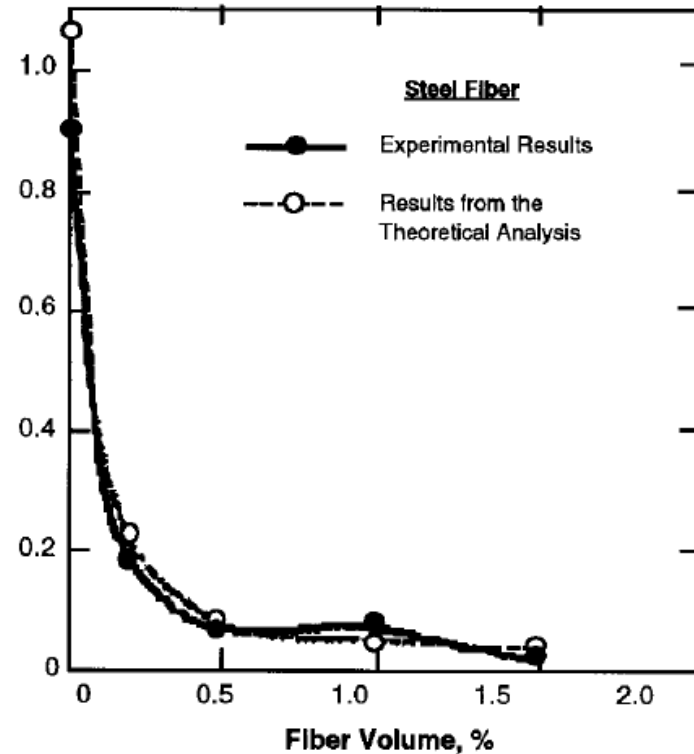
- Varios días/semanas → Armadura de piel → Macrofibras



Control de abertura de fisura



Average Crack Width, mm

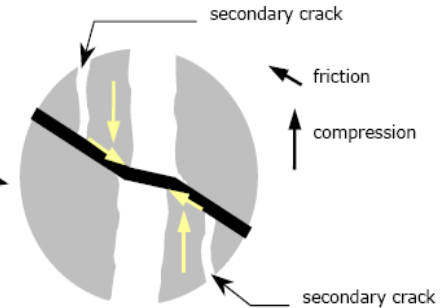
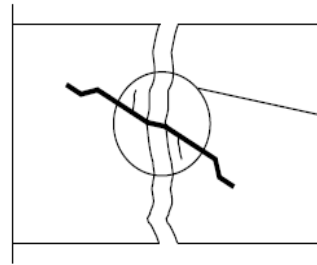


Control de abertura de fisura

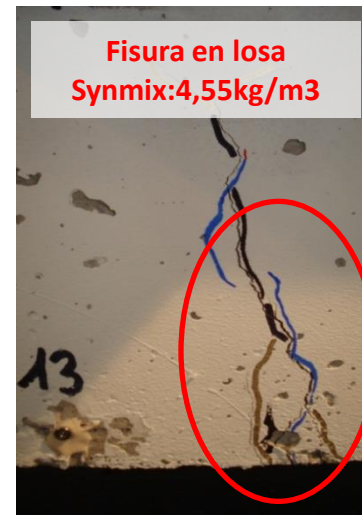
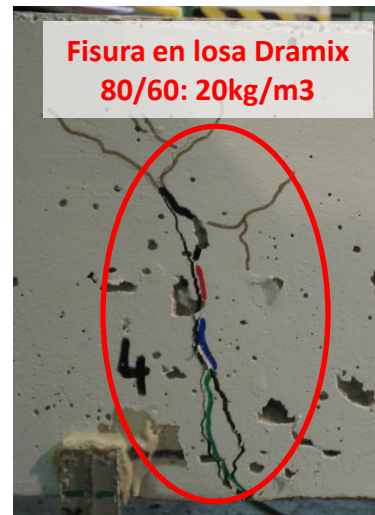
▪ DISTRIBUCIÓN Y FORMA DE FISURAS.

- Fisuras más curvadas

- ✓ Ramificación
- ✓ Fragmentación

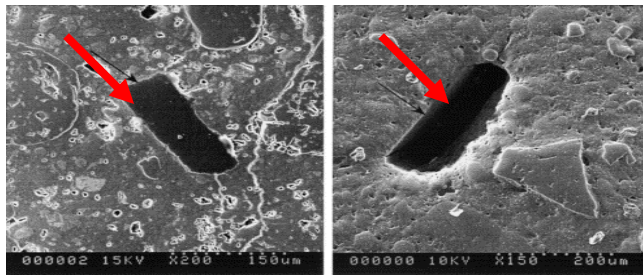


- Mejora DURABILIDAD

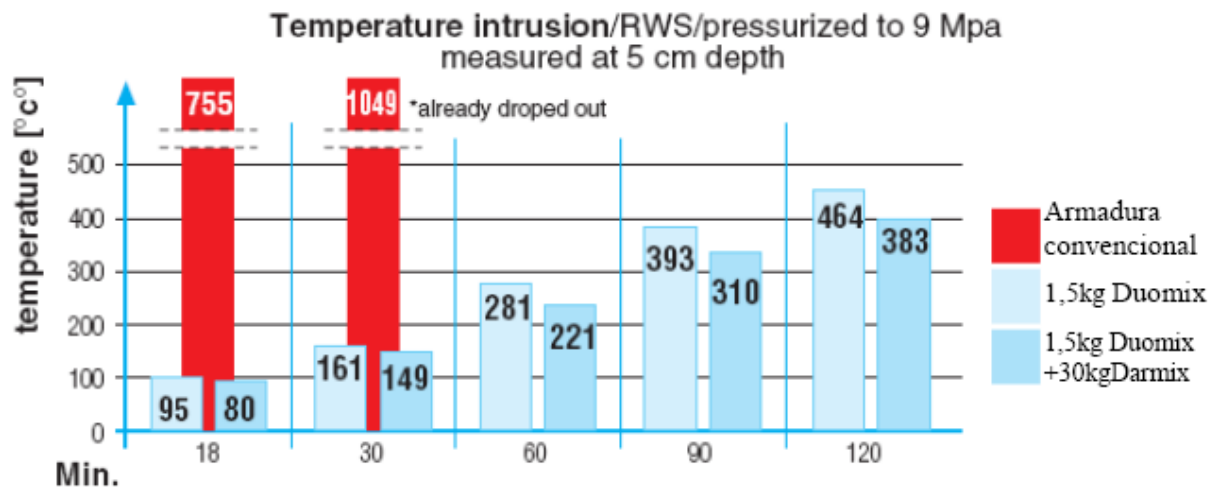


Una idea antigua para un nuevo material

- Durabilidad frente al FUEGO:
 - **Microfibras** POLIPROPILENO → **evitamos spalling**:



- Las fibras → alcanzan su **temperatura de fusión** → se descomponen → → **red de canales conectados** → **vía de escape** → ↓ presión en los poros.



Conclusiones

- No es un sustituto universal de armaduras
- Supondrá ventaja (+ que solo armadura tradicional) en:
 - ✓ **Elementos que requieren armadura mínima**
 - ✓ **Elementos sin dirección predominante de esfuerzos/fisuración**
 - ✓ **Elementos que trabajen por forma**
 - ✓ **Elementos que requieren control de abertura de fisuras o expuestos a fuego**
 - ✓ **Elementos con riesgo de impacto**



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Bases conceptuales, propiedades y diseño

AVANCES EN TECNOLOGÍA DEL HORMIGÓN

Montevideo, 2 de diciembre de 2015

Sergio Cavalaro