



Antonio Aguado
Catedrático Universidad

LKS Aitor Maturana

**Formigó armat amb fibres metàl·liques:
disseny, càlcul i aplicació**



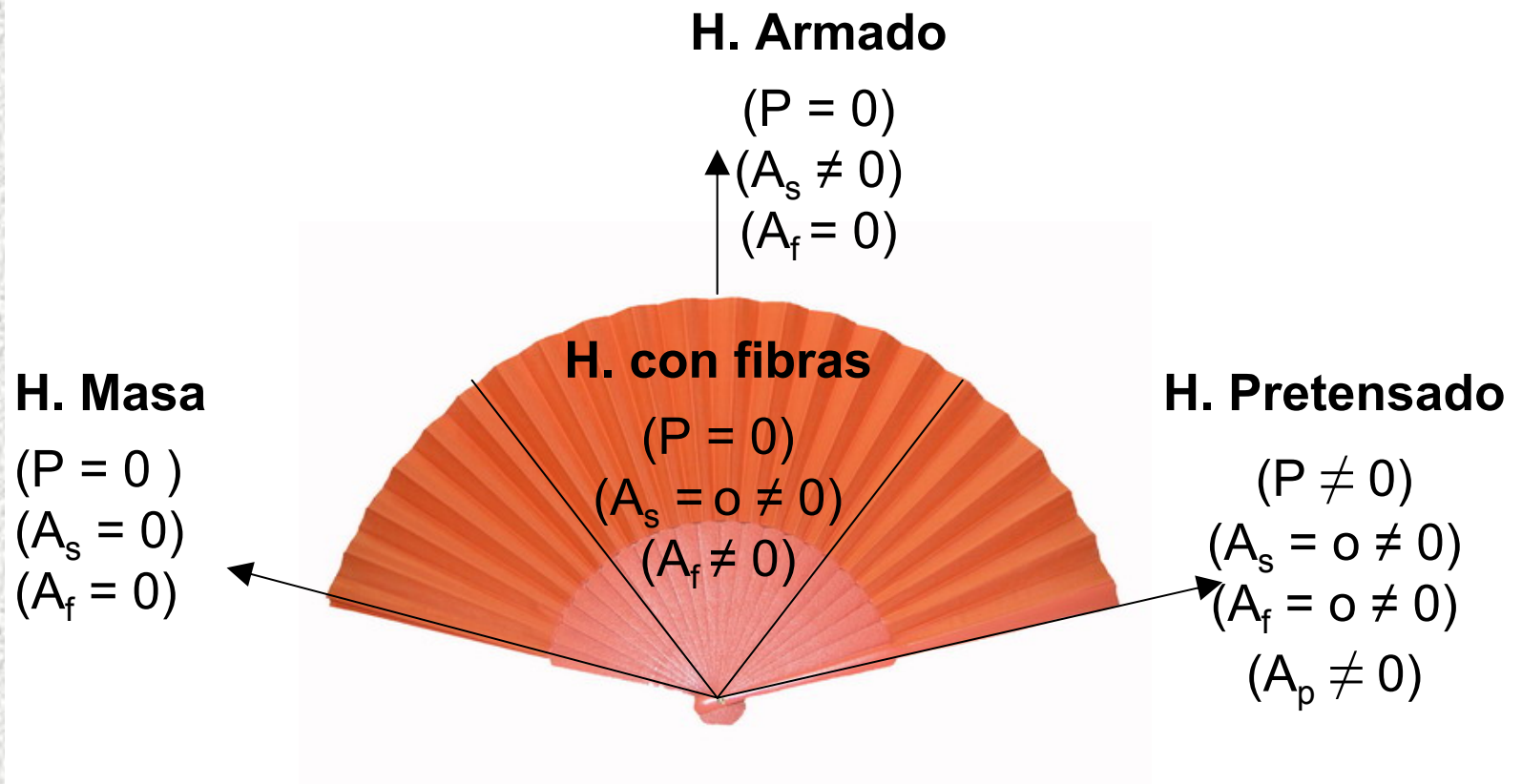
Barcelona 16.02.2010

El hormigón con fibras en el contexto del H. estructural

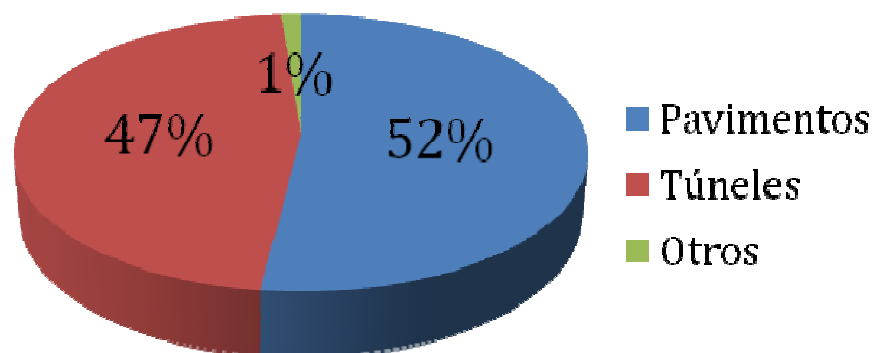
Fibras: No estructurales y estructurales

Acierto del título: formigó armat

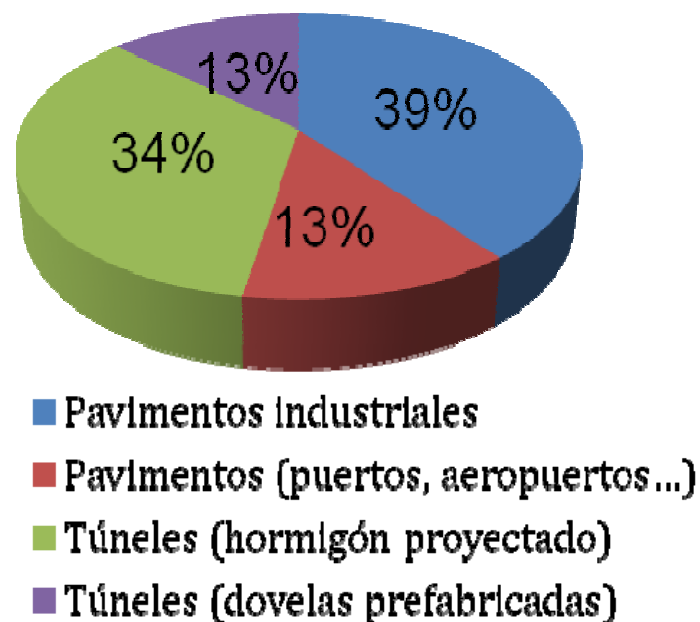
Visión **estructural**



Fibras de acero para hormigón en España



(38 toneladas de fibras de acero)





Objetivo – EHE 08

Objetivo

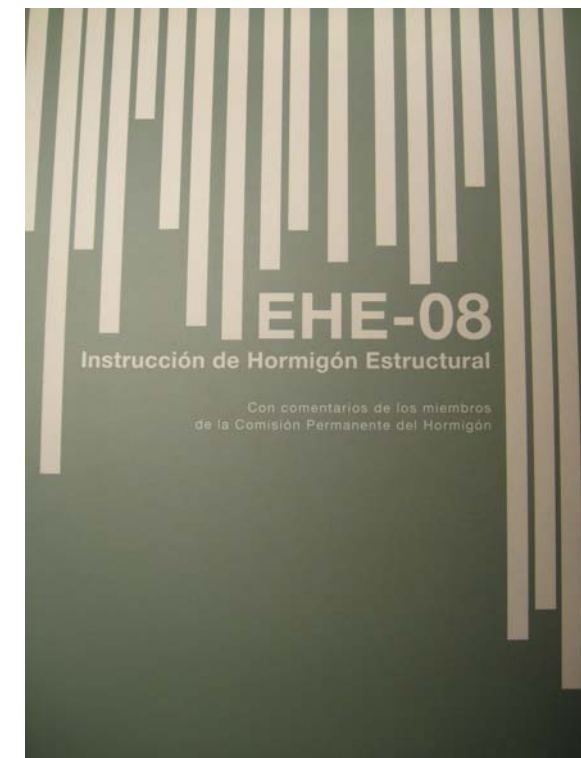
- Profundizar en visión estructural de la contribución de las fibras
- Enfatizar en estructuras industriales
- Pavimentos armados vs pavimentos de hormigón con fibras

Impulso EHE: Anejo 14

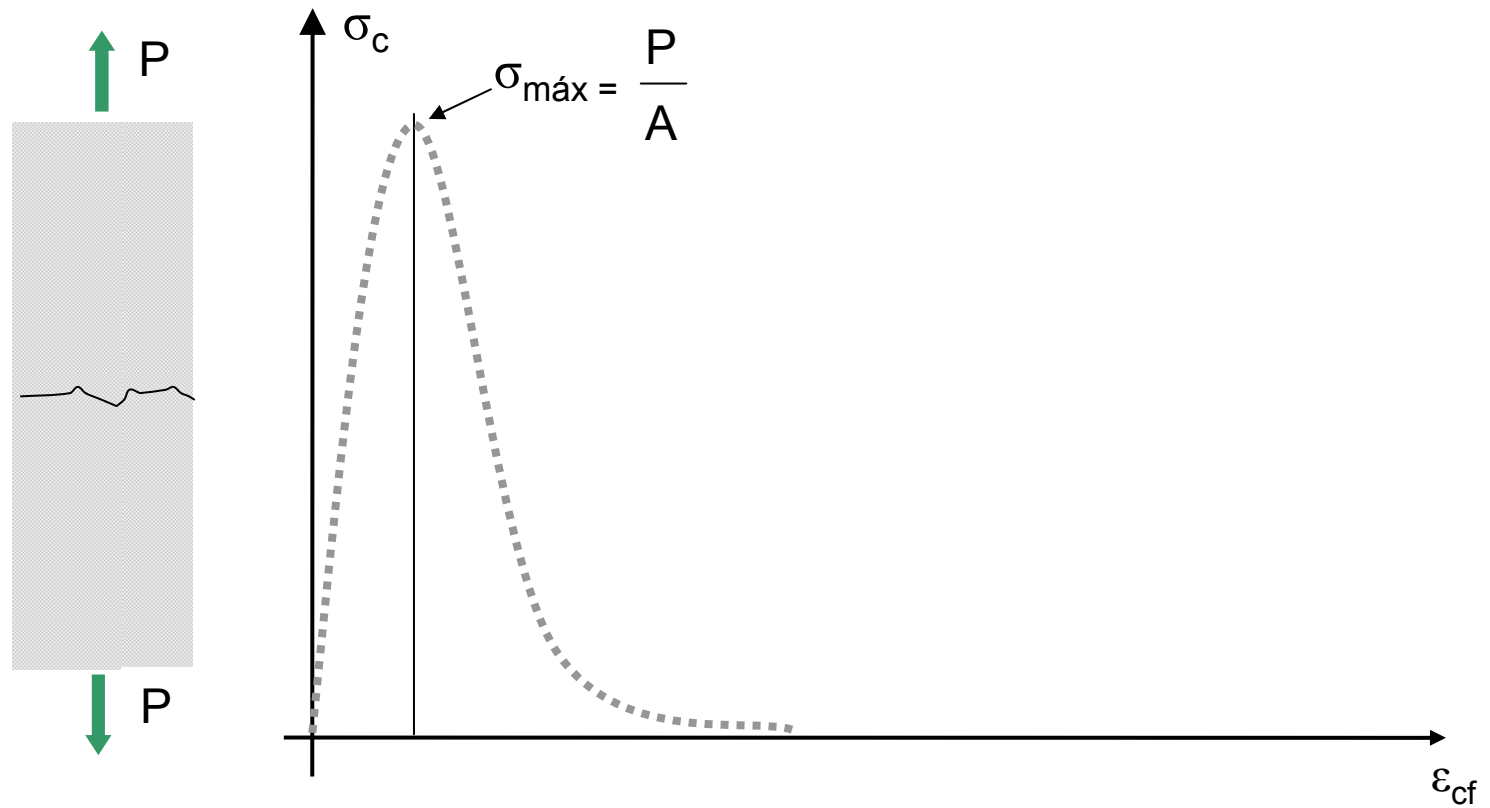
Confianza al usuario

Visión global (material-estructura)

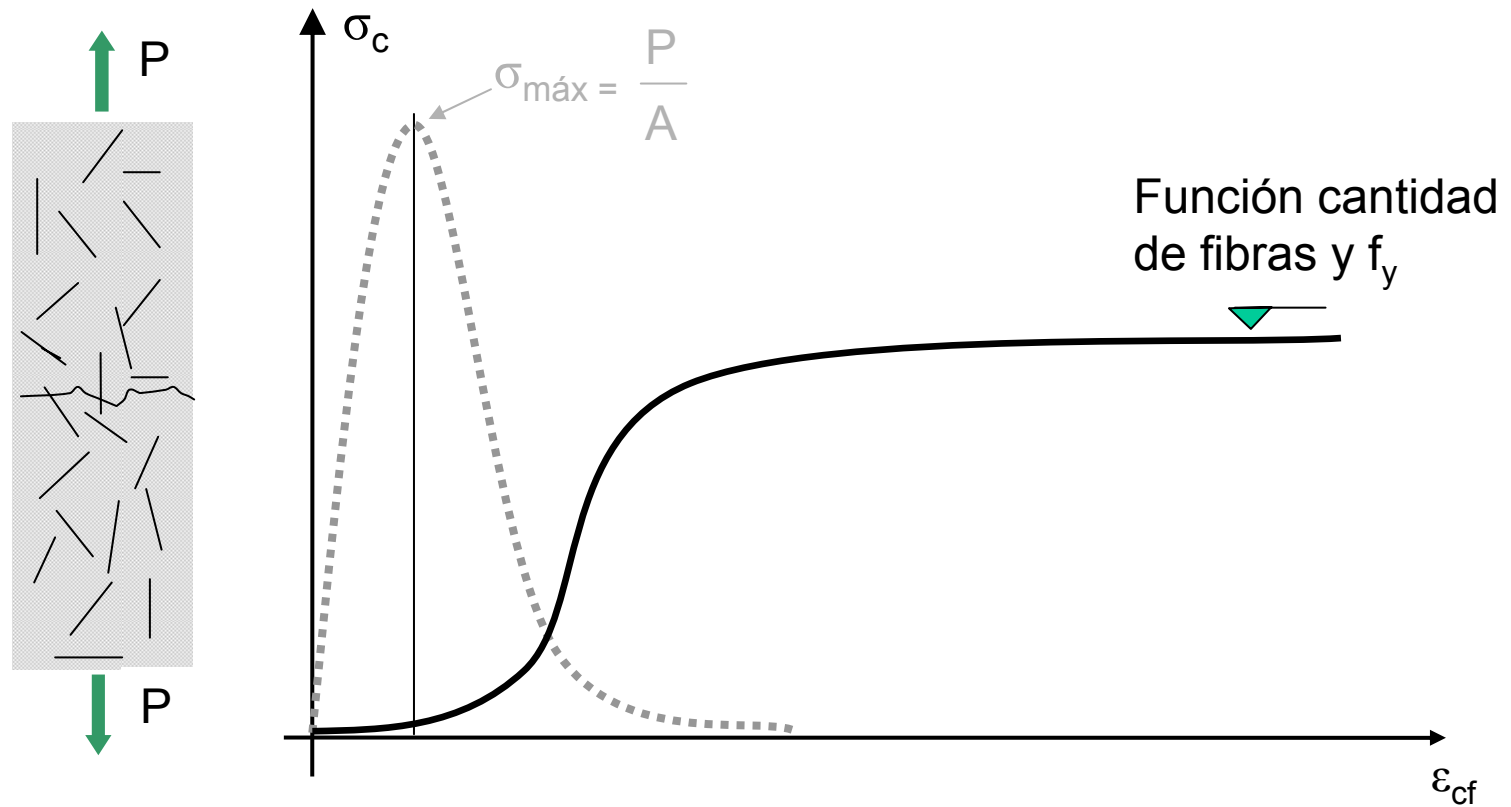
Sinergias Puesta (HAC con fibras)



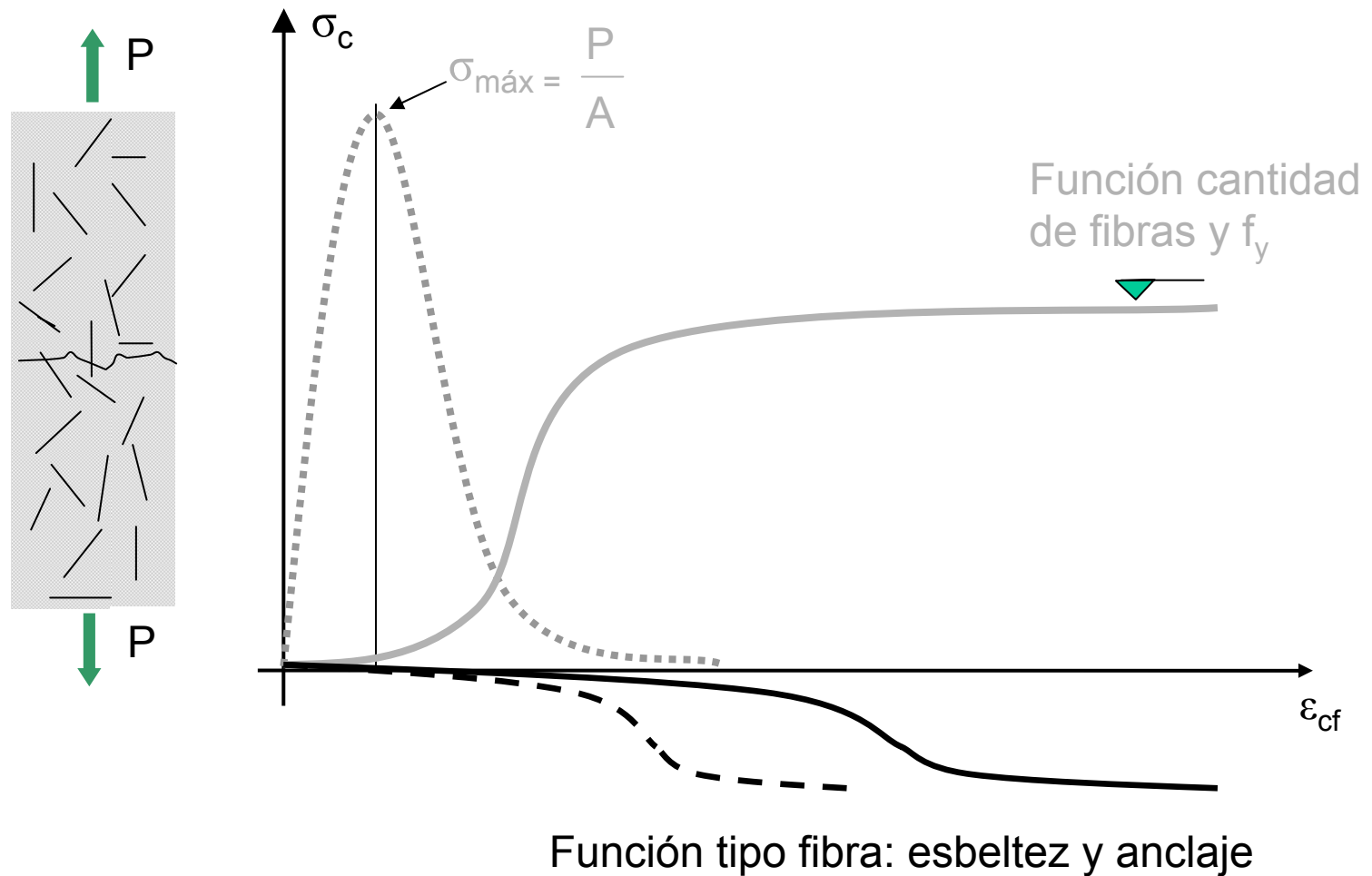
Fase 1: Hormigón sin fibras

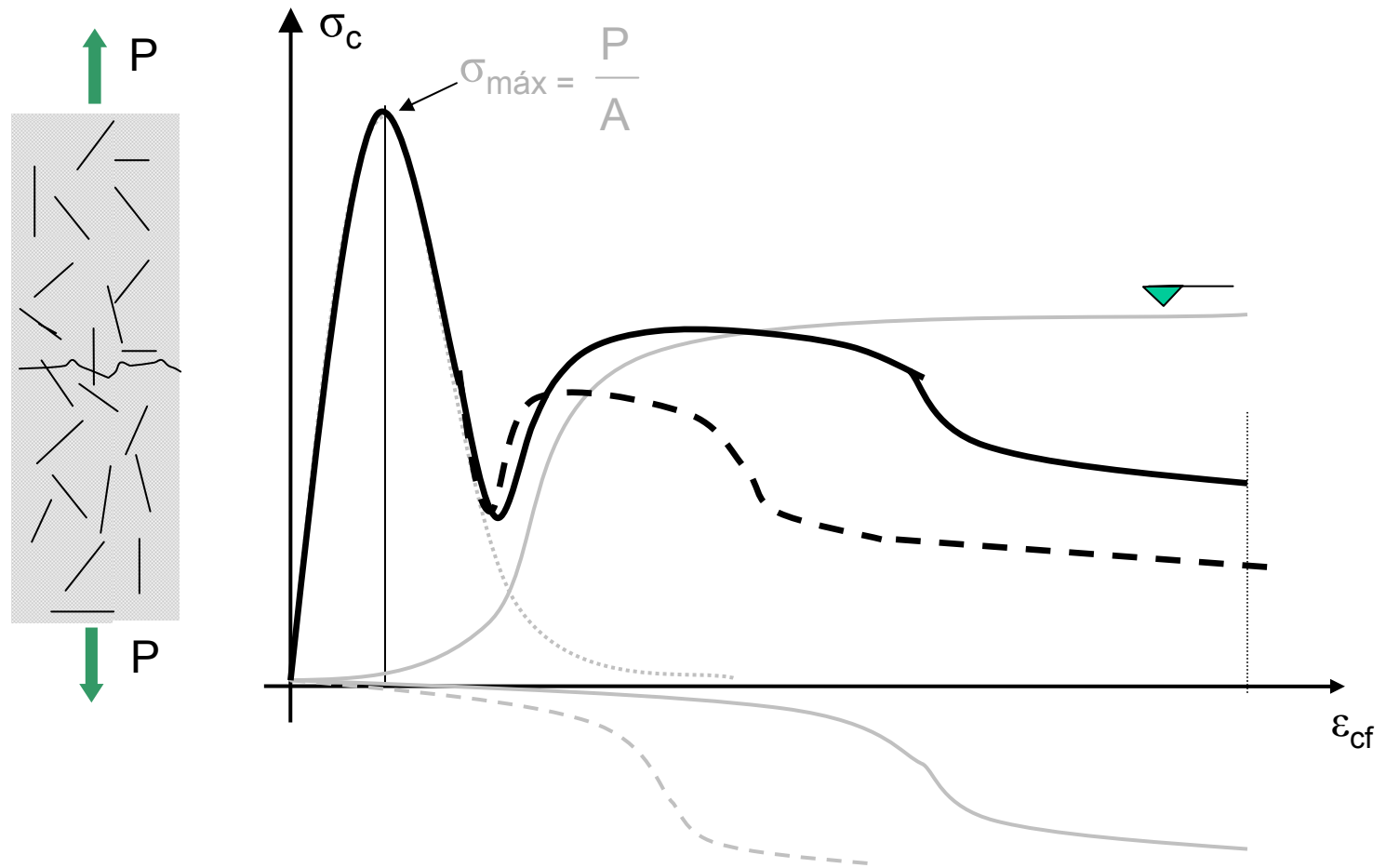


Fase 2: Contribución fibras: Anclaje perfecto



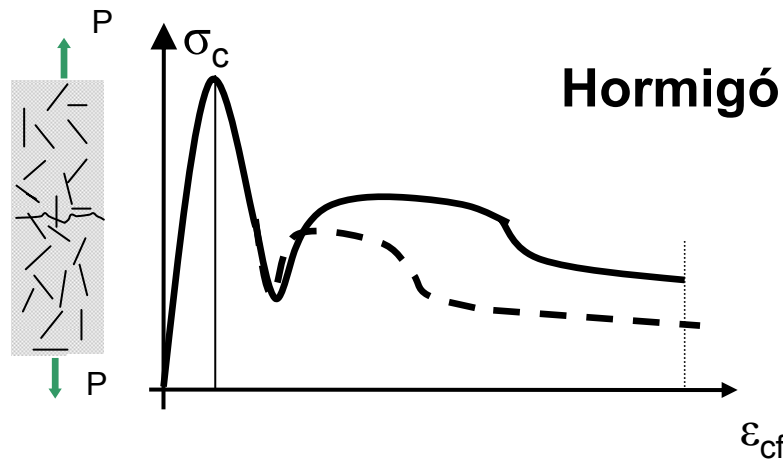
Fase 3: Contribución fibras: Pérdida de anclaje





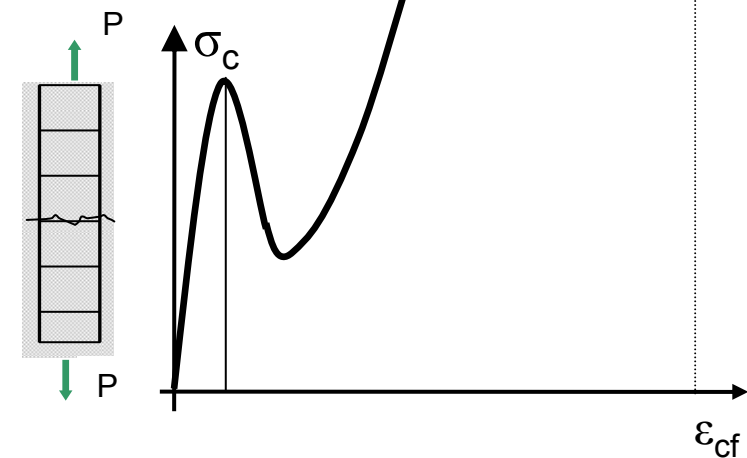
Hormigón con fibras:

Hormigón armado de menor eficiencia



Futuro:

Elementos mixtos de hormigón con armaduras pasivas (activas) y fibras





Ecuación constitutiva (1)

$$\sigma_{cf} = \sigma_c + \sigma_f + \Delta\sigma_{cf}$$

donde:

σ_{cf} es la contribución del hormigón en masa.

σ_f es la contribución de la fibra

$$\sigma_{fibra} = B * \left(1 - e^{-k * B * \left(\frac{\varepsilon}{c}\right)^n}\right)$$

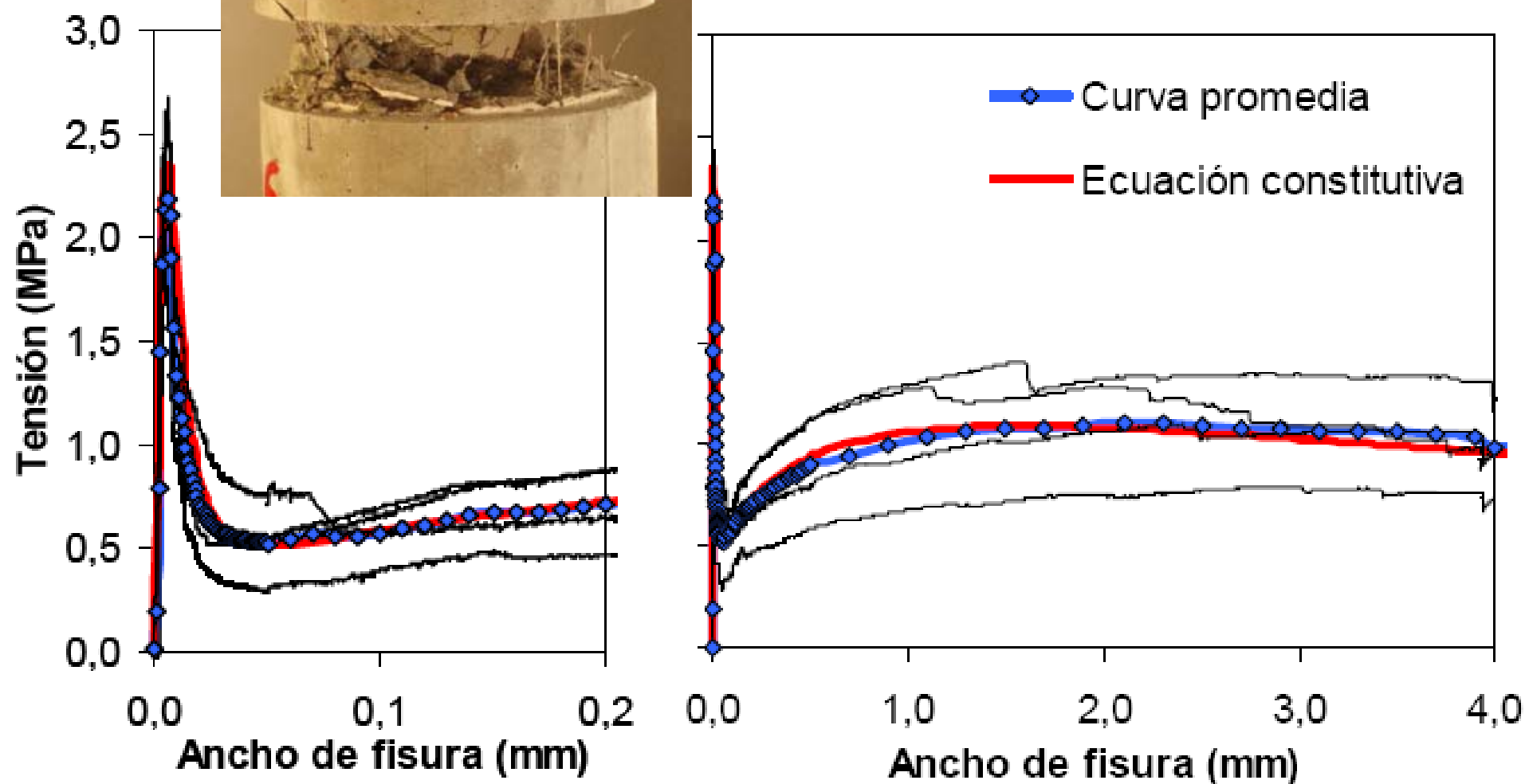
donde: $B = f$ (cuantía de fibra y características)

C , k y n son variables asociadas al punto de inflexión

$\Delta\sigma_{cf}$ es la pérdida de tensión por la rotura del anclaje a partir de una cierta deformación (A).

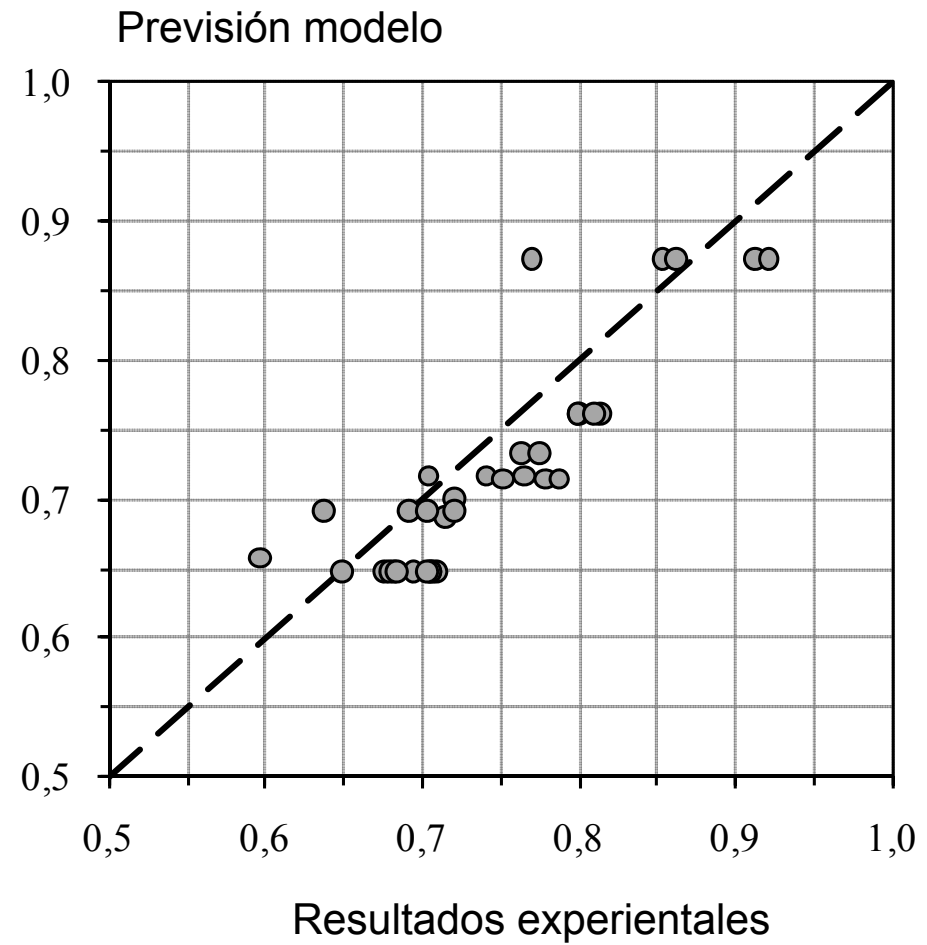


Ver Tesis doctoral Filipe Laranjeira

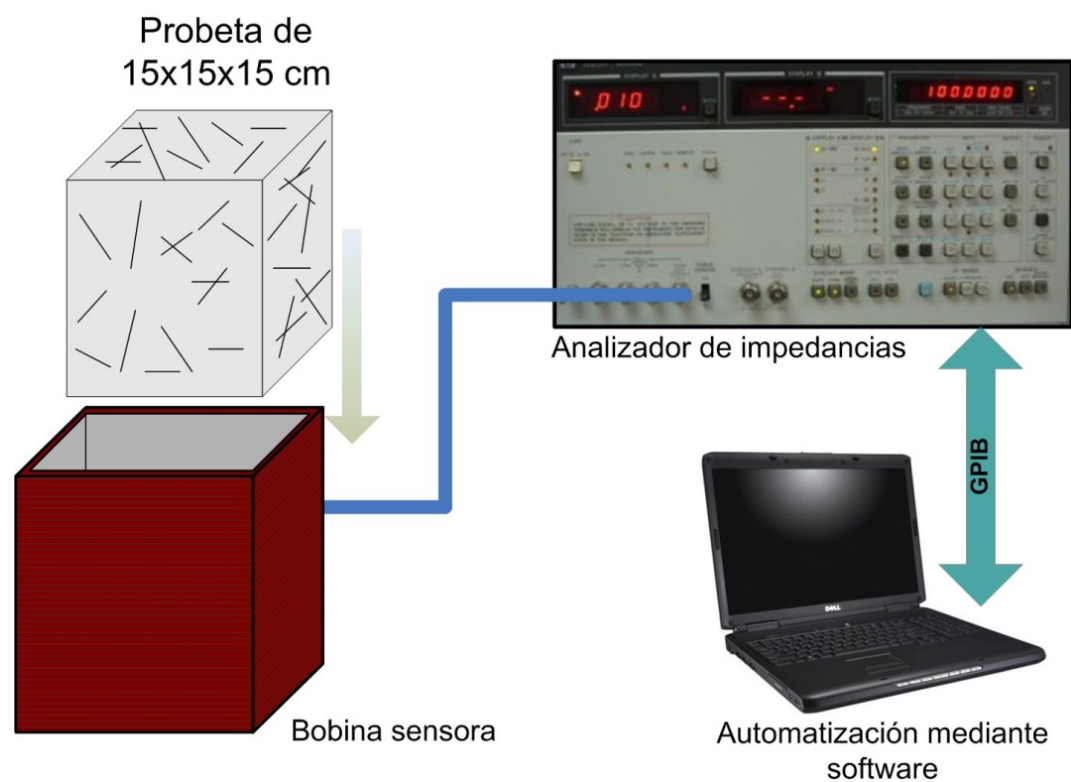
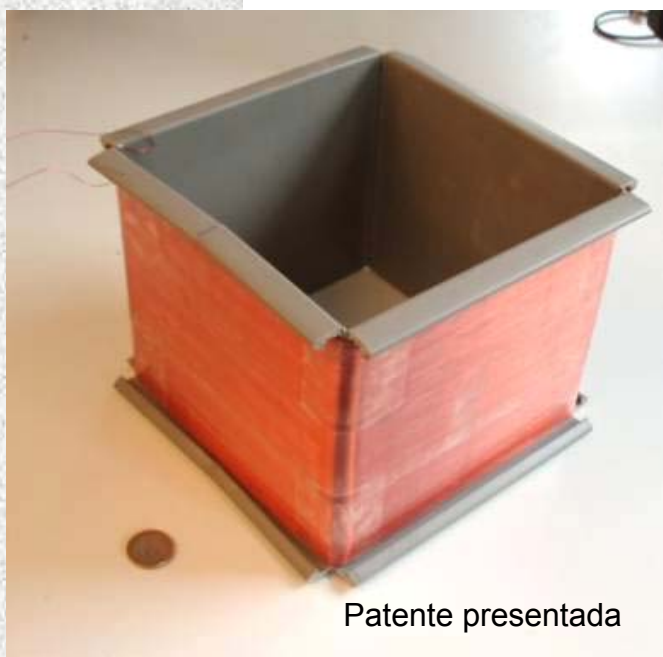


Factores considerados

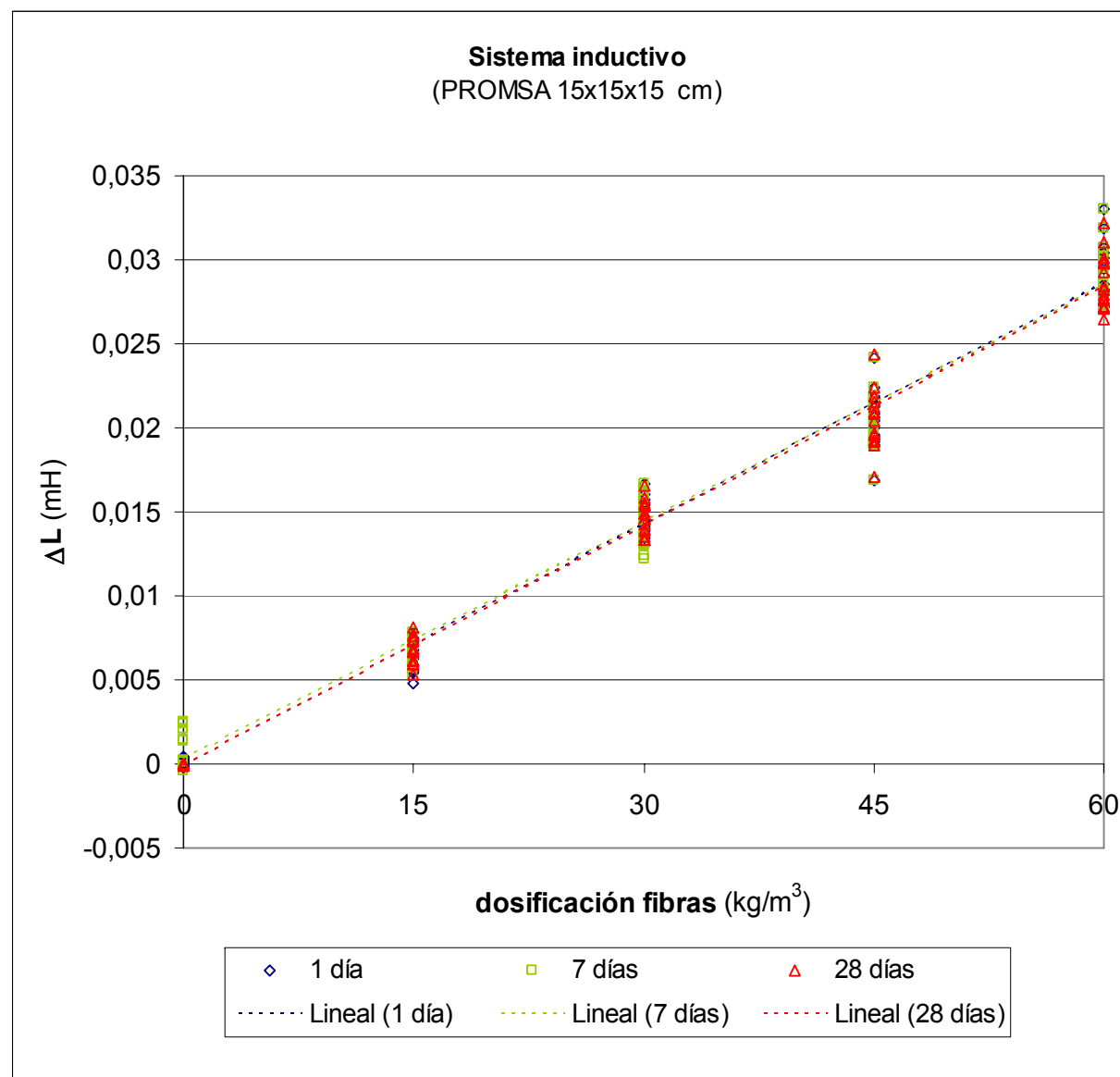
- Amasado (HC o HAC)
- Método de colocación
- Efectos dinámicos
- Geometría encofrado



Sistema medición cantidad de fibras (1)



Sistema medición cantidad de fibras (2)



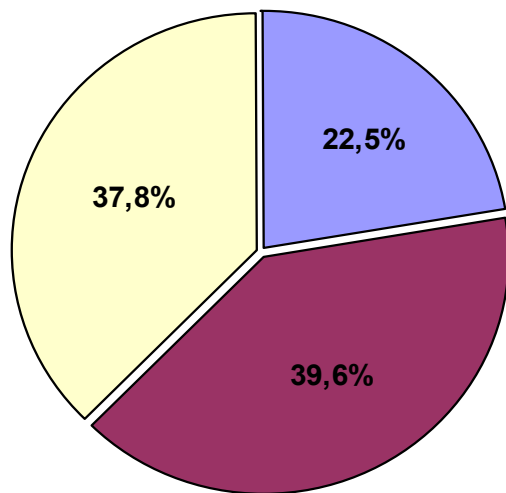


Sistema medición cantidad de fibras (3)

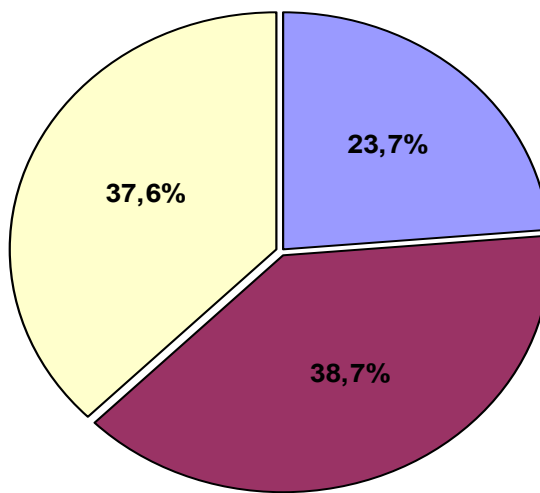
Indirectamente: orientación de la fibra

Importancia del tema

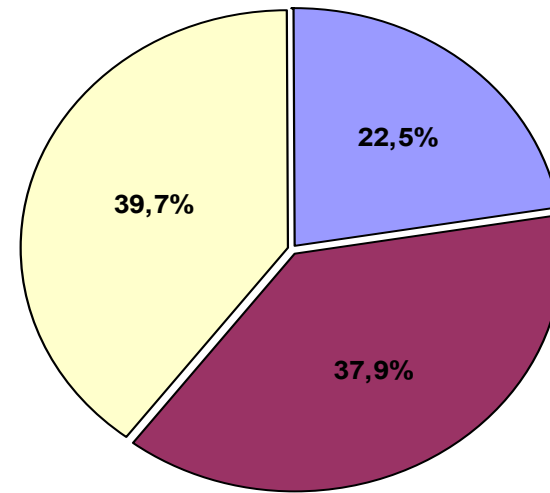
Orientación de las fibras en probeta
20 kg/m³

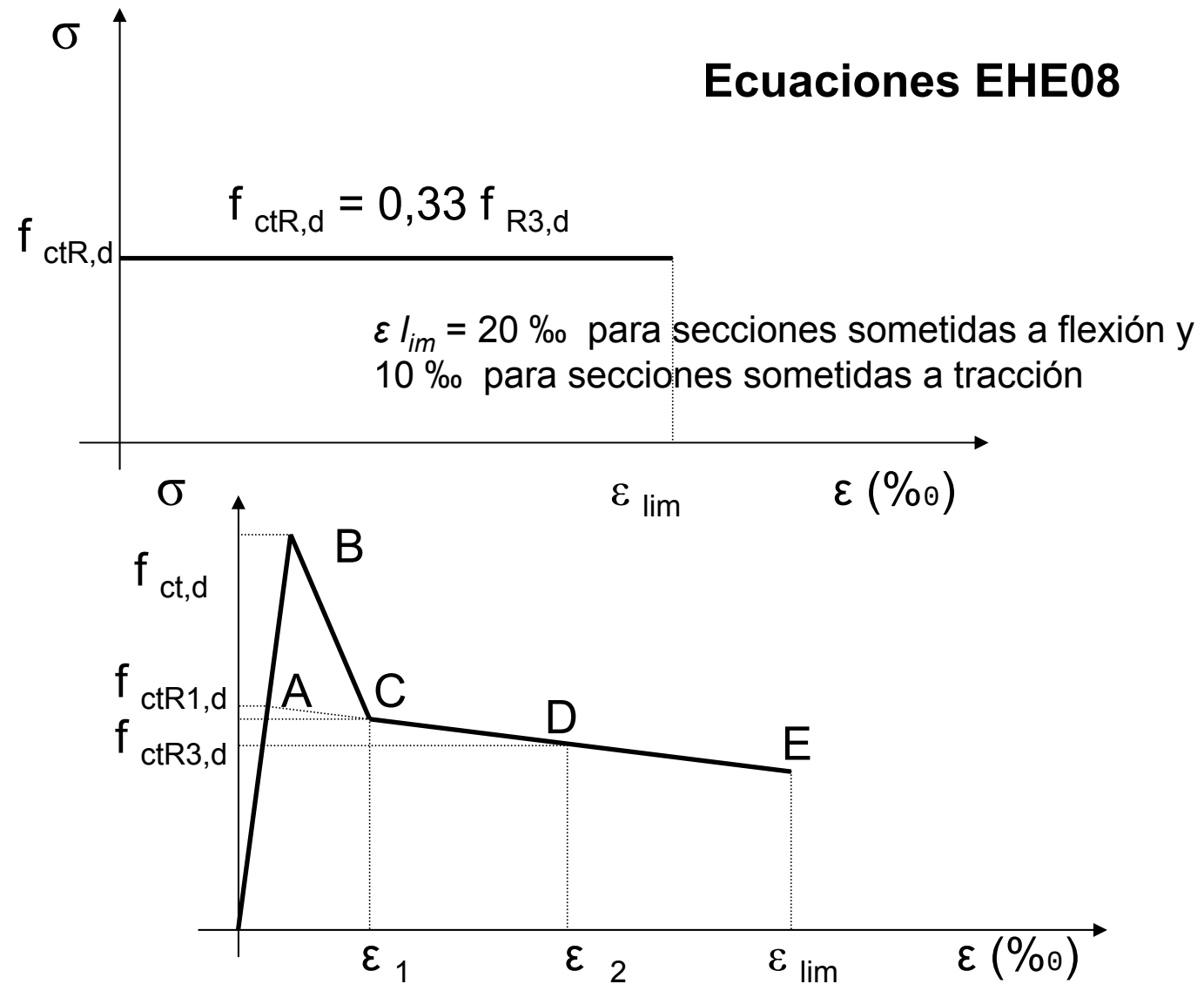


Orientación de las fibras en
probeta 30 kg/m³

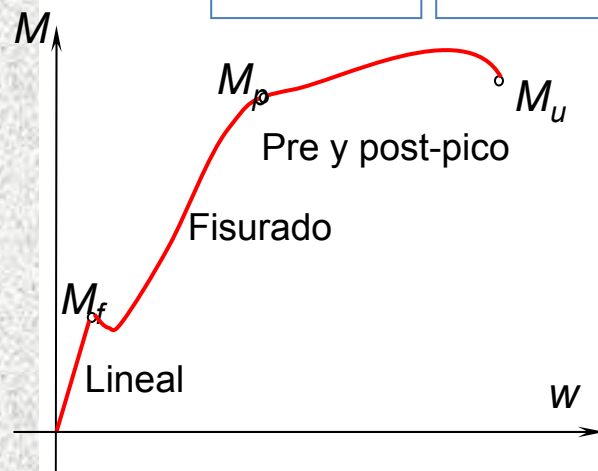
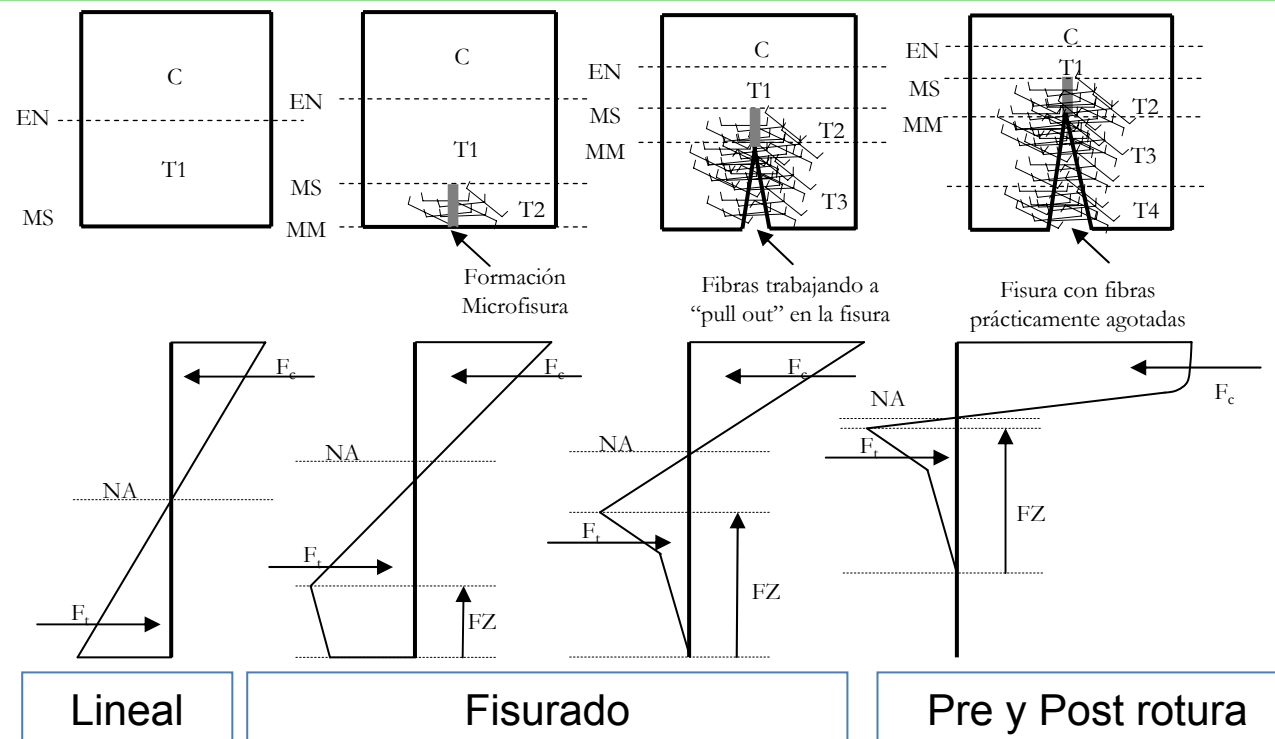


Orientación de las fibras en
probeta 40 kg/m³



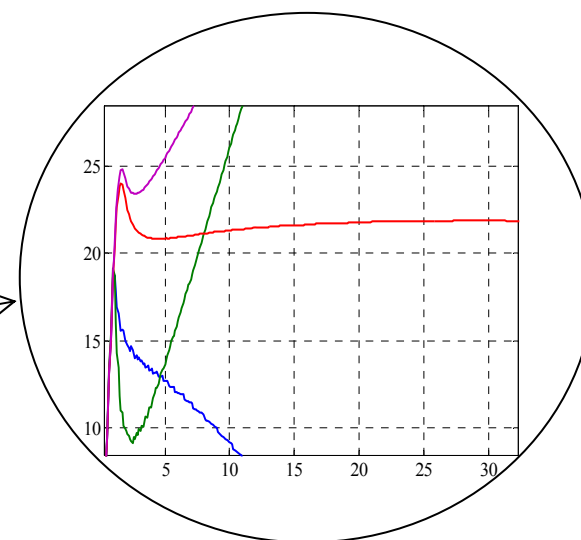
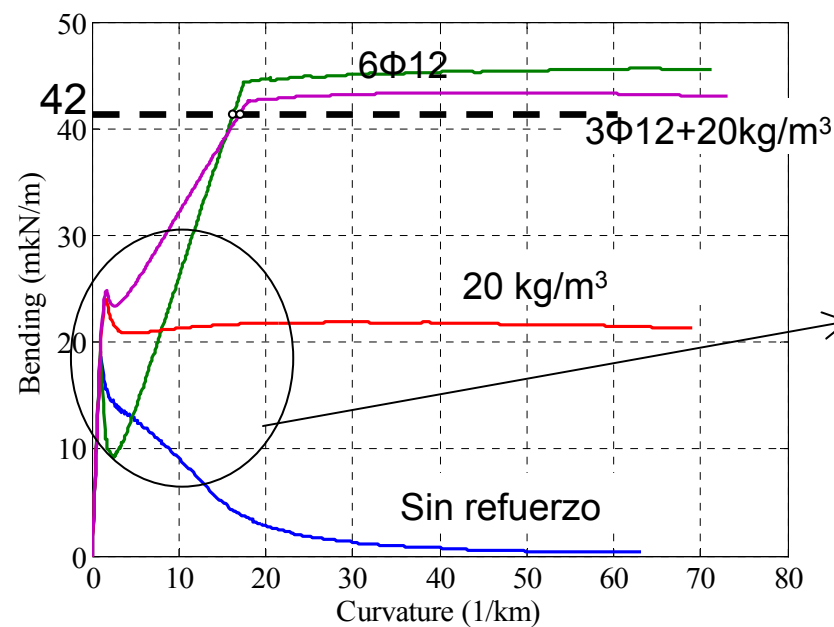
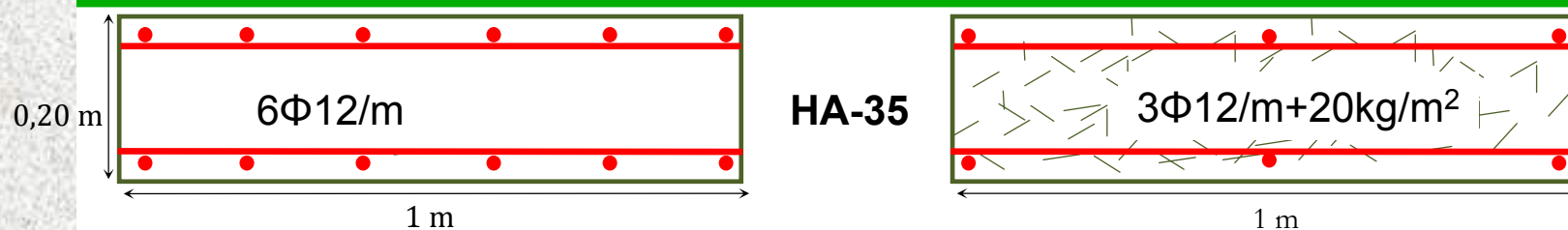


Modelización continua de secciones hasta rotura



- **Modelo general para cualquier tipo de fibras (estructurales)**
- **Reproduce el comportamiento hasta rotura** de secciones con refuerzo mixto fibras + armadura pasiva tradicional





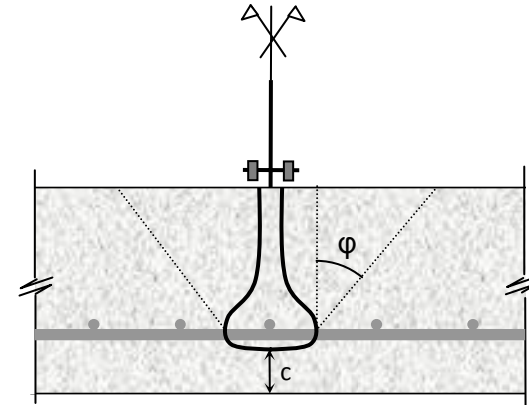
Configuración de Refuerzo	M_f (mkN/m)	M_p (mkN/m)	M_u (mkN/m)
Sin armado	18,4	-	0
6Φ12	18,6	44,7	45,8
20 kg/m³	18,4	22,8	22,6
3Φ12+20 kg/m³	18,5	43,1	43,5



Aplicaciones estructurales

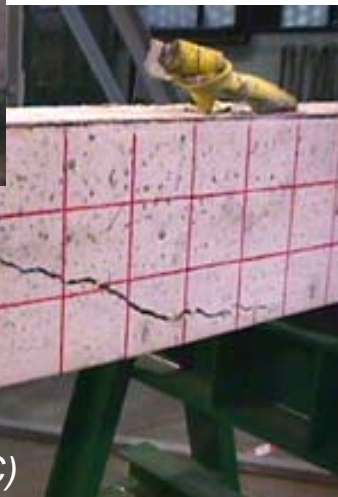
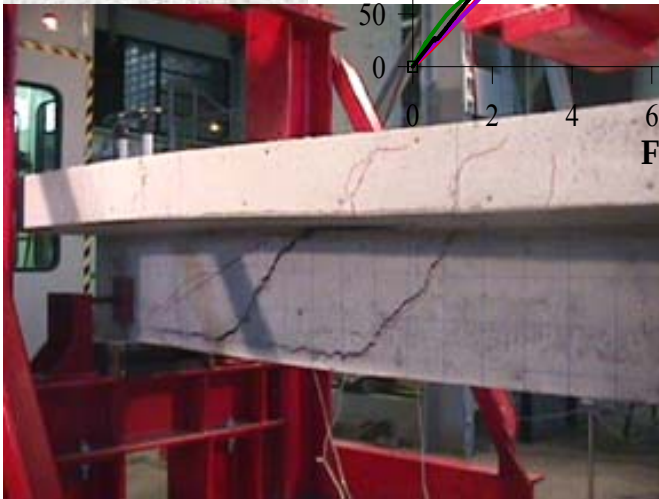
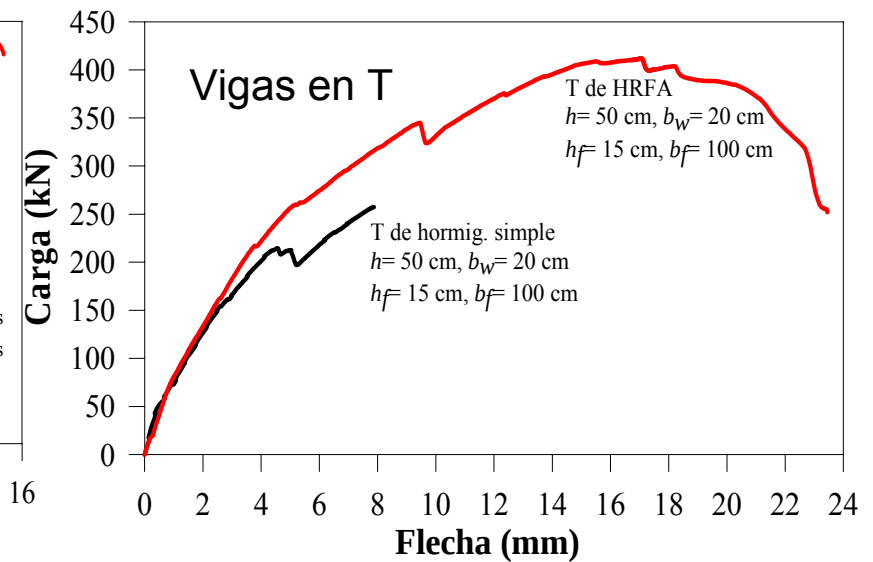
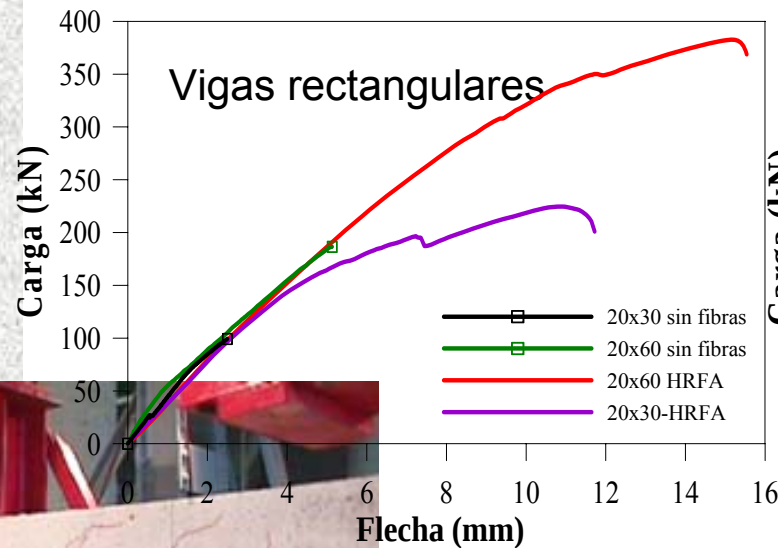


Placas de contención de tierras





Contribución frente a esfuerzos cortantes



Ramos et al (UPC)

$$V_u = V_c + V_w + V_f$$

V_c = contribución del hormigón

V_w = armadura de corte, p.e.: estribos

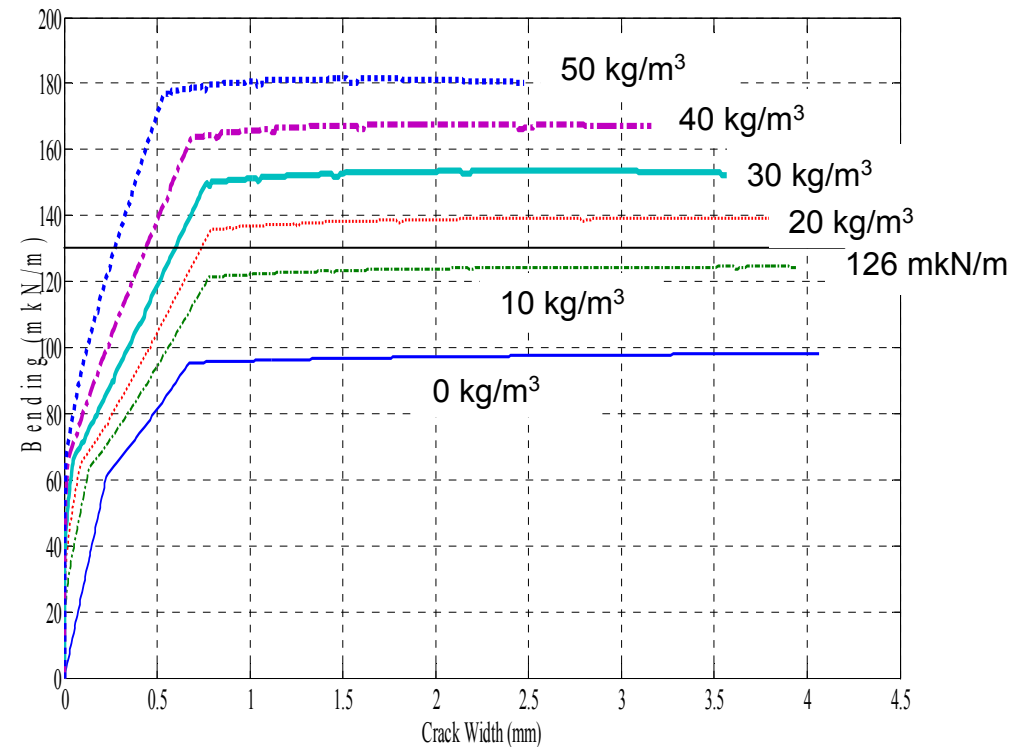
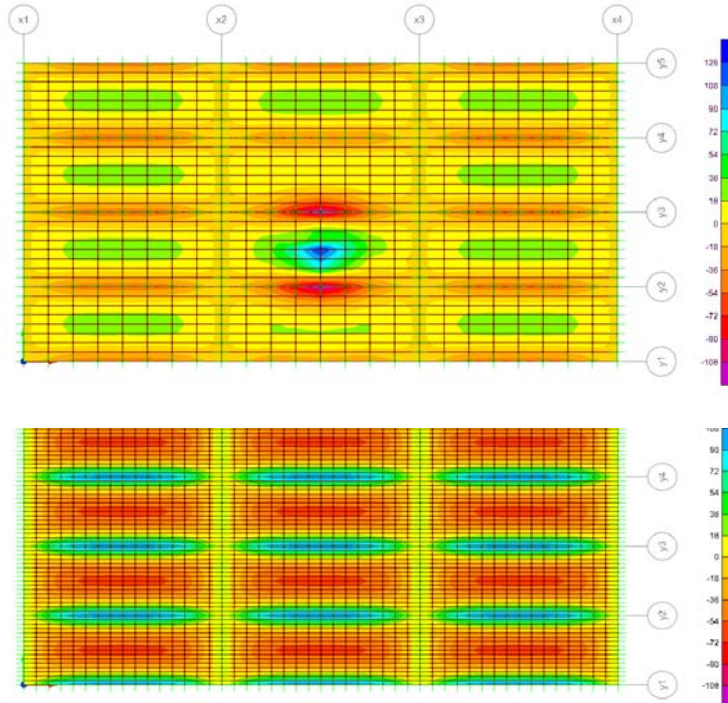
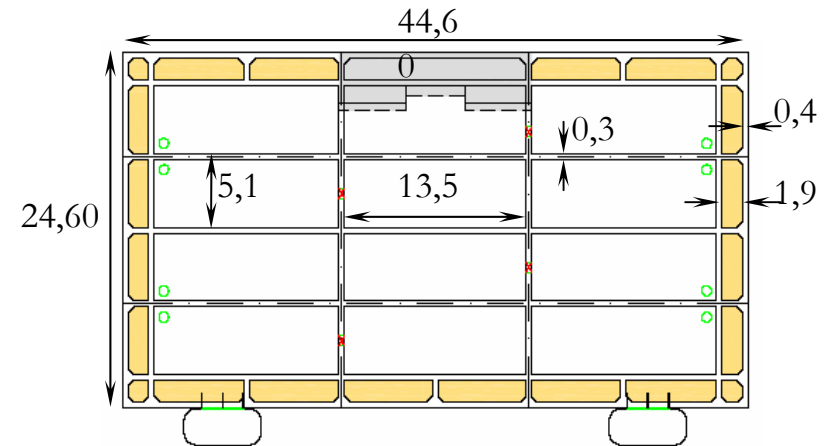
V_f = contribución de las fibras de acero, mejorando el engranamiento de los áridos





Pontonas, cajones flotantes (1)

- ✓ Muros Exteriores 40 cms
- ✓ Losa Superior Compuesta (9 cms Prefabricados y 31cms *in situ*)
- ✓ Losa Inferior *in situ* de 35 cms





Pontonas, cajones flotantes (2)

	Losa Superior	Losa Inferior	Muro Perimetral	Muro Interior
Armadura Tradicional	Φ16/33	Φ16/33	Φ16/33	Φ16/33
Fibras	15	30	15	20
Ahorro Tradicional (%)	25,3	52,2	47,3	40,0
Ahorro Total (%)	5,1	32,3	30,7	20,9

Reducción media del 25% de la armadura

+

Reducción de tiempos de construcción





Tubos de hormigón con fibras (1)

Vibrocompactación ($1.200\text{mm} < \Phi_{\text{int}} < 2.500\text{mm}$)



Acabados excelentes →
espesores de pared

Vibración + Compactación + Mayores



**Excelente
Orientación
de las fibras**



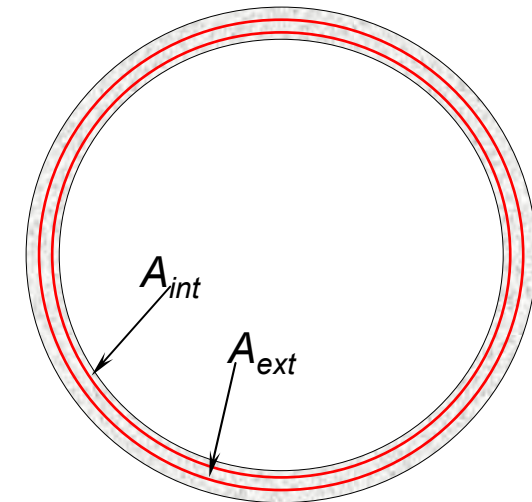
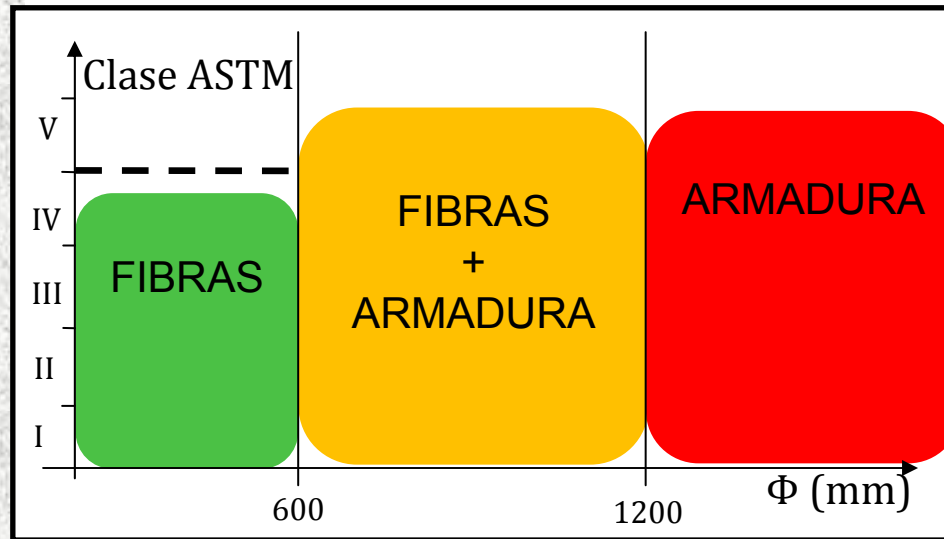
Tubos de hormigón con fibras (2)



Riesgos de manipulación,
con fibras metálicas



Tubos de hormigón con fibras (3)



$\Phi_{int} < 600$ mm: Eliminación barras A_{ext} y A_{int}

$600 < \Phi_{int} < 1.200$: Eliminación A_{ext} + Reducción del 40% - 60% A_{int}

$\Phi_{int} > 1.200$ mm: Reducción de 25% - 40% Armadura total

Cuantías entre: 25 y 40 kg/m³



Forjados de HAC con fibras (1)





Forjados de HAC con fibras (2)



Forjados de HAC con fibras (3)



Ojo:

Empujes sobre el encofrado





Forjados de HAC con fibras (4)



LKS Cooperativa Mondragón

Proyecto piloto

Su propia sede

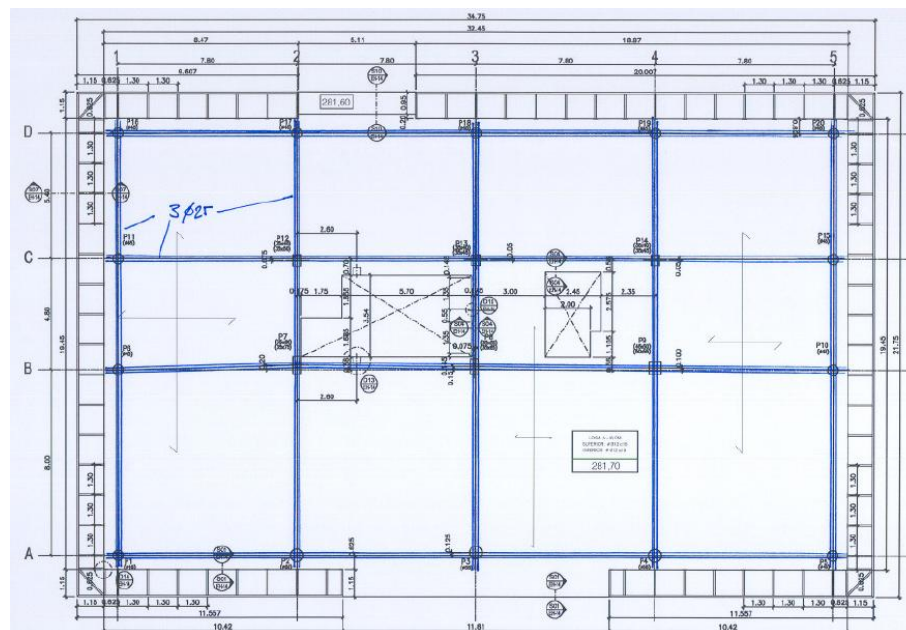


Tesis doctoral Aitor Maturana





Forjados de HAC con fibras (5)

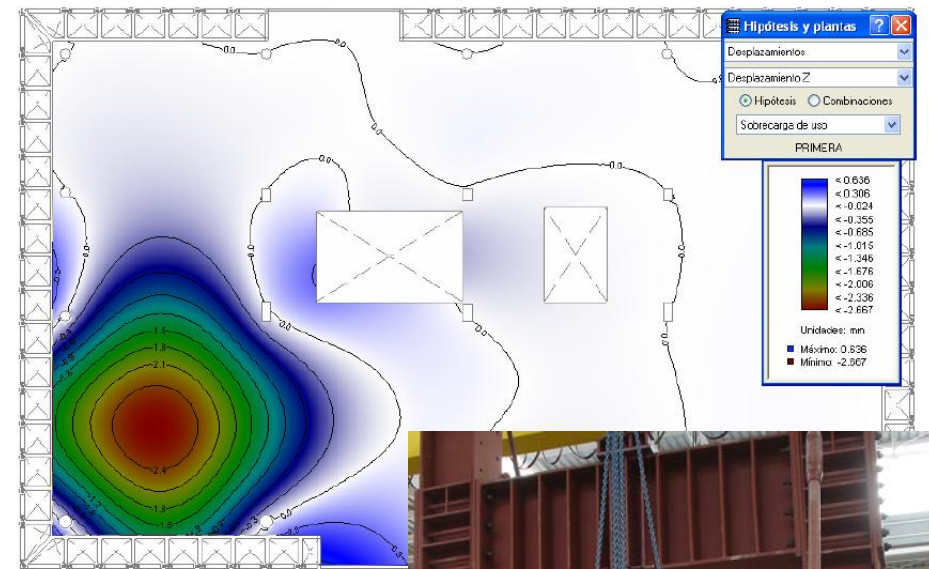




Forjados de HAC con fibras (6)



PLANTA PRIMERA: Deformaciones producidas por la Sobrecarga de 400 kg/m² en el vano objeto de estudio de la Prueba de Carga in situ



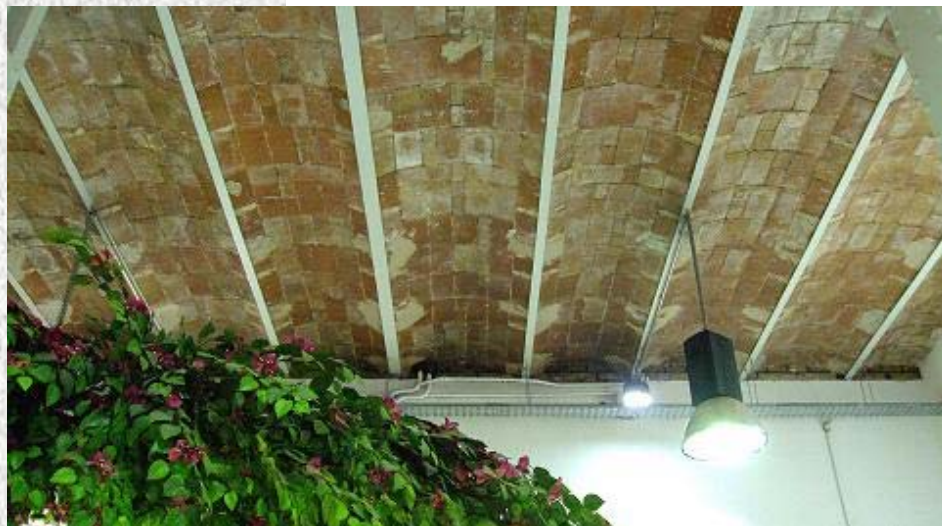
Prueba de carga
Modelo numérico
Ensayos

¿Nueva era?





Otras posibilidades en forjados de HAC con fibras (7)



Tesis Nayara Klein

Rotura pavimentos: Consecuencias seguridad



Fuente fotos: Densiphalt



¿Por qué juntas en pavimentos de hormigón?

Razón de ser

Retracción: $\Delta\epsilon$ y gradiente (importancia primeras edades)

Temperatura: ΔT y gradiente (diferencia interior-exterior)

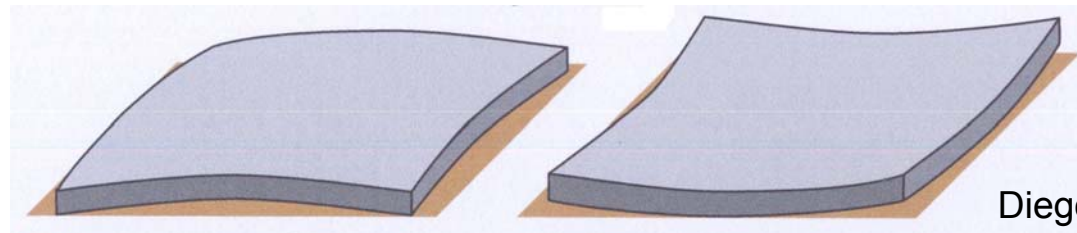
Construcción

Importancia de factores concomitantes:

Cargas de tráfico, uso, etc.

Condiciones de la base de apoyo

Alabeo por temperaturas y por **humedad**



Día
Húmedo

Noche
Seco

Diego H. Calo ICPA



¿Cuáles son los parámetros principales del espesor?

Causas

Cargas tráfico

Cargas puntuales

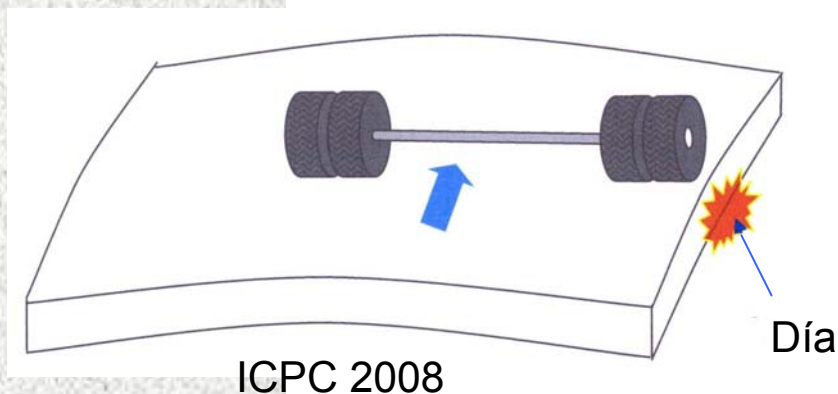
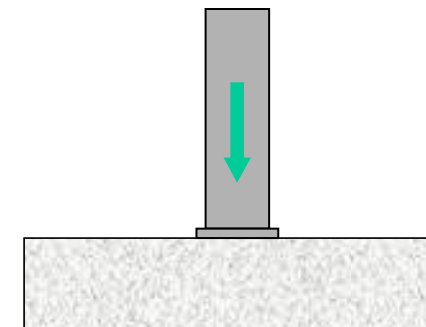
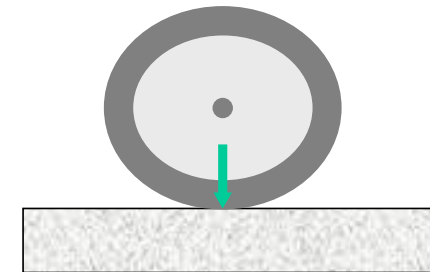
Esfuerzos principales:

Flexiones

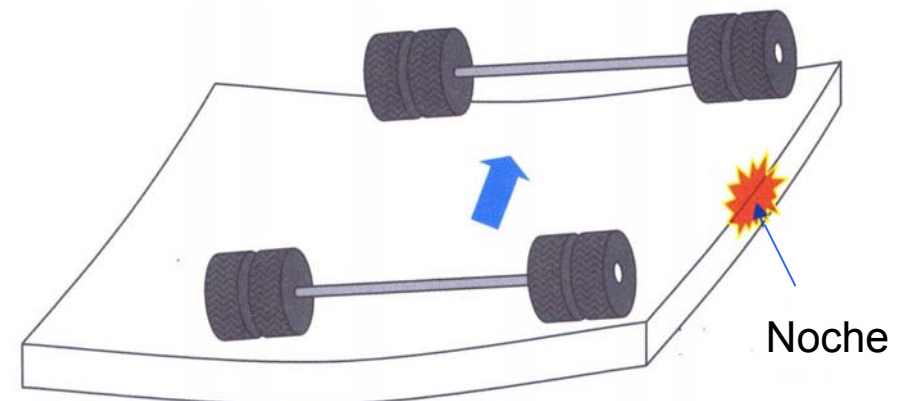
Punzonamiento

Fatiga

Interacción con acciones indirectas



ICPC 2008

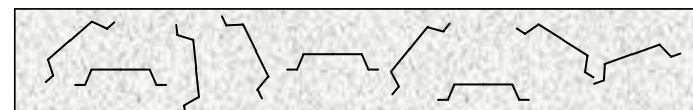
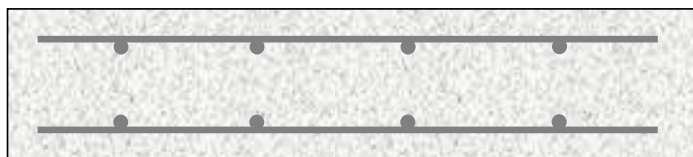


Hormigón armado

vs

Hormigón con fibras

Alternativas
de armado
(1 o 2 capas)



Recubrimiento: ~35 mm

Armadura: Si, por razones mecánicas y
Condiciones termohigrométricas

Construcción: Dificultad capa superior
Riesgos pérdida de posición

Orientación: Muy buena de la armadura

En E.L.U.: Hormigón no contribuye

En E.L.S.: Mayor apertura fisuras

No precisa

No precisa

Si fibras

No precisa

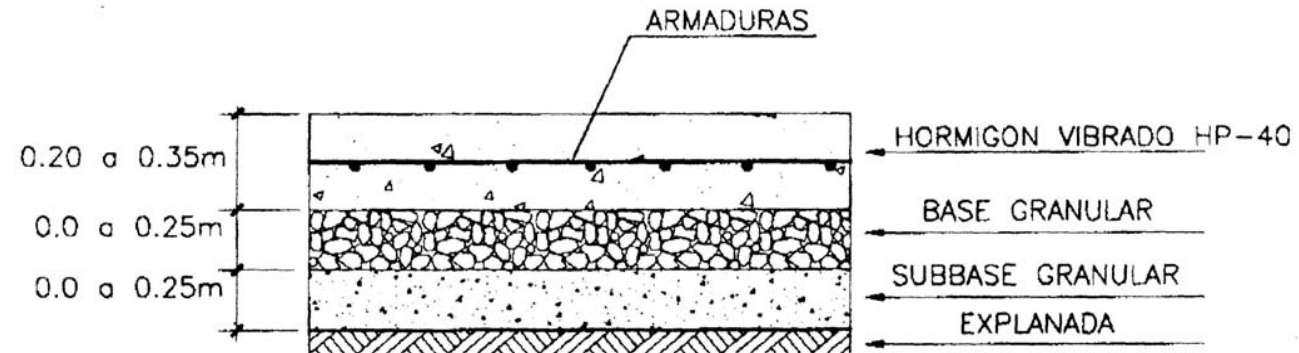
Preferente de la fibra

Fibra si contribuye

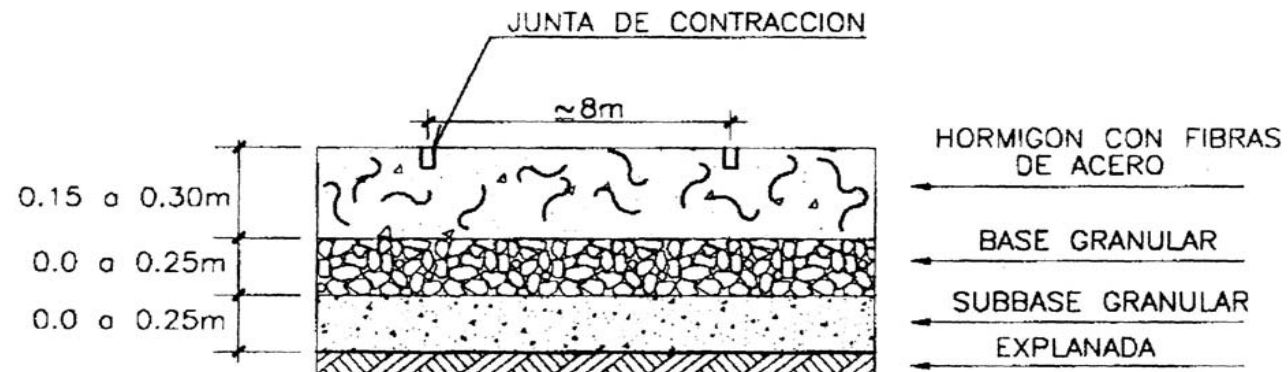
Menor apertura fisuras



Ejemplo: Tipología general secciones ROM 419



PAVIMENTO CONTINUO DE HORMIGON ARMADO



PAVIMENTO DE HORMIGON ARMADO CON FIBRAS DE ACERO



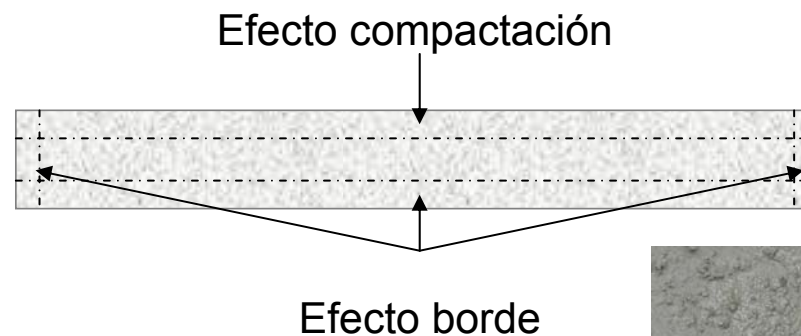
- Métodos numéricos (MEF u otros). Complejo. Sólo en estudios de casos singulares
- Programas empresas de fibras: Cajas negras. Cierta desconfianza
- Códigos nacionales o internacionales: p.ej.: ROM, AASTHO
- Métodos empíricos

Pavimentos:



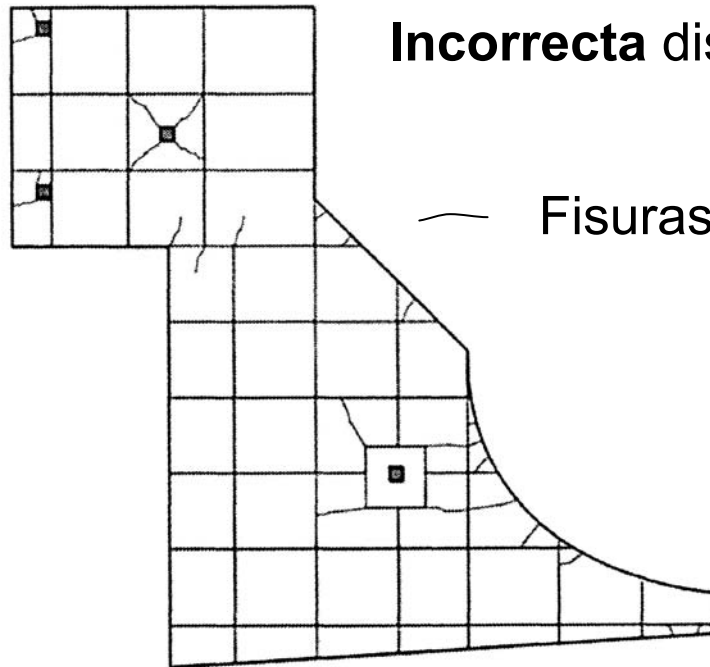
.....El hermano pobre de las estructuras

- Sistemas conocidos. No diferenciación por la fibra
- Cierta orientación de la fibra en plano horizontal (Ventaja añadida)



- Riesgo formación erizos
- Racionalidad en la configuración de juntas. Similar a otros casos. Posibilidad aumentar distancias



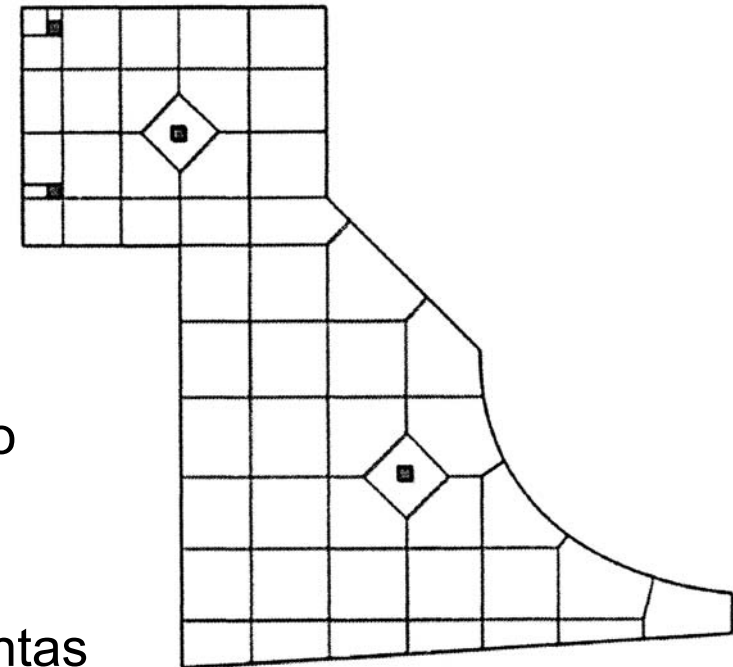


Incorrecta disposición juntas

Fisuras

Largo $\leq 1,5$ a $2 * \text{ancho}$

Correcta disposición juntas



Fuente: Febelcem



- Hormigones en el entorno 20 a 35 MPa a compresión
- Recomendaciones usuales a otras aplicaciones con fibras
- Inclusión de aireantes
- Posibilidad de vertido y/o bombeado
- Las fibras, preferible incorporar en la amasadora, si bien existen experiencias de otro tipo.
- Modos de incorporación: manual, dosificadores
- Ver la **fibra** como un **árido grueso de bajo coeficiente de forma**.
Ojo en dosificaciones de agregación





Hormigones utilizados (2)



No deben pelearse entre fibras
Definir muy bien el fin para el
que se incorporan las mismas

En las estructurales:
Importancia de la tensión
residual



- ✓ Elementos mixtos de hormigón con fibras y armaduras (pasivas) y/o activas **Una oportunidad de futuro**
- ✓ Necesidad de desarrollar:
 - Herramientas de apoyo (entornos empresas o externos)
 - Experiencia en los técnicos participantes
 - Métodos de control
- ✓ Voluntad política y técnica de cambio
- ✓ Incorporar en proyecto





Antonio Aguado
Catedrático Universidad

LKS Aitor Maturana

**Formigó armat amb fibres metàl·liques:
disseny, càlcul i aplicació**



Barcelona 16.02.2010