

# Tecnología del Hormigón

## Clase: HORMIGONES REFORZADOS CON FIBRAS (HRF)

Luis Segura (lsegura@fing.edu.uy)

Junio 2014

Universidad de la República - Uruguay



# Objetivo de la clase

---

## **PRIMER ACERCAMIENTO A LOS HORMIGONES REFORZADOS CON FIBRAS.**

**Conocer los principales aspectos básicos  
conceptuales y las aplicaciones principales.**



# Contenido

---

## PRIMERA PARTE

- Bases conceptuales del HRF
- Tipos y características de las fibras
- Aplicaciones principales

## SEGUNDA PARTE

- Fabricación y características geométricas
- Dosificación y producción
- Aspectos básicos del cálculo
- Resistencia al fuego



(Bonus tracks)

---

# **BASES CONCEPTUALES DEL HRF**





# Uso histórico: fibras en conglomerantes



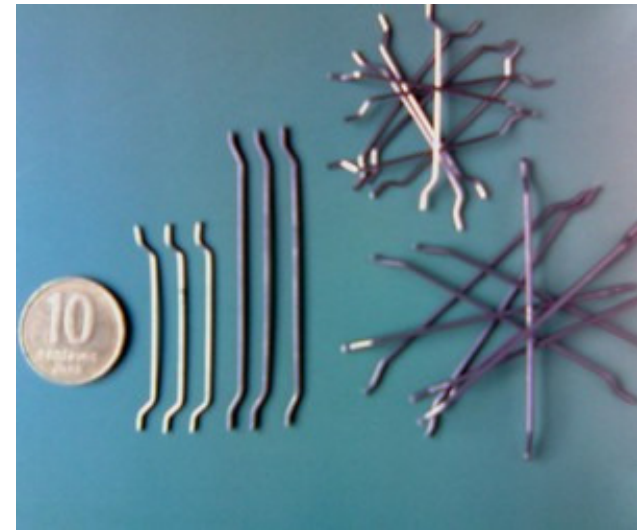
Idea con más de 4000 años.  
Usada por Sumerios, Egipcios...



# Fibras en Hormigón

---

- Primeros estudios:
  - Romualdi, Batson y Mandel. A comienzos de los 60's
- Definición (EHE-08)
  - “Las fibras son elementos de corta longitud y pequeña sección que se incorporan a la masa del hormigón a fin de conferirle ciertas propiedades específicas.”



# Fibras en Hormigón

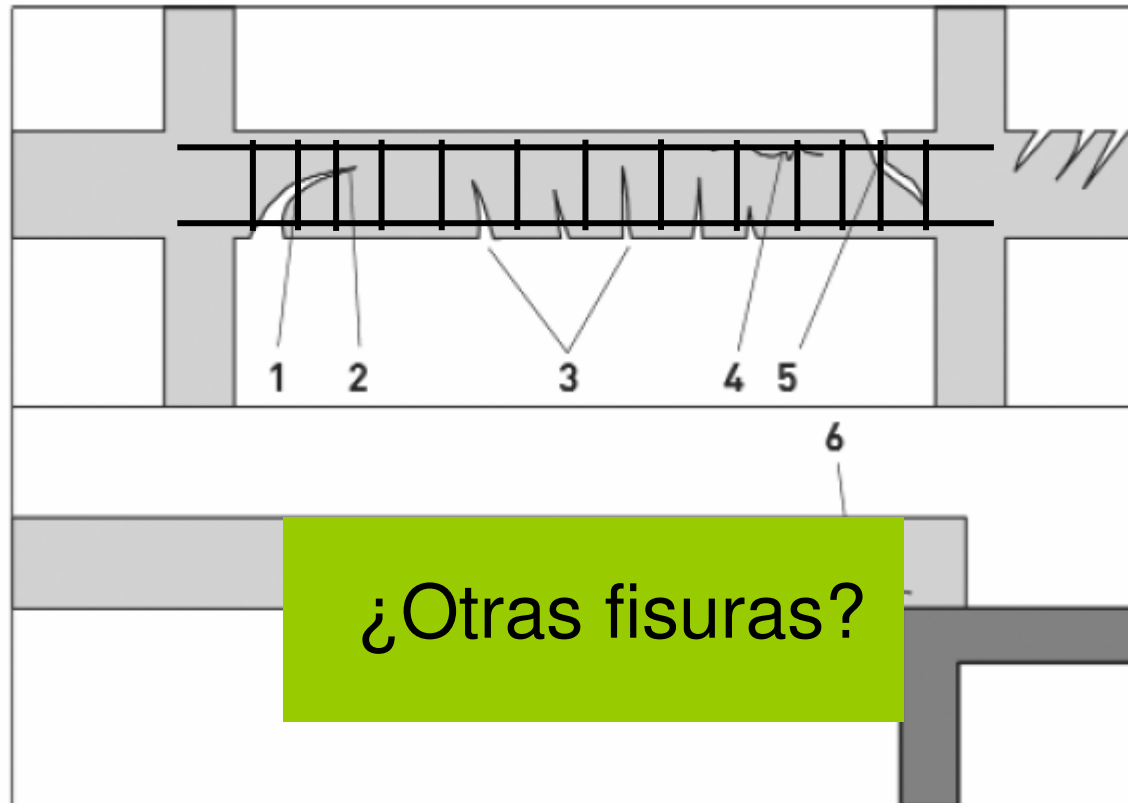
---

- ¿Porqué fibras en el hormigón?
  - ¿Cuál es un gran problemas del hormigón?
  - ¿Qué consecuencias genera?





# Fisuras por esfuerzos mecánicos

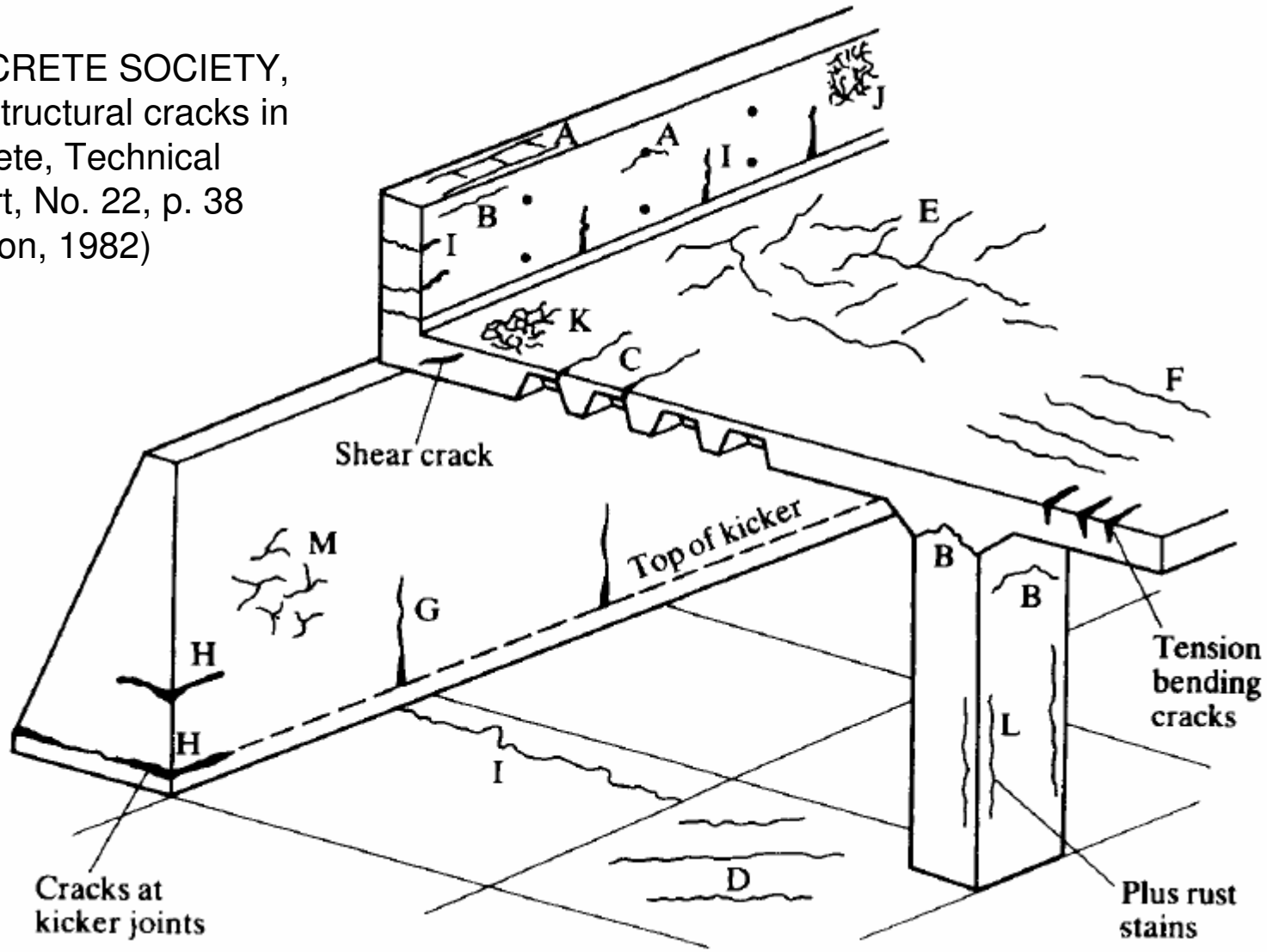


1. Fisura de cortante
2. Fisura de anclaje
3. Fisura de flexión (positivos)
4. Fisura de deslizamiento de anclaje
5. Fisuras de flexión (negativos)
6. Fisuras de adherencia



# Fisuras no estructurales

CONCRETE SOCIETY,  
Non-structural cracks in  
concrete, Technical  
Report, No. 22, p. 38  
(London, 1982)



# Comportamiento a tracción del hormigón

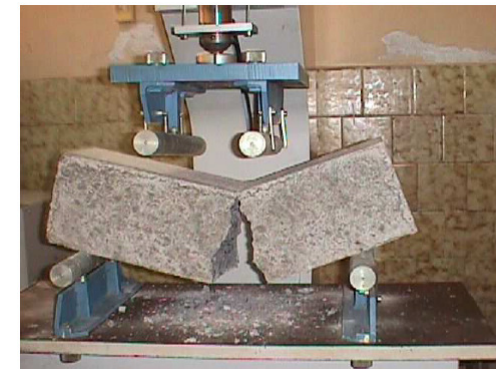
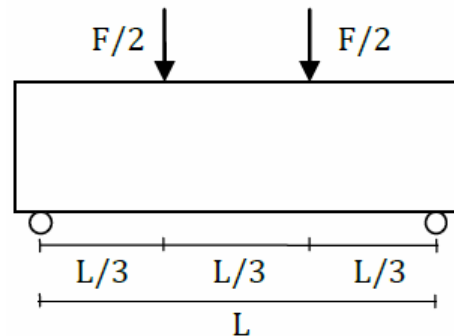
- **Hormigón simple (en masa)**

- **A tracción:**

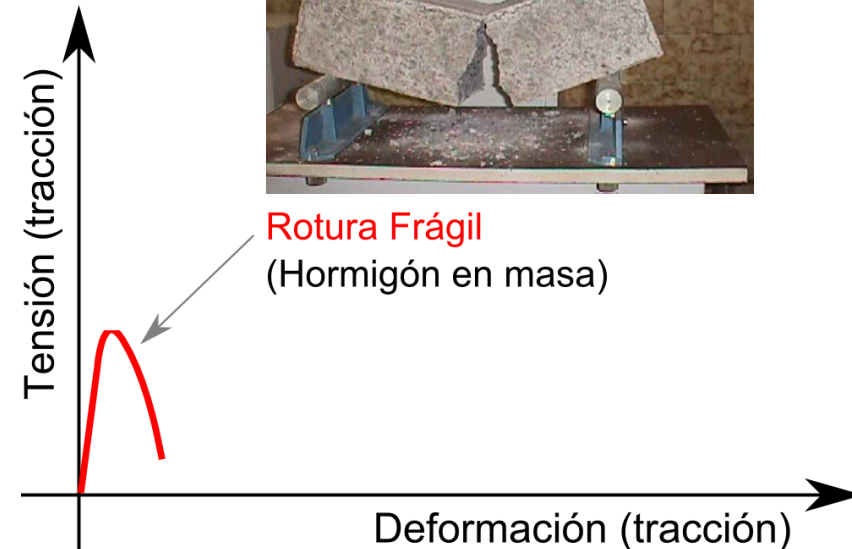
- Baja resistencia
- Baja capacidad de deformación

- **Material frágil**

- Ej. Ensayo a flexotracción



Rotura Frágil  
(Hormigón en masa)

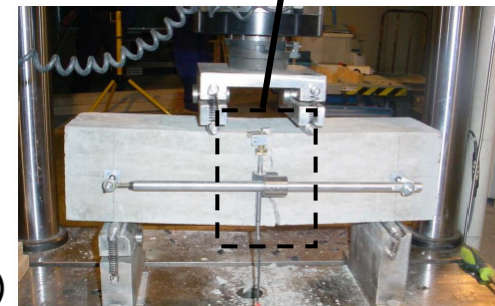
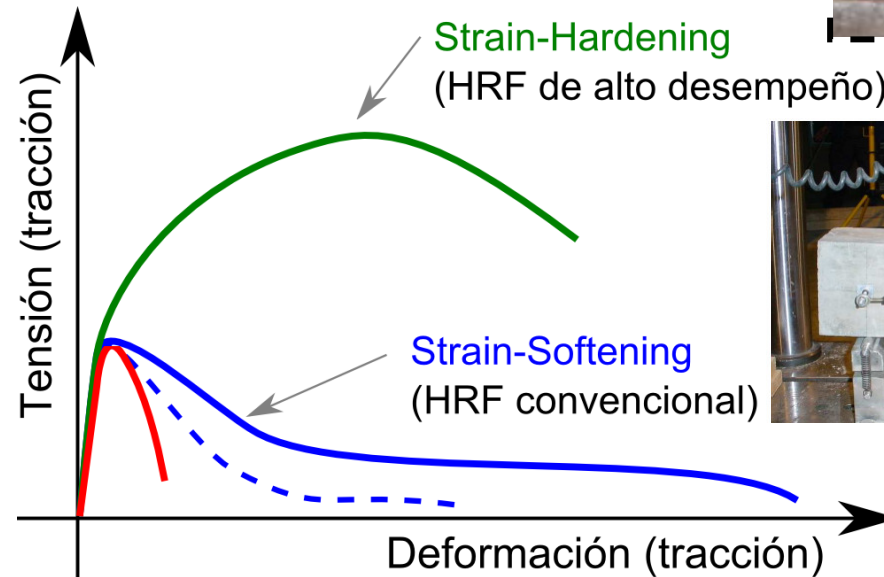
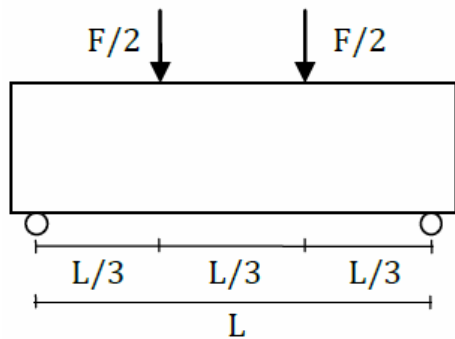
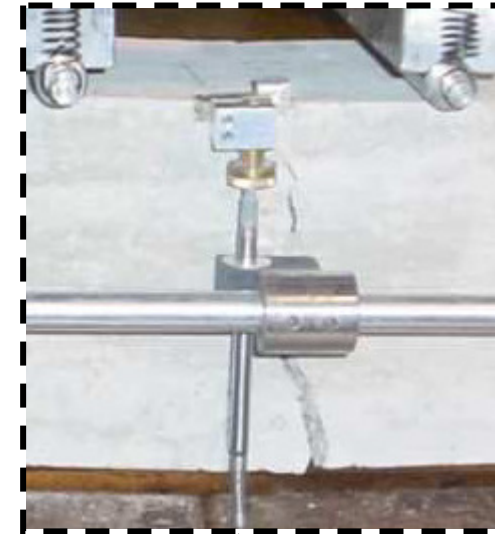


- **Generalmente necesita refuerzo**



# Comportamiento a tracción del HRF

- Hormigón con fibras
  - **A compresión**
    - Comportamiento muy similar
  - **A tracción:**
    - Baja resistencia
    - Pero se vuelve un material dúctil

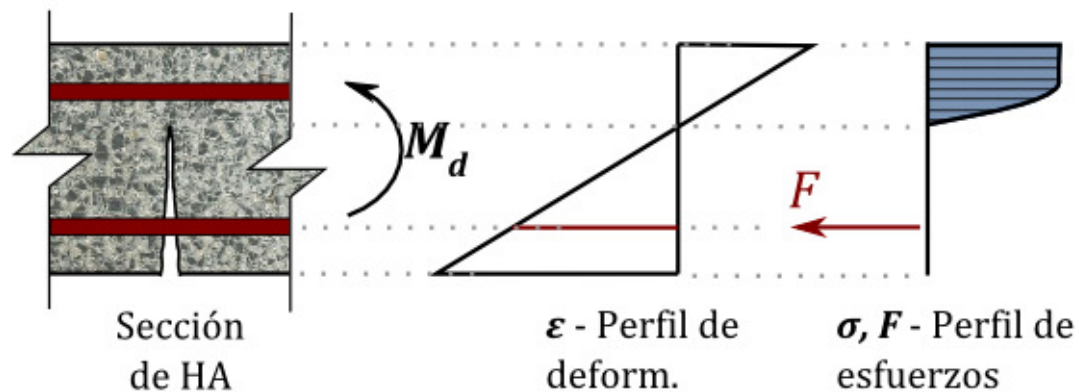


# Tipos de refuerzos

- Armado con barras

- Colocado en lugares específicos

- Adecuados para resistir tensiones de tracción cuando sabemos dónde se producen



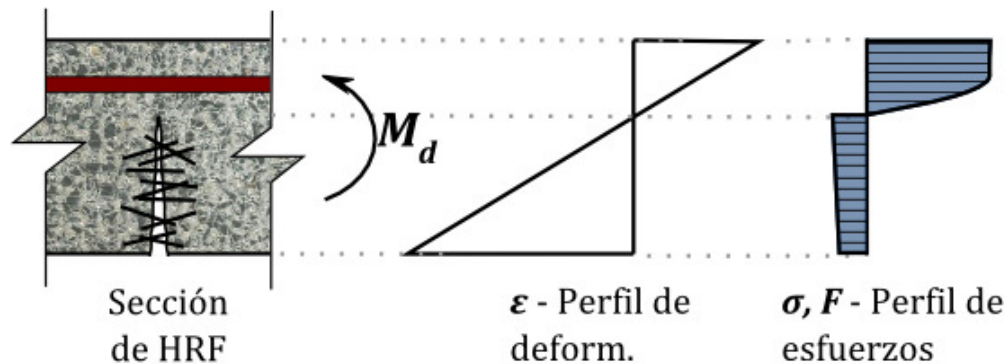


# Tipos de refuerzos

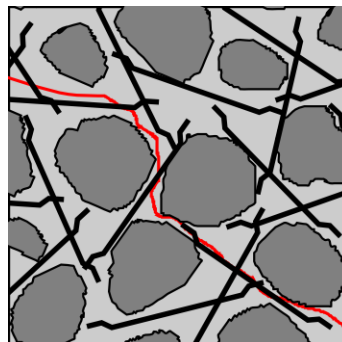
- Fibras

- Discontinuas y aleatoriamente distribuidas

- Menos eficientes ante tensiones de tracción



- Más eficientes para controlar fisuración



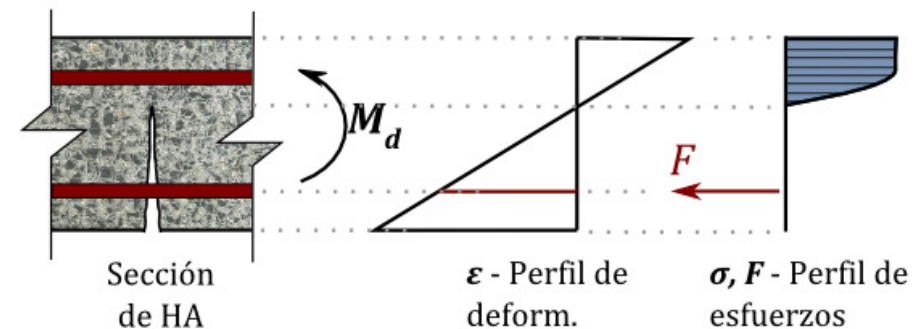
Cualquier fisura quedará “cosida” por las fibras que la atraviesan



# Tipos de refuerzos

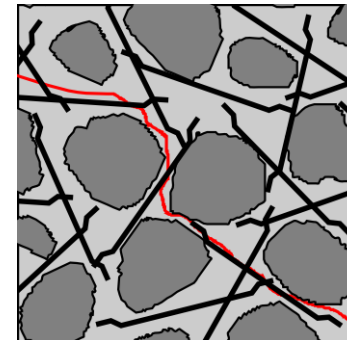
- Armado con barras

AUMENTA CAPACIDAD DE CARGA  
(control de fisuración)



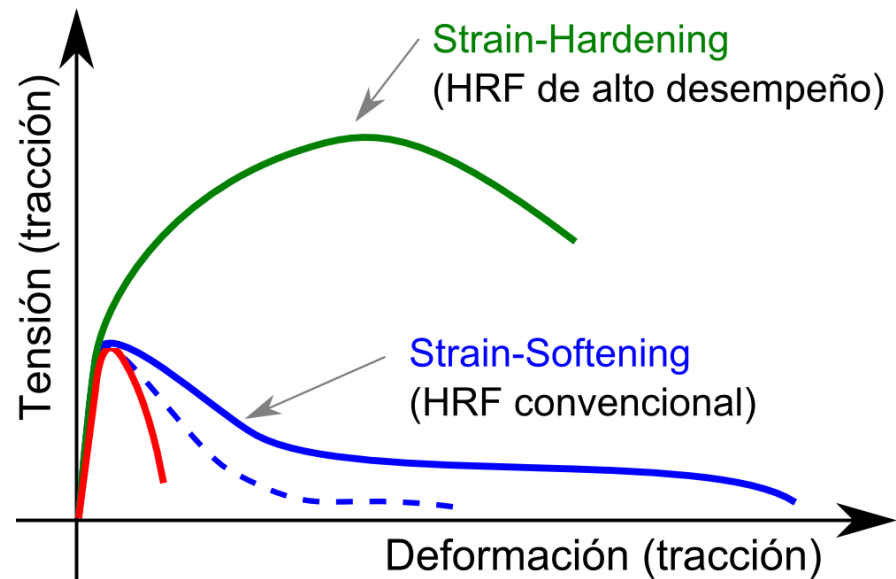
- Fibras

MEJORA FISURACIÓN.  
(Aumenta capacidad de carga)



# Mejoras que aportan las fibras

- Mayor tenacidad (Mayor disipación de energía)
  - Mejoras frente a:
    - Cargas de Impacto
    - Cargas cíclicas
- Mejor control de fisuras
  - En primeras edades
  - En estado endurecido
- Contribución estructural
- Mecanismos secundarios
  - Resistencia pasiva al fuego



Las distintas mejoras dependen, en gran medida, del tipo de fibra utilizado

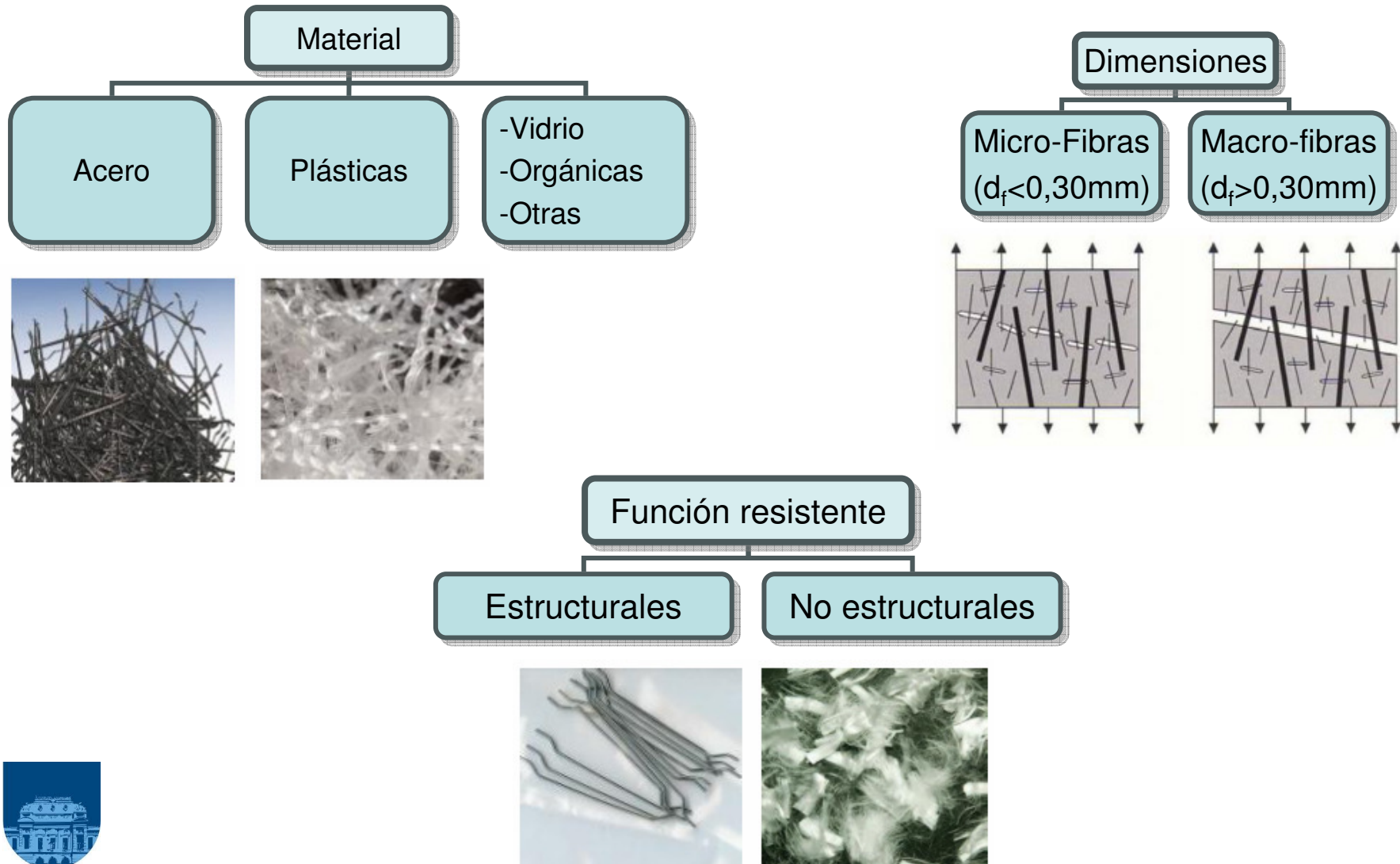


---

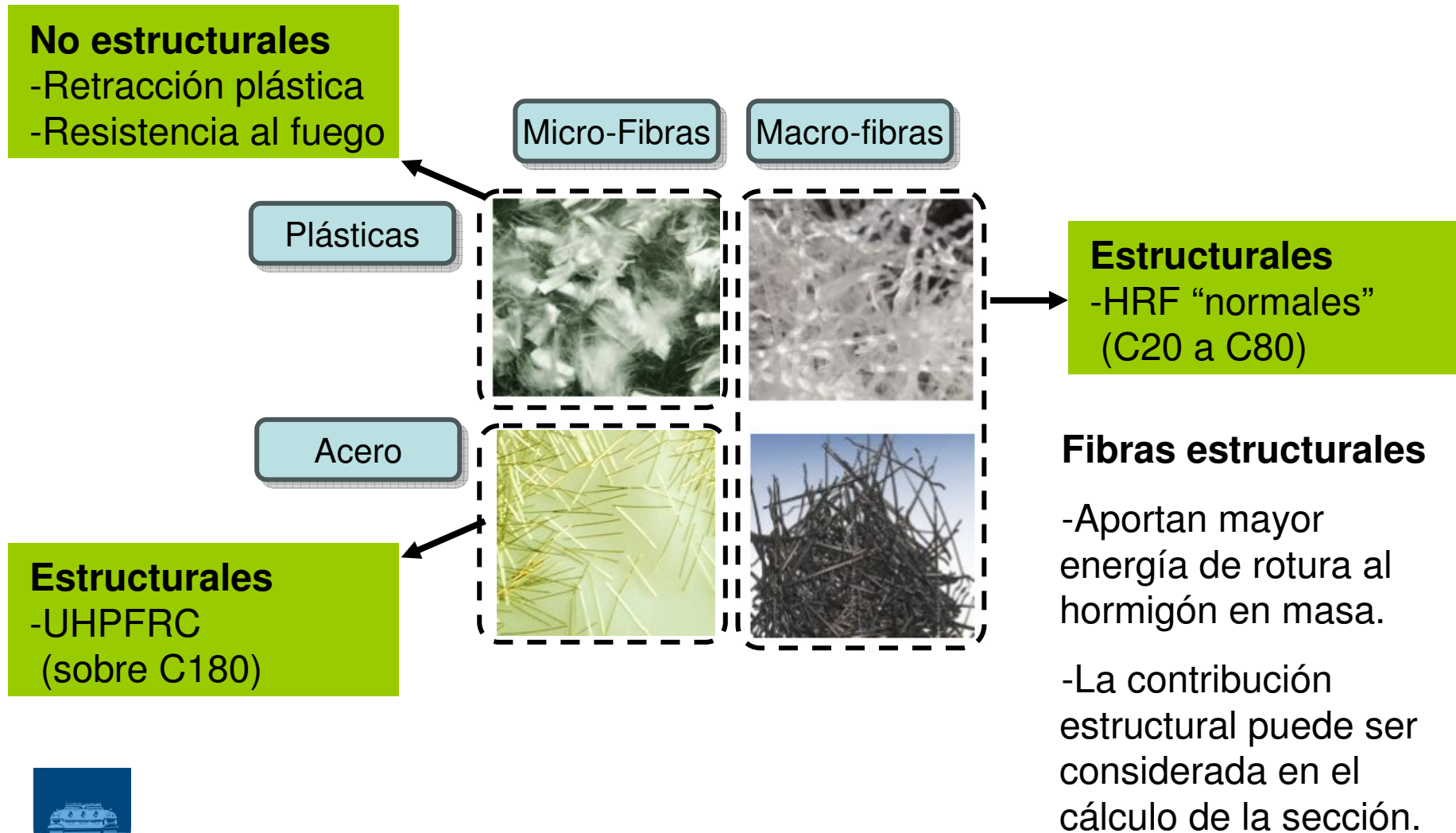
# TIPOS Y CARACTERÍSTICAS DE LAS FIBRAS



# Distintas clasificaciones



# Funciones según clasificación



---

# APLICACIONES PRINCIPALES

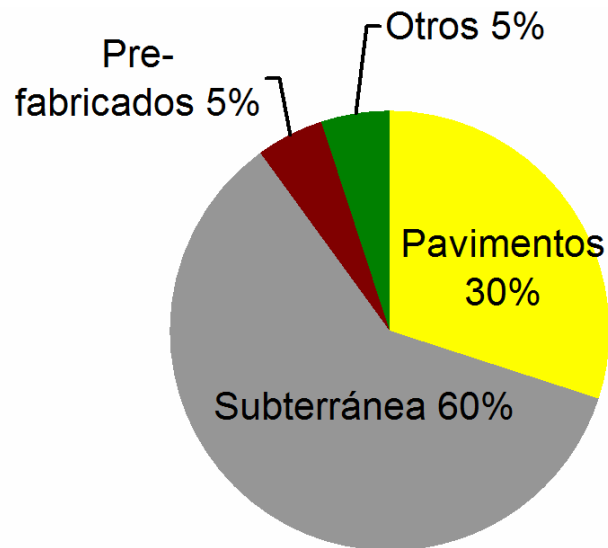


# Aplicaciones principales

- Gran variedad de aplicaciones
- Dependen, en gran medida, del tipo de fibra

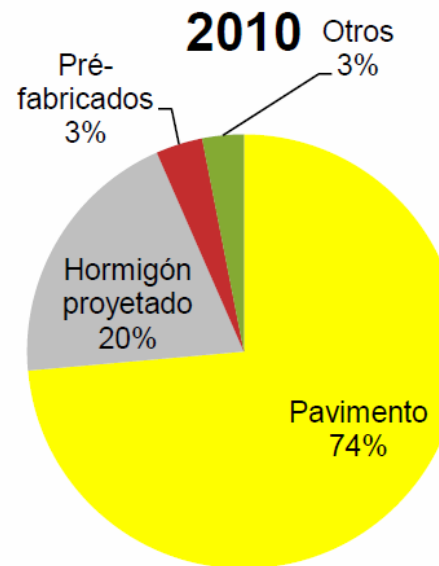
## España

Total

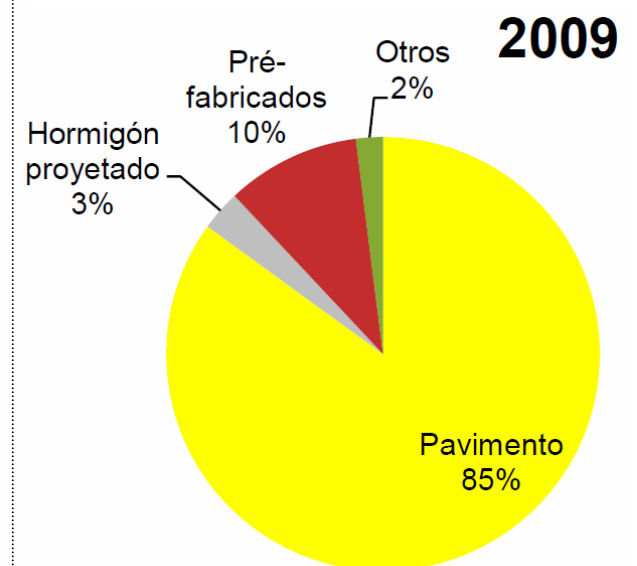


## Brasil

Metálicas



Poliméricas





# Aplicaciones principales

- Fibras de acero
  - Pavimentos
  - Hormigón proyectado (túneles)
  - Premoldeados



# Aplicaciones principales

- Fibras polipropileno
  - Túneles
    - Resistencia pasiva al fuego
  - Soleras y pavimentos
    - Control de fisuración por retracción



# Pavimentos de HRF

---

- Para los distintos tipos de pavimentos:

- Losas sin armadura
- Armadura de retracción
- Armado para flexión  
Armado pretensado

Nivel de esfuerzos  
comparable al del HRF

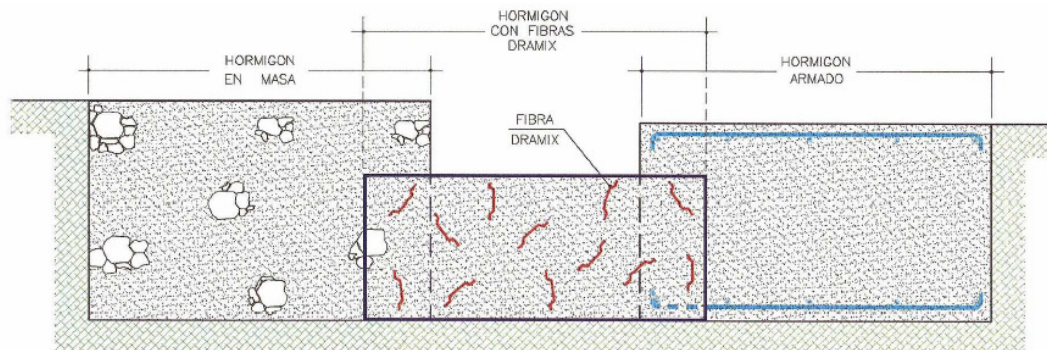
Armado mixto:  
Barras + HRF



# Pavimentos de HRF

---

- HRF: “homogéneo” en todo su volumen
  - Ofrece una resistencia continua en todas las direcciones para las acciones que puedan verificarse
- El HRF colabora en:
  - Resistencia a fisuración por retracción y temperatura
  - Resistencia a Flexión
- Permite reducir espesores



# Pavimentos de HRF

---

- Ejemplo: losas con armadura para el control de retracción
  - La malla se puede sustituir por una cuantía similar de fibras.
  - Aumenta el precio del material
  - Simplifica procedimientos constructivos
    - Dificultad de ubicar la malla en el tercio superior
  - Beneficios adicionales
    - Mejor comportamiento a fatiga
      - Resistencias 30% a 90% mayores
    - Mejor comportamiento ante impactos



# Pavimentos de HRF

---

- Incorporación de Micro-fibras
  - Principalmente:
    - Control de retracción plástica
      - Muy importante en pavimentos
      - Grandes superficies expuestas al secado
  - En forma secundaria
    - Mejora ante cargas cíclicas
    - Reducción de la retracción





# Premoldeados

- Ejemplos:
  - De folleto DRAMIX



# Premoldeados

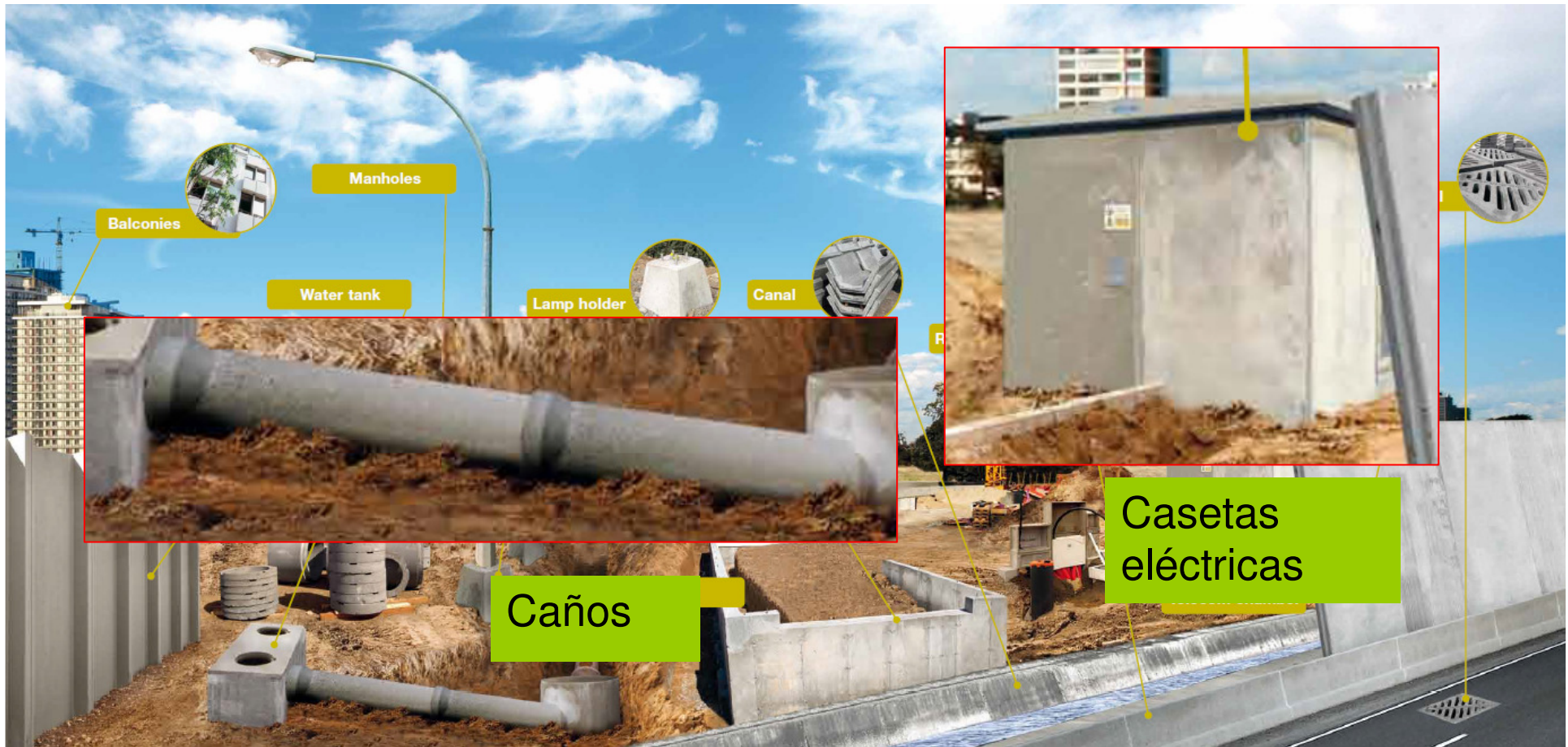
- Ejemplos:
  - De folleto DRAMIX





# Premoldeados

- Ejemplos:
  - De folleto DRAMIX



# Premoldeados

---

- Ejemplos:
  - Nichos



# Premoldeados

---

- Elementos de baja responsabilidad estructural
  - Armado para control de fisuración
  - Flexiones pequeñas
- Las fibras sustituyen la armadura de piel
  - Se alcanza la sustitución total de la armadura
- Se simplifica el proceso de producción
  - Reduciendo trabajo y costos
  - Aumenta velocidad de producción



---

# FABRICACIÓN Y CARACT. GEOMÉTRICAS

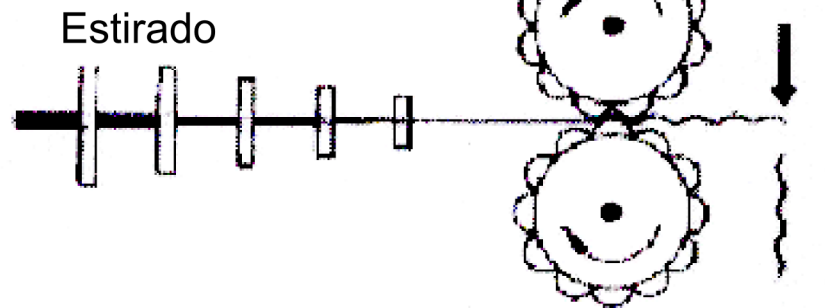
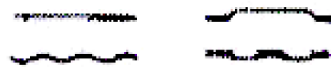


# Fabricación

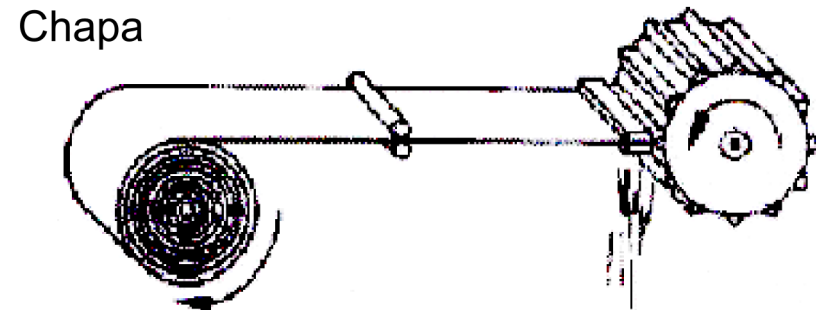
- Fibras de acero

## Alambre trefilado (extruido)

Posibles formas



## Corte de chapas laminadas



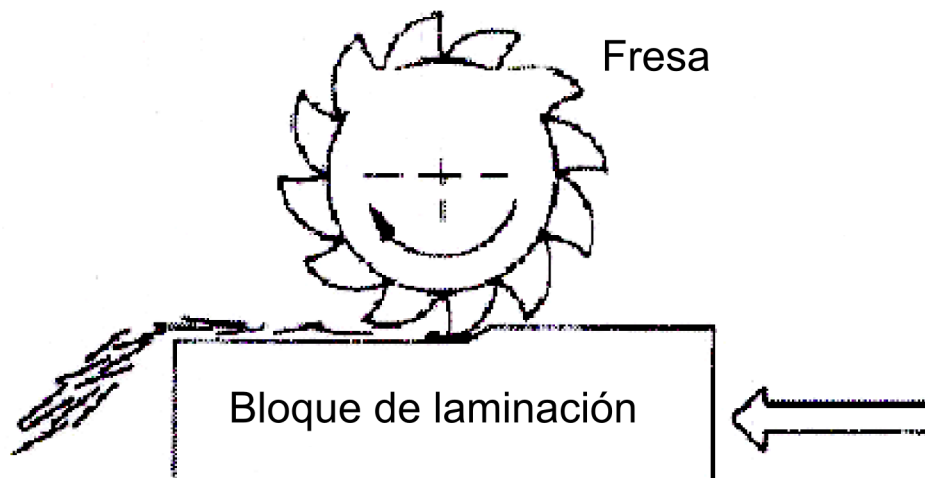




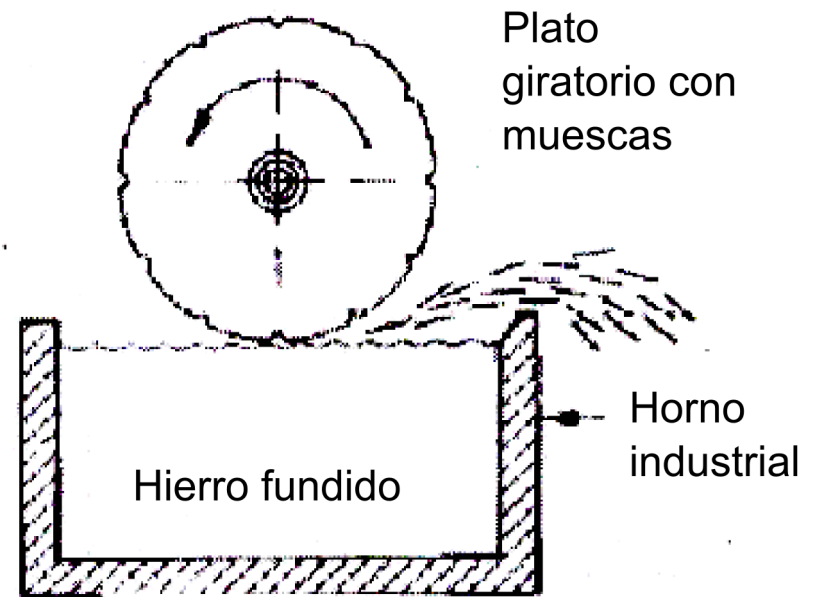
# Fabricación

- Fibras de acero

## Acero Fresado

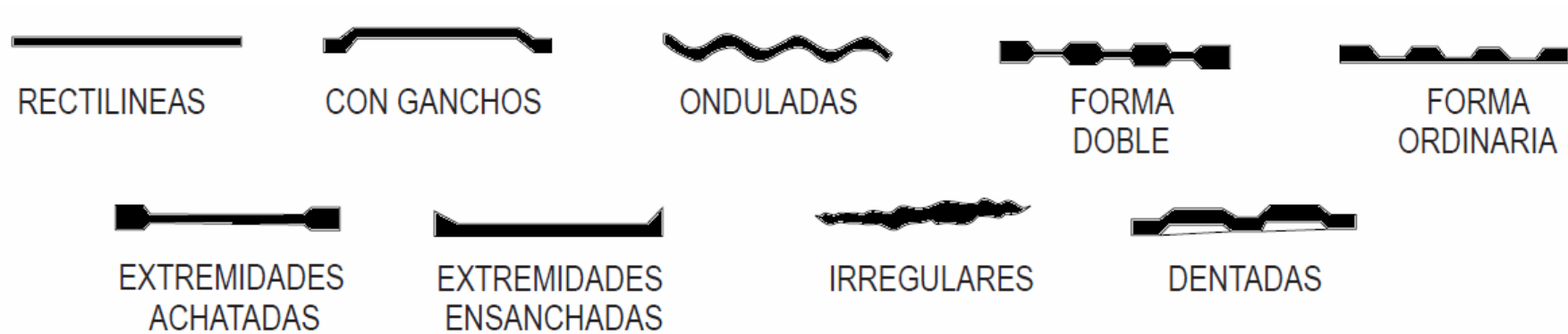


## De Fundición



# Parámetros Básicos

- Características geométricas:
  - Forma de la fibra
    - 1) Config. exterior en dirección longitudinal



– **Influye principalmente en las condiciones de anclaje, análogamente a la armadura tradicional en el hormigón**

# Parámetros Básicos

---

- Características geométricas:
  - Forma de la fibra
    - **2) Forma de la sección transversal**



Circular



Cuadrada



Rectangular



Triangular



Elíptica



Medialuna



Poligonal



Irregular

– **Surgen del proceso de fabricación.**



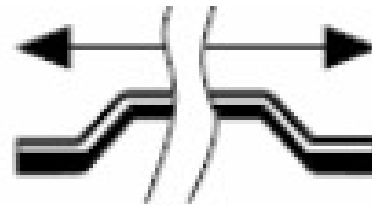


# Parámetros Básicos

---

- Características geométricas:

–  $l_f$ : longitud



**Longitud ( $l$ )**

- Debe cumplir una relación con el tamaño máximo del árido.
  - Muy largas: Dificultades de manipulación, aparición de poros.
  - Muy cortas: No desarrollan un buen anclaje, necesario para transmitir esfuerzos.
    - »  $l_f > 2 \text{ TMA}$  (*Tamaño máximo árido*)  
(usualmente  $> 2,5 \text{ a } 3 \text{ TMA}$ )



# Parámetros Básicos

---

- Características geométricas:
  - **$d_f$ : diámetro equivalente**
    - Diámetro de un círculo con un área igual al área media de la sección transversal de la fibra.
  - **$\lambda$ : Esbeltez (o relación de aspecto)**
    - Relación entre la longitud ( $l_f$ ) y el diámetro equivalente ( $d_f$ ) de la fibra.

- Indicador de la cantidad de fibras que caben por  $m^3$ .
  - » *A igual largo de fibra:*
  - » *+ esbeltez => + cantidad de fibras (red más densa).*
- Se debe limitar para evitar la formación de erizos.



# Parámetros Básicos

- Características geométricas:
  - $\lambda$ : Esbeltez (o relación de aspecto)



Una relación  $\lambda/\lambda$  de 45 es el valor mínimo requerido para obtener un hormigón dúctil con fibra de acero con dosificaciones razonables de fibra.

Estas fibras se utilizan en aplicaciones con requerimientos generales y no especificados.

Incluso de forma suelta (no encoladas) son fáciles de mezclar.



Las fibras de acero encoladas con una relación  $\lambda/\lambda$  de 65 son fáciles de mezclar y utilizar, al mismo tiempo que proporcionan un hormigón con fibra de acero notablemente mejorado.

Dramix®  $\lambda/\lambda$  65 es el compromiso ideal entre :

- ✓ rendimiento
- ✓ facilidad de mezclado
- ✓ coste



Para aplicaciones que requieran un hormigón muy resistente, con especificaciones muy estrictas, Bekaert ofrece las fibras “super-rendimiento”  $\lambda/\lambda$  80.

Estas fibras encoladas ofrecen lo mejor en :

- ✓ ductilidad
- ✓ absorción de energía
- ✓ control de fisuras

(Fuente: folleto DRAMIX)



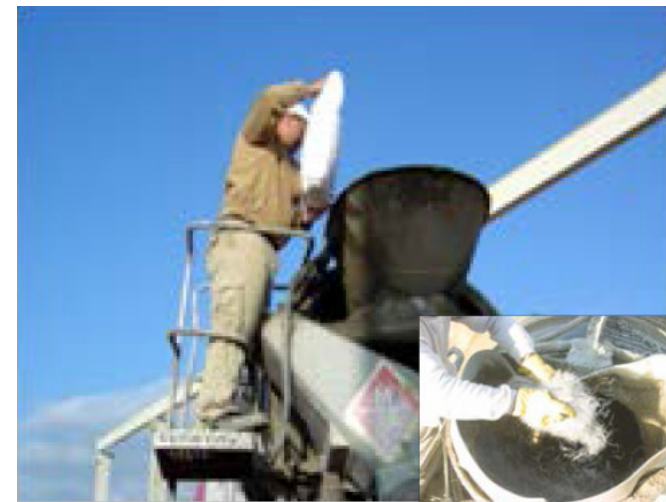
---

# DOSIFICACIÓN Y PRODUCCIÓN DEL HRF



# Vertido y Amasado

- Fibras se dosifican en peso
- “Manualmente” o con sistemas automáticos.
  - Sistema manual basado en número de sacos
    - Una vez pesados se agregan directamente en la cinta o cuba
    - Se abre el saco y se vierten.
      - Fibras metálicas: pasaje por rejilla intermedia para evitar erizos
    - Se vierte directamente el saco si éste es soluble.



# Vertido y Amasado

- Sistemas automáticos.
  - Diversos tipos de dosificadores





# Vertido y Amasado

---

- El vertido:
  - Preferentemente, con la amasadora en movimiento.
    - Reduce potencia necesaria y riesgo de bloqueo.
  - Preferiblemente en planta
    - Mayor homogeneidad y reproducibilidad.
- Orden de elementos:
  - Norma general: fibras junto con los áridos gruesos de la secuencia habitual.
  - En incorporación manual: al final, sobre el hormigón base.
- Velocidad de incorporación de las fibras:
  - Acero: 20 a 60 kg/min; Plásticas: 5 kg/min



# Principales Problemas

---

- Adición de fibras
  - Pérdida de docilidad
    - (aprox. 25 a 100 mm menos en ensayo de cono)
  - La fibra puede considerarse como un árido de bajo coeficiente de forma
- Dificultad en la dosificación.
  - Mantener funcionalidad
    - Principalmente trabajabilidad (mezclado, transportabilidad, colocación y compactación).
  - Evitar vacíos excesivos en la mezcla endurecida



# Formación de “erizos”

- Apelotonamiento de las fibras
  - sueltas o en la mezcla



# Dosificación

---

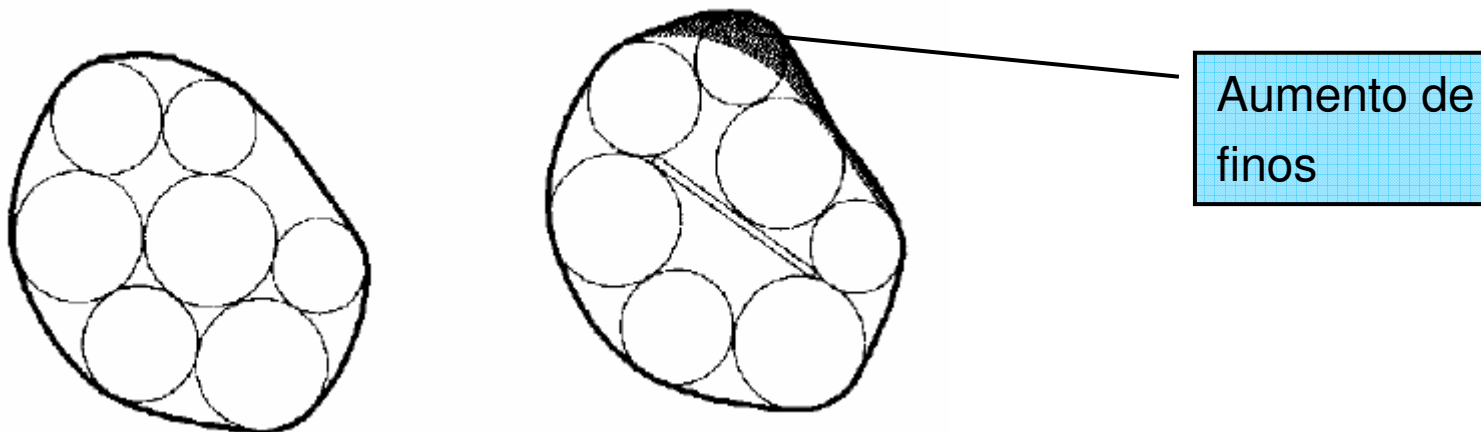
- Objetivo: máxima compacidad de la matriz.
- Varios métodos
  - Ejemplos:
    - Bolomey
    - De la Peña
    - ACI 211
    - Faury
  - Métodos de ajuste:
    - Schröder, 1976
    - Serena Ros, 1984
    - Moreno, 1997
    - Díaz Santos, 1991



# Dosif. – Recomendaciones ppales.

---

- Considerar las fibras como árido grueso
  - De bajo coeficiente de forma.
- Por ende:
  - Descontar el peso de fibras del peso del árido grueso.
  - Aumentar la cantidad de finos, para evitar el incremento de la porosidad.



---

# ASPECTOS BÁSICOS DEL CÁLCULO EN HRF





# Cálculo en HRF

---

- En los últimos años varios países incorporaron a los HRF en sus códigos y normas



2001



2003



2004



2008



2010

- Este hecho dio un gran impulso al desarrollo de éste material, aumentando la confianza de los técnicos, y en general de la industria de la construcción



# Cálculo en HRF

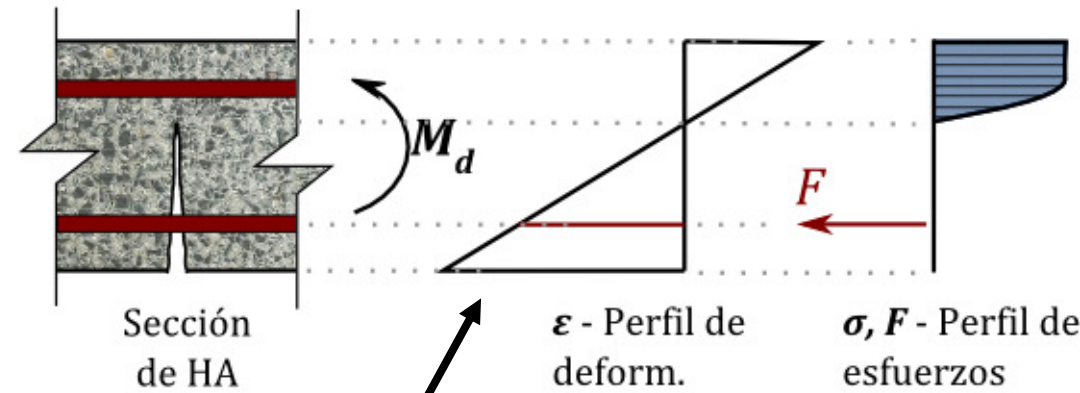
---

- Misma filosofía que para Hormigón Armado
  - Ejemplo:
    - Cálculo seccional para tensiones normales
    - Verificación a cortante basada en adaptaciones del esquema de bielas y tirantes.
  - Se traduce en ajustes a las fórmulas indicadas en la norma, indicados en el ANEJO 14 (EHE)

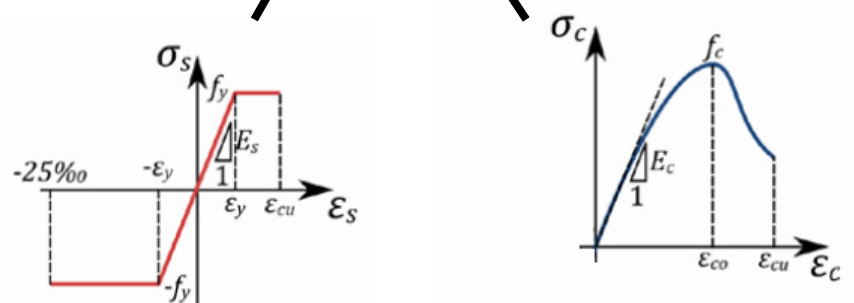
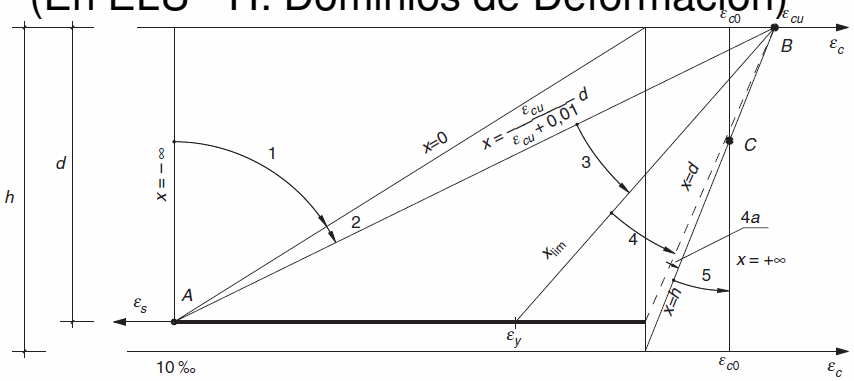


# Cálculo en HRF

- Solicitaciones normales en HA



H: Navier-Bernoulli  
(En ELU - H: Dominios de Deformación)

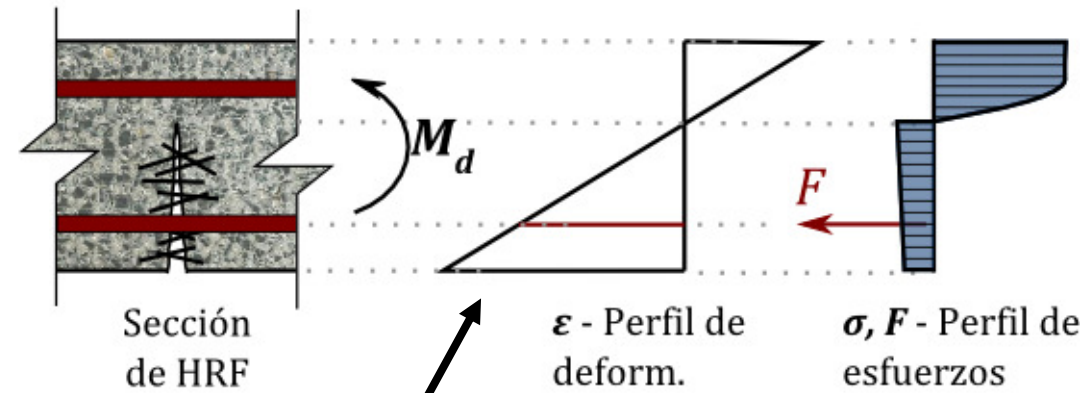


Mediante hipótesis simples, y el comportamiento de los materiales, determino el comportamiento seccional

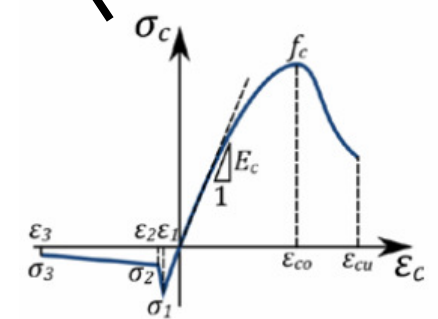
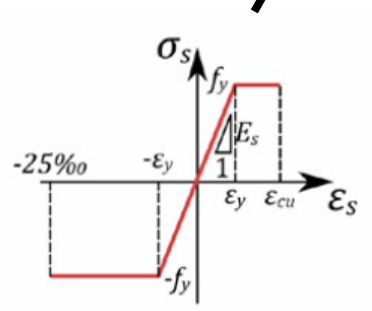
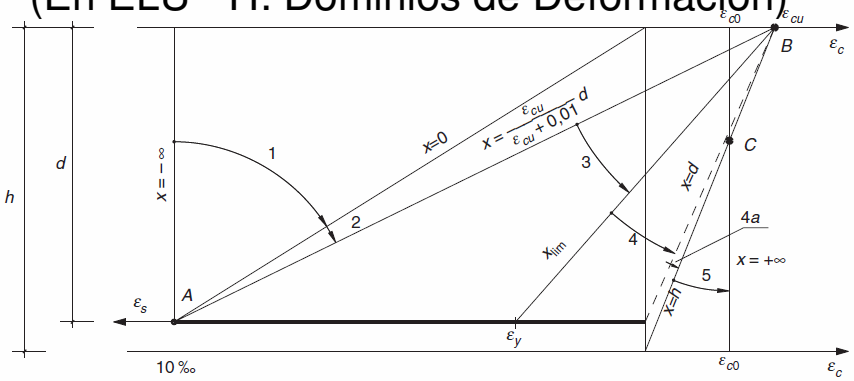


# Cálculo en HRF

- Solicitaciones normales en **HRF**: mantenemos el esquema



H: Navier-Bernoulli  
(En ELU - H: Dominios de Deformación)



¿Cómo se determina la ley a tracción?



# Modelo constitutivo del HRF

---

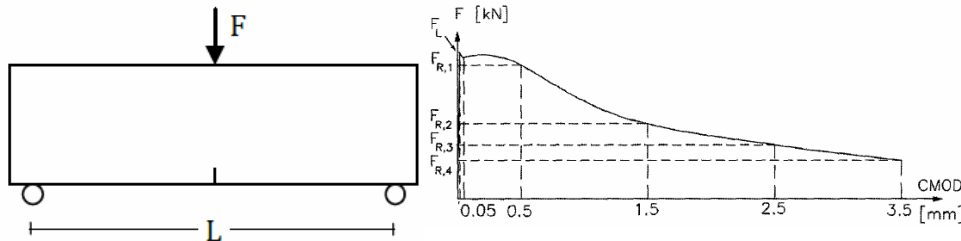
- ¿Cómo se determina la ley a tracción?
  - **Modelos directos**
    - ¡En desarrollo!
    - Serían más eficientes, pero no se ajustan correctamente
  - **Modelos indirectos** de comportamiento
    - Determinación del comportamiento del HRF a partir de medidas indirectas
      - Principalmente, medida de comportamiento a flexión
    - Método usado en los códigos y normas actuales



# Modelo constitutivo del HRF

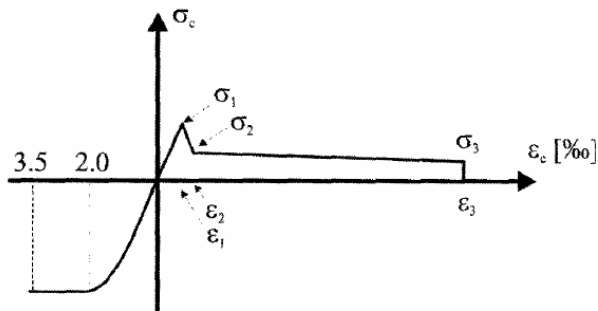
- Esquema de método indirecto

## A) Ensayo flexotracción



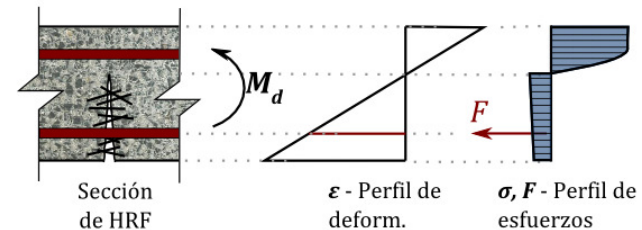
## B) Elección de ley de comp.

Por ejemplo: trilinear ( $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ : incógnitas)



## C) Ajuste

Mediante el modelo seccional determino incógnitas para ajustar a los datos experimentales



## D) Correlaciones

Las normas dan correlaciones aceptables y del lado de la seguridad

$\sigma_1 = 0.7 f_{ctm,0} (1.6 - d)$	(d in m)	(N/mm <sup>2</sup> )	$\epsilon_1 = \sigma_1 / E_c$
$\sigma_2 = 0.45 f_{R,1} \kappa_h$		(N/mm <sup>2</sup> )	$\epsilon_2 = \epsilon_1 + 0.1 \%$
$\sigma_3 = 0.37 f_{R,4} \kappa_h$		(N/mm <sup>2</sup> )	$\epsilon_3 = 25 \%$
$E_c = 9500 (f_{ctm})^{1/3}$		(N/mm <sup>2</sup> )	
$\kappa_h$ : size factor			





# Cálculo en HRF

---

- Verificación a cortante
  - adaptación que considera el aporte de las fibras
- Biela de tracción:

– En HA:  $V_{u2} = V_{cu} + V_{su}$

– En HRF:  $V_{u2} = V_{cu} + V_{su} + V_{fu}$

- Con:

$$V_{fu} = 0,7 \xi \tau_{fd} b_0 d$$

$$\xi = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \text{ con } d \text{ en (mm)}$$

$$\tau_{fd} = 0,5 f_{ctR,d} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

Factor que considera el aporte de las fibras



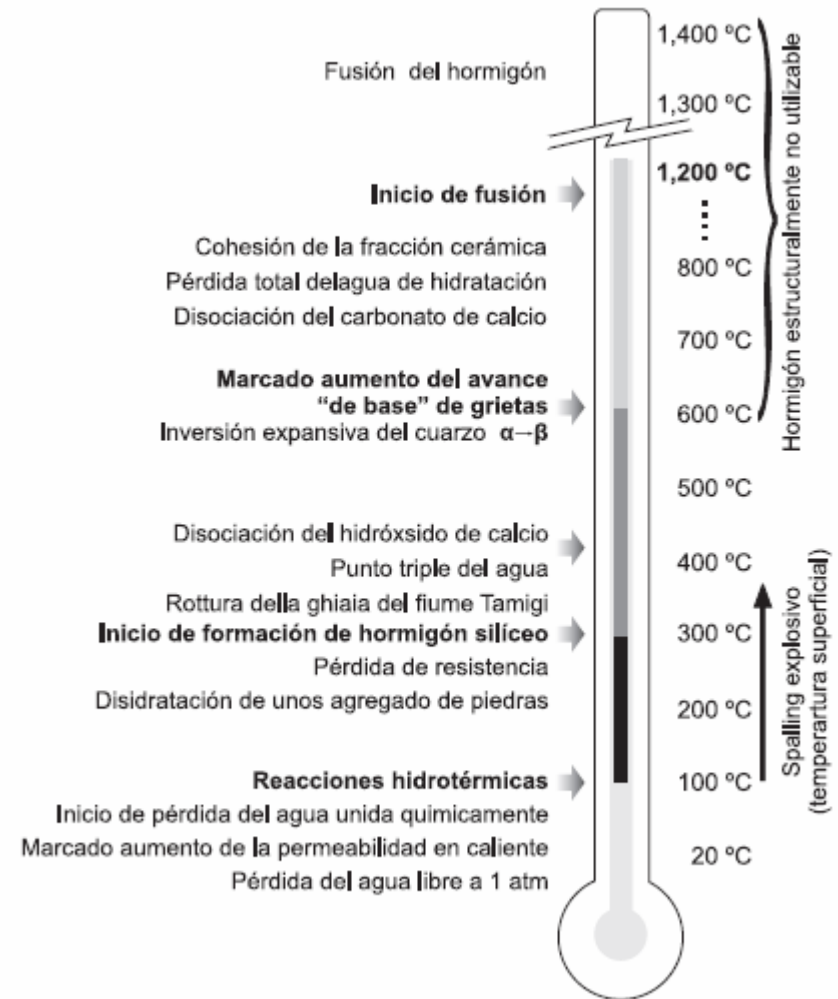
---

# RESISTENCIA AL FUEGO



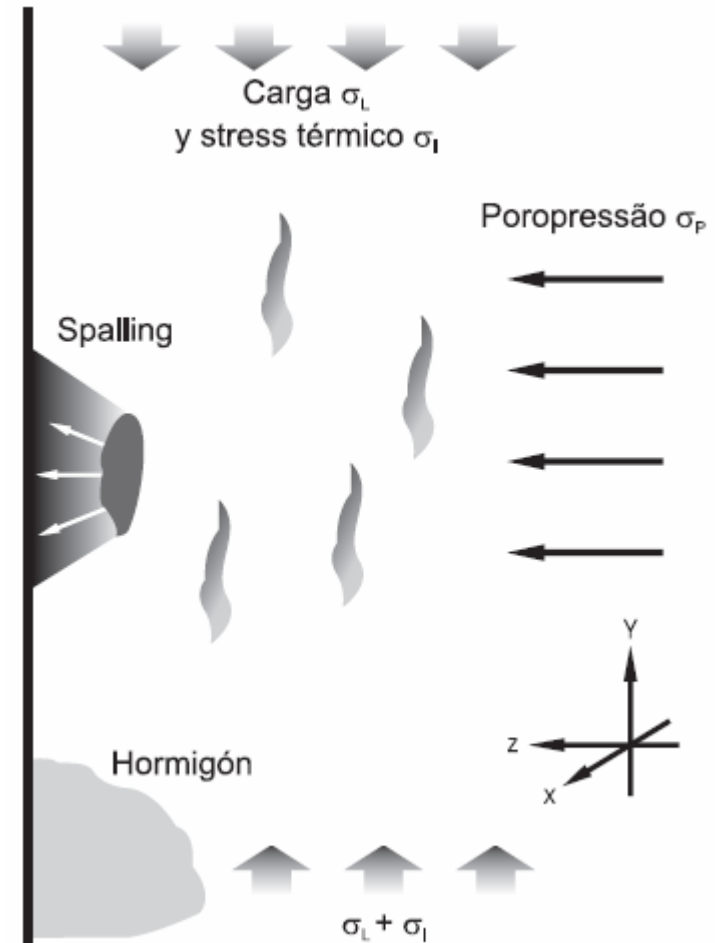
# Resistencia al fuego

- Exposición del hormigón a temperaturas altas
  - Altera las características físicas y mecánicas.
  - Reducen su funcionalidad.
    - Degradación por etapas, a medida que la temperatura se incrementa.



# Resistencia al fuego

- Primera etapa de la degradación:
  - “Desprendimientos” superficiales (Spalling)
    - El agua interna del hormigón alcanza el punto de ebullición, incrementando la presión interna.
    - Cuando la presión supera la resistencia del hormigón, se producen los desprendimientos.
    - Serie de explosiones violentas en los primeros 20 minutos del incendio.



# Resistencia al fuego

---

- Objetivo de la protección pasiva del hormigón:
  - Evita la pérdida de vidas humanas
    - Que las características mecánicas de los elementos estructurales se conserven durante el proceso de evacuación y actuación de los bomberos.
  - Se deberá asegurar:
    - Conservación de la capacidad portante
    - No emisión de gases inflamables
    - Evitar la disipación de las llamas o los gases
    - Aislamiento térmico
  - Rol importante en los primeros minutos del incendio
    - Fenómeno más relevante: Spalling

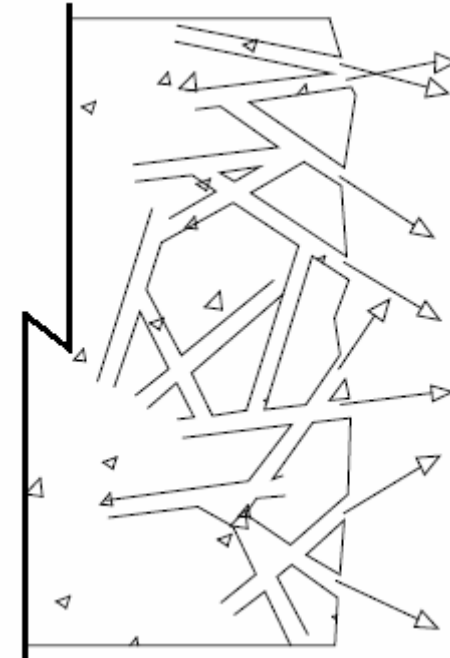


¿Cómo actúan las fibras de PP en este sentido?

# Resistencia al fuego

---

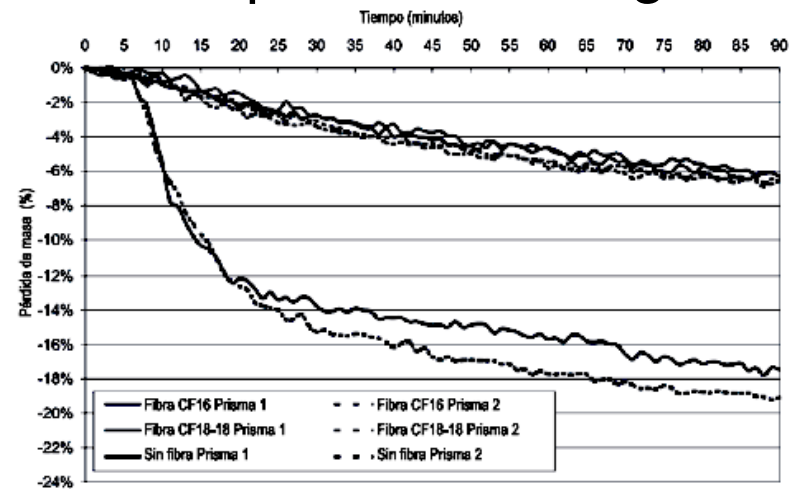
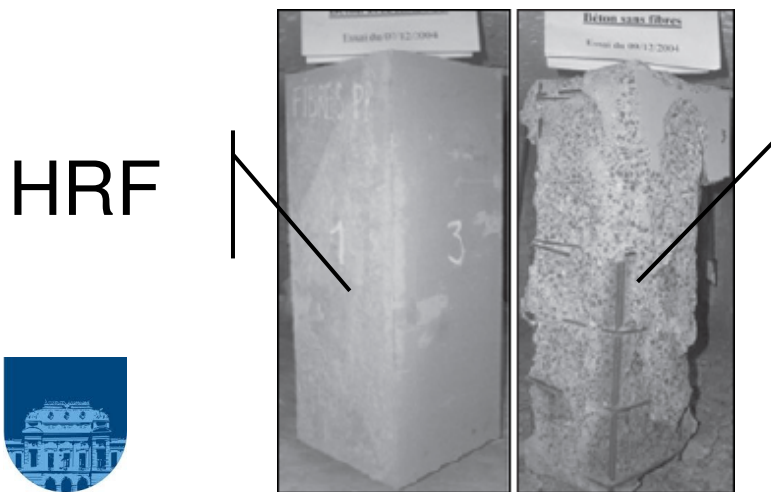
- Fibras de polipropileno como protección pasiva
  - La adición de estas fibras reducen significativamente el fenómeno de spalling por incendio.
  - Mecanismo simple:
    - A 160°C las fibras de pp se derriten, y a 360°C el PP se evapora, creando conductos en la matriz hasta la superficie.
    - Los gases se pueden liberar a la atmósfera por esta red, reduciendo las presiones internas.





# Resistencia al fuego

- Fibras de polipropileno como protección pasiva
  - Mayor cantidad de fibras y mejor comportamiento ante el fuego.
  - Distintas opiniones sobre la cantidad de fibras necesarias.
    - Actualmente: 0.2% en volumen (Aprox 1.82kg/m<sup>3</sup>)
  - Ejemplo comparativo de probetas expuestas a fuego:



---

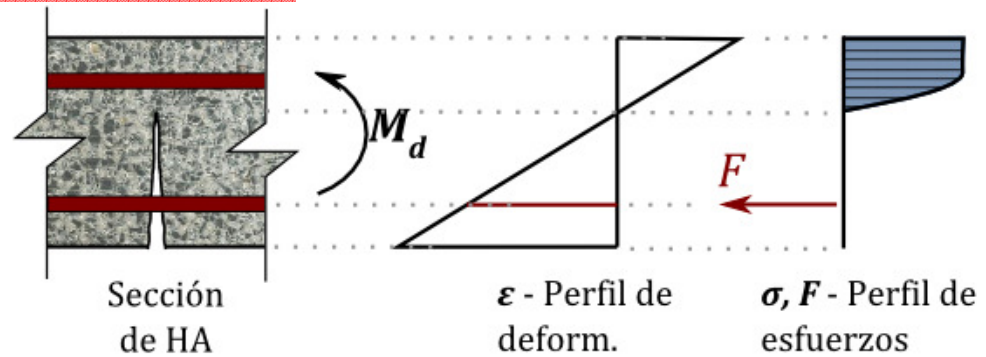
# SINTESIS DE LA CLASE



# Tipos de refuerzos

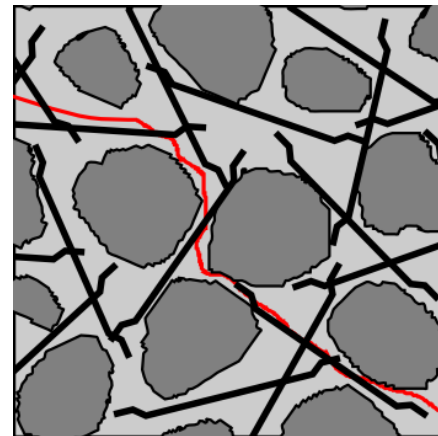
- Armado con barras

AUMENTA CAPACIDAD DE CARGA  
(control de fisuración)



- Fibras




MEJORA FISURACIÓN.  
(Aumenta capacidad de carga)



# Importante



## THE RIGHT FIBRE FOR THE RIGHT USE

	 Dramix® Steel fibres	 Synmix® macro synthetic fibres	 Duomix® Micro synthetic fibres
Plastic shrinkage reinforcement			✓
Anti-spalling aid at fire			✓
Non load bearing reinforcements Precast: Handling and transportation reinforcement Flooring: Temperature and shrinkage reinforcement	✓	✓	
Temporary linings (such as in mines) allowing large deformations	✓	✓	
Crack controlling reinforcement	✓	✓?	?
Structural reinforcements	✓	✓?	
Heavy impact	✓	✓?	?
Fatigue	✓	✓?	?

(Fuente: folleto DRAMIX)

# Bibliografía

---

## Conceptos generales:

- Monografía CEMEX (En desarrollo)
- Manual MACCAFERRI

## Para el cálculo:

- Norma EHE: Anejo 14

## Bibliografía complementaria:

- ACI committee 544, *Guide for specifying, proportioning, mixing, placing & finishing SFRC*, ACI Materials Journal, Jan-Feb, pp. 94-101.



# Por último...

---

... este es el comienzo.

- Proyectos de investigación en marcha.
  - Desarrollo de modelos de comportamiento
    - En conjunto con UPC (Barcelona) y Loughborough University (Inglaterra)
  - Proyectos con el medio
    - Introducción y uso de éste material por empresas y técnicos Uruguayos

Están invitados a participar!



# Tecnología del Hormigón

## Clase: HORMIGONES REFORZADOS CON FIBRAS

Luis Segura (lsegura@fing.edu.uy)

Junio 2014

Universidad de la República - Uruguay



UNIVERSIDAD  
DE LA REPUBLICA  
URUGUAY



---

# **BONUS TRACK I: APLICACIONES EN DESARROLLO**



# Elementos sometidos a Flexión

---

- Losas de HRF
  - Experiencia piloto:
    - Luxemburgo, 2004 (ARCELOR MITAL®)
    - $h=200$  mm, luces entre 5 y 8 m



# Elementos sometidos a Flexión

---

- Losas de HRF
  - Experiencia piloto:
    - hormigón autocompactante
    - Barras de “suspensión” solo en alineación de pilares
    - 2 dosificaciones de fibras de acero: 80 y 100 kg/m<sup>3</sup>



# Elementos sometidos a Flexión

---

- Losas de HRF
- Puesta en obra:
  - Hormigón autocompactante con fibras
  - Requiere poco personal
  - Aumenta el rendimiento y acorta tiempos.
- Más de 40 edificios terminados y en uso.



# Elementos que trabajan “por forma”



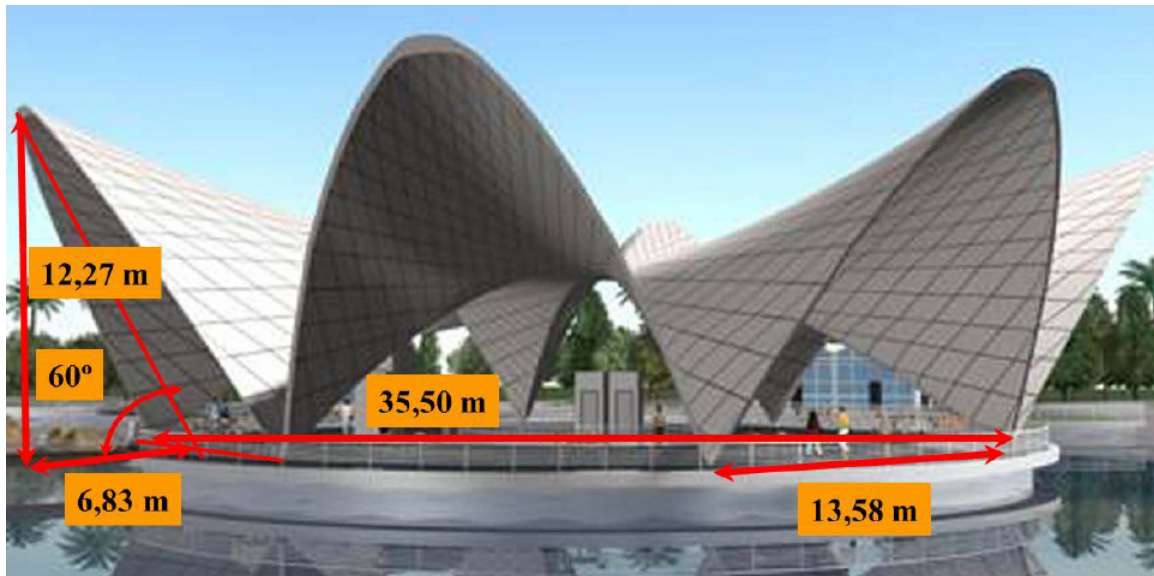
(Domingo, Lázaro, Serna)





# Elementos que trabajan “por forma”

- JChypar
  - Estructura laminar delgada
  - Basada en diseño de Felix Candela



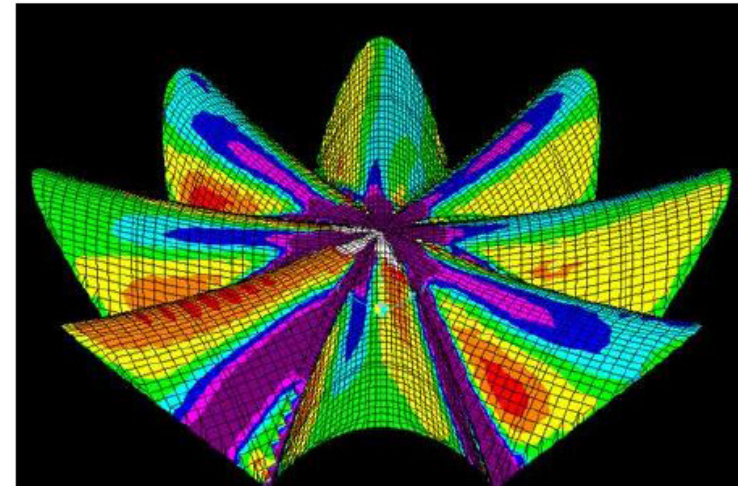
(Serna, 2009)



# Elementos que trabajan “por forma”

---

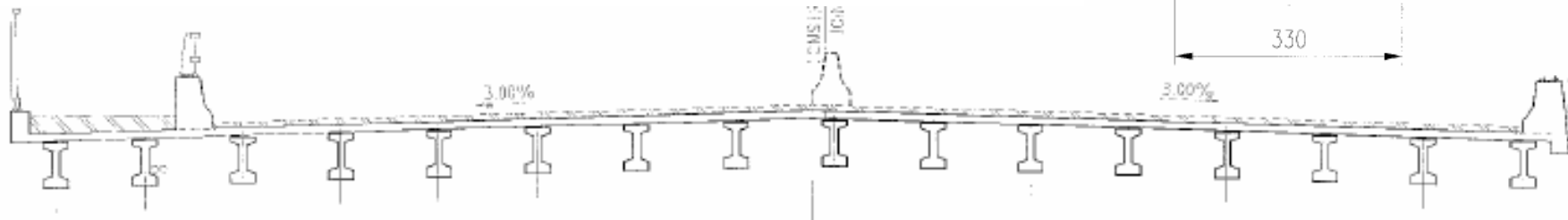
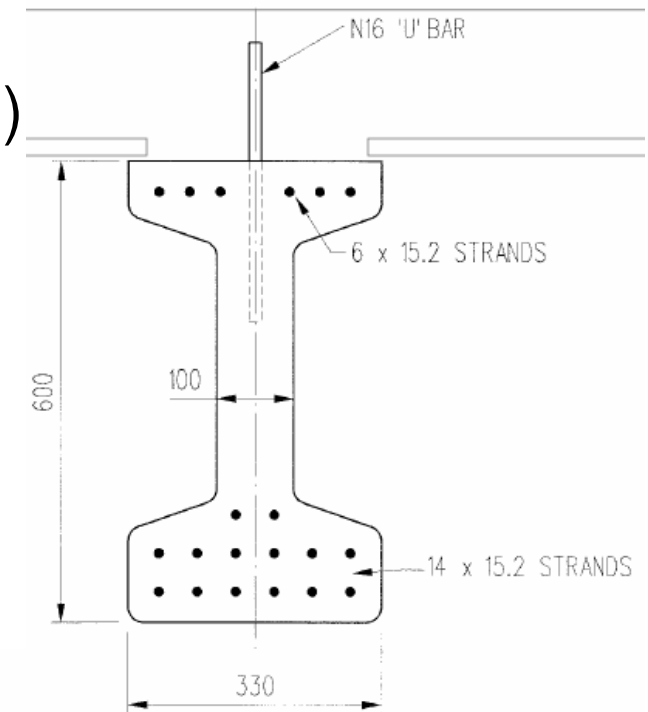
- Análisis elástico-lineal MEF (elem. tipo lámina)
- Fuerzas de membrana  
(Tensión/Compresión en el plano)
  - Arm. base:  $\varnothing 8$  c/15 x 15 cm
- Flexión, cortante
  - Fibras: 50 Kg/m<sup>3</sup>
- Rol de las fibras
  - Tensiones de tracción en la sección fisurada.
  - Reducir el ancho y separación de fisuras
  - Aumentar la ductilidad estructural. (Sismo)





# Elementos sometidos a Flexión

- Puente en Shepherds Gully (luz = 15 m)
  - Primer puente vial construido con **Reactive Powder Concrete (RPC)**
  - Vigas premoldeadas  $h=600\text{mm}$ 
    - Tendones pretensados
    - Sin estribos ni refuerzos en anclajes
  - Carpeta
    - Losetas ( $h=25\text{mm}$ )
    - En sitio ( $h=170\text{mm}$ )



(Cavill, 2004)

# Elementos sometidos a Flexión

---

- Puente en Shepherds Gully



(Cavill, 2004)



# Elementos sometidos a Flexión

---

- Puente en Shepherds Gully







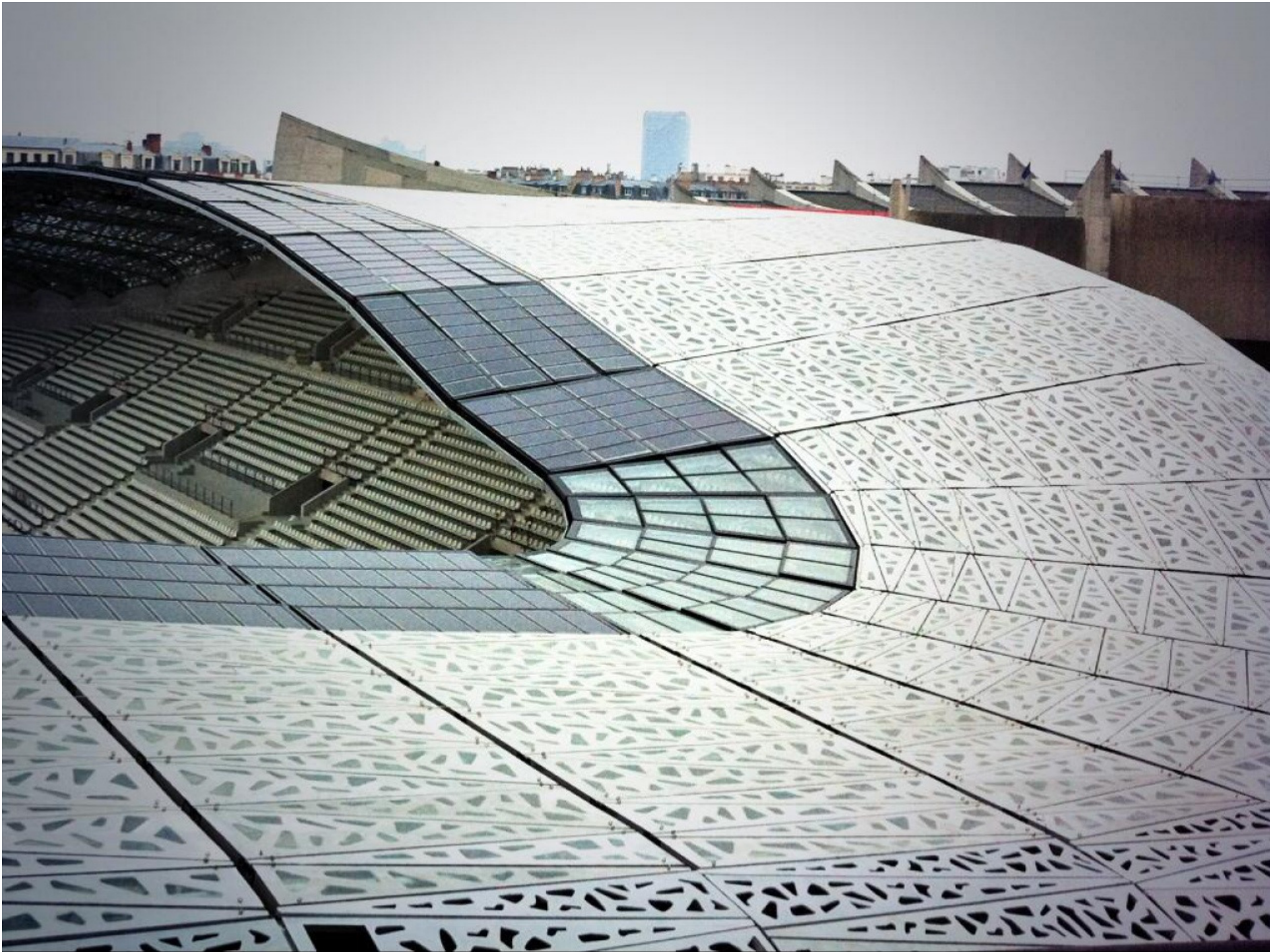


# Ultra-High Performance FRC (UHPFRC)

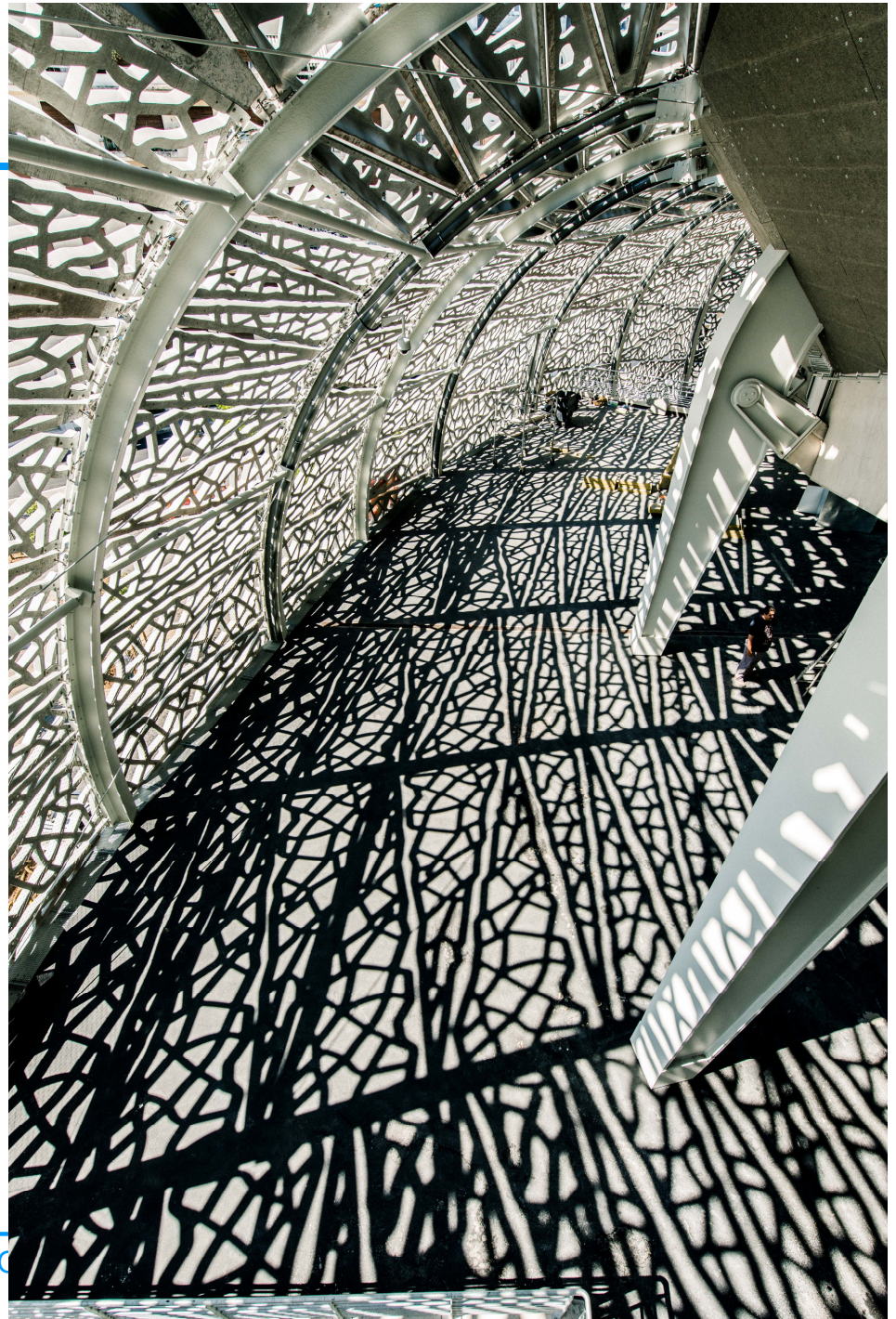
---













# Techo del Estadio Jean Bouin

---

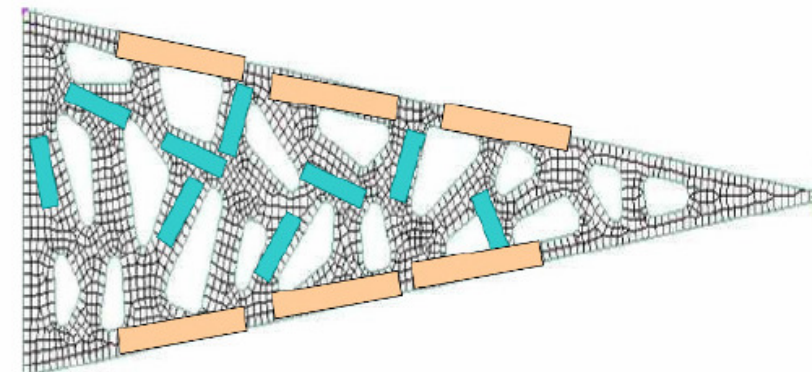
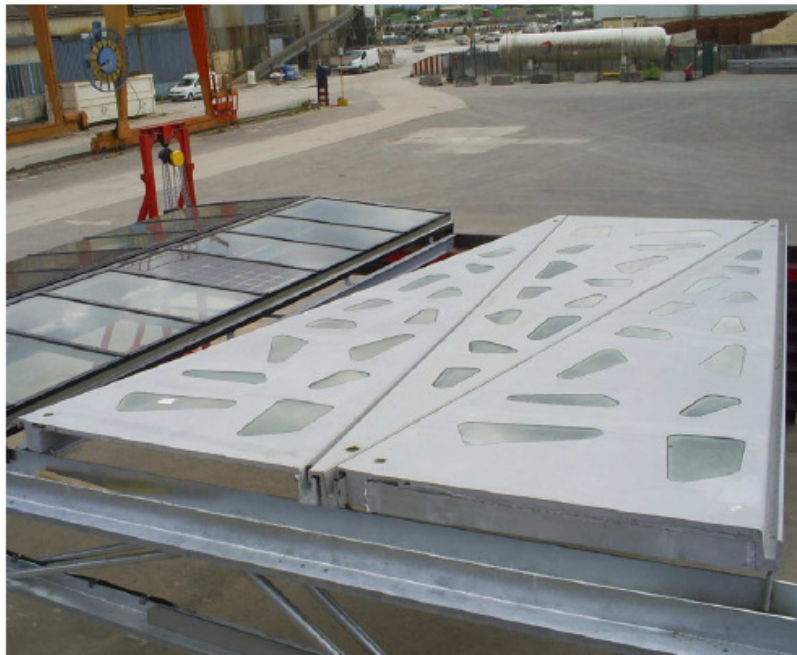
designed by Rudy Ricciotti

## Abstract

Erection of the new Stade Jean Bouin in Paris is based on a 21000 m<sup>2</sup> Ductal<sup>®</sup> Ultra-High Performance Fibre Reinforced Concrete (UHPFRC) envelope. The UHPFRC is used for the lattice facade and roof, which is waterproof, with a double curved surface geometry. The entire design is based on UHPFRC, used efficiently in terms of durability and structural performances. A key geometrical simplification has been applied through the use of lightweight, triangular panels. The envelope thickness and complexity is reduced, with a UHPFRC skin composed of precast elements, erected in one stage, with glass inserts embedded during the casting process.

(Mazzacane, 2013b)





3 Segments de 1 m

Figure 5: Cutting pattern of Stade Jean Bouin roof elements.

---

Figure 8: Stade Jean Bouin  
perforated panels



---

# **BONUS TRACK II: DURABILIDAD**





# Durabilidad

---

- Corrosión del acero
- ¿Fenómeno físico y causas principales?



# Durabilidad

---

- Proceso de naturaleza electroquímica
  - Similar a una batería: flujo de electrones del ánodo al cátodo.
- Normalmente, el acero es protegido por una capa de óxido su superficie, el cual se mantiene por la alta alcalinidad del hormigón.
- 2 procesos principales capaces de despasivar la protección:
  - Carbonatación por  $\text{CO}_2$
  - Ataque de cloruros



¿Cómo actúan las fibras en este sentido?

# Durabilidad

---

- Todas las buenas prácticas para hacer un hormigón de buena durabilidad se aplican al HRF.
- Por lo general:
  - La adición de fibras no aportan efectos negativos.
  - En algunos casos, efectos positivos pasivos.
    - Reducción de fisuras
    - Reducción de permeabilidad
    - En fibras de acero, como las fibras son cortas, discontinuas, y rara vez conectadas, no hay camino conductivo para corrientes parásito o inducidas.





# Durabilidad – Fibras de ACERO

---

- Corrosión de las fibras en hormigón **no fisurado**
  - En hormigones correctamente diseñados y ejecutados, la corrosión de las fibras se limitará a la superficie del hormigón
    - no más de 2.5 mm de penetración
    - incluso en ambientes agresivos



# Durabilidad – Fibras de ACERO

---

- Corrosión de las fibras en hormigón **fisurado**
  - Experimentación en HRF en ambientes con cloruros
    - No sucede en fisuras menores a 0.1 mm.
      - En algunos casos, se constata el “autosellado” de las fisuras
    - Se reporta aparición de corrosión en las fibras que atraviesan las fisuras mayores a 0.1 mm.
      - Pero, si tienen una profundidad limitada, puede no llegar a tener relevancias estructurales.



# Durabilidad – Fibras de ACERO

---

- Corrosión de las fibras en hormigón **fisurado**
  - PRECAUCIÓN!
    - Si la fisuración puede llevar al colapso estructural, la posibilidad de existencia de corrosión en las fisuras debe ser estudiada.
    - Es prudente considerar que en los ambientes más agresivos ocurrirá corrosión hasta cierto punto.
    - Para reducir el potencial de corrosión, alternativas posibles son el uso de aceros al carbono aleados, acero inoxidable, o fibras galvanizadas.



# Durabilidad – Fibras Plásticas

---

- No tienen el problema de la corrosión.
- También aportan ventajas pasivas al mejorar la fisuración.
- Pero...
  - ¿Ante incendios?
  - Degradación por rallo UV



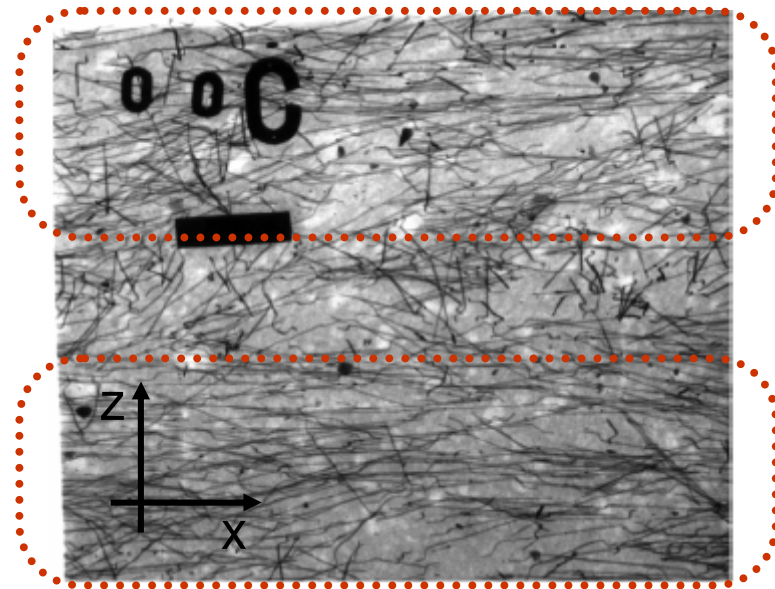
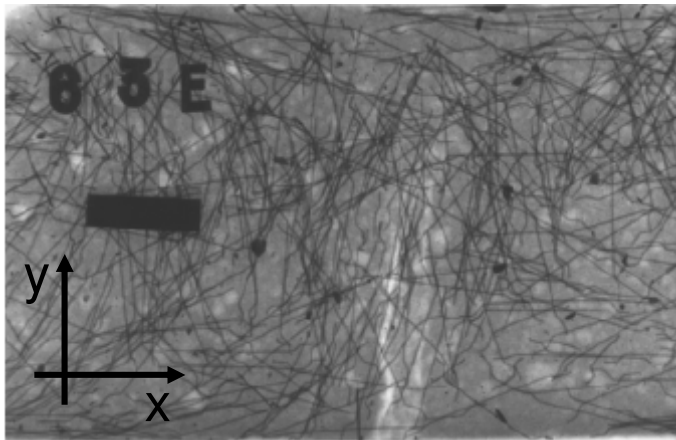
---

# **BONUS TRACK III: ORIENTACIÓN DE LAS FIBRAS**



# Material anisótropo

- No es un material isótropo
  - Las fibras que lo componen usualmente no tienen la misma orientación en el espacio.
    - Anisotropía de propiedades
  - Primera aproximación (hormigón moldeado)
    - Orientación preferencial en plano “xy” perpendicular a la dirección de vertido “z”





# Material anisótropo

---

- No es un material isótropo
  - La orientación de las fibras tiene efectos sobre el comportamiento del material, es decir, influye en la eficacia del HRF
    - Ventajoso o no, dependiendo de la aplicación, y la posibilidad de controlarla.
  - Normativa:
    - De las normas de calculo disponibles para HRF, solo el *fib Model Code* adopta un factor que considera la orientación de las fibras (escenario más realista).



2001



2003



2004



2008



2010

