

Utilización de Macrofibras en Hormigón Proyectado



Ing. Leonardo Checmarew
Sika Argentina S.A.I.C



UTILIZACIÓN DE MACROFIBRAS EN HORMIGÓN PROYECTADO **CARACTERÍSTICAS, NORMATIVA Y ENSAYOS**

ABRIL 2016
SIKA SERVICES

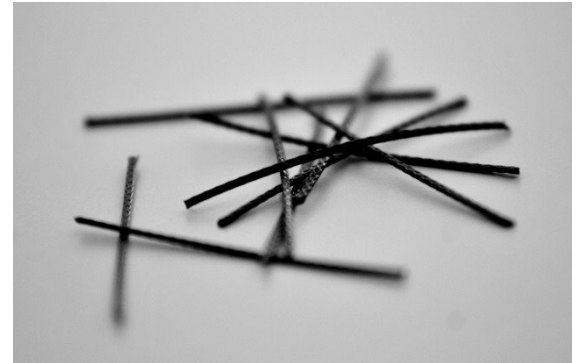
ING. LEONARDO CHECMAREW

BUILDING TRUST



INDICE

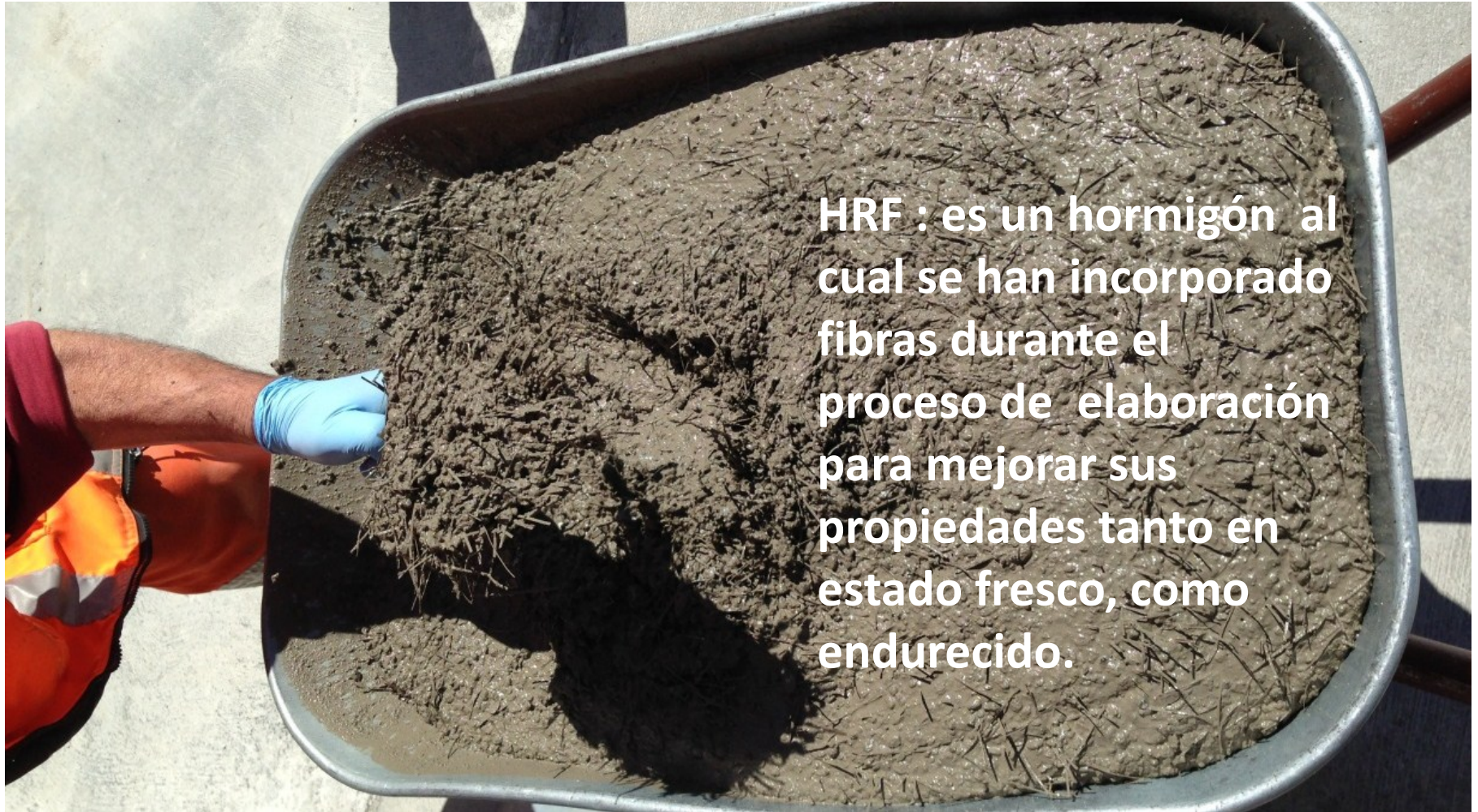
- 1 INTRODUCCION Y DEFINICIONES**
- 2 GAMA DE FIBRAS**
- 3 CONTRIBUCION DE LAS MICRO FIBRAS**
- 4 CONTRIBUCION DE LAS MACRO FIBRAS**



INTRODUCCION

HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS

HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS



HRF : es un hormigón al cual se han incorporado fibras durante el proceso de elaboración para mejorar sus propiedades tanto en estado fresco, como endurecido.

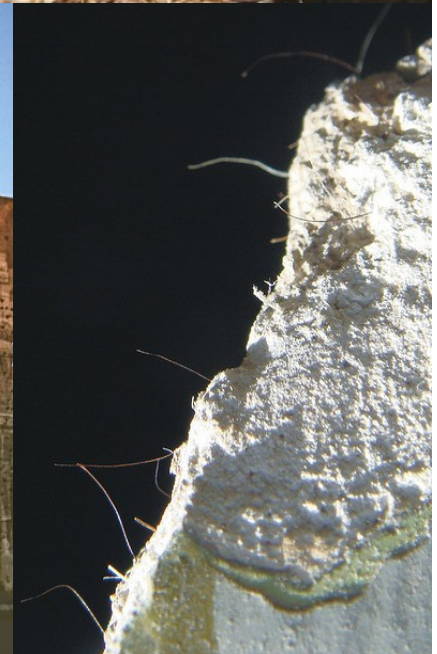
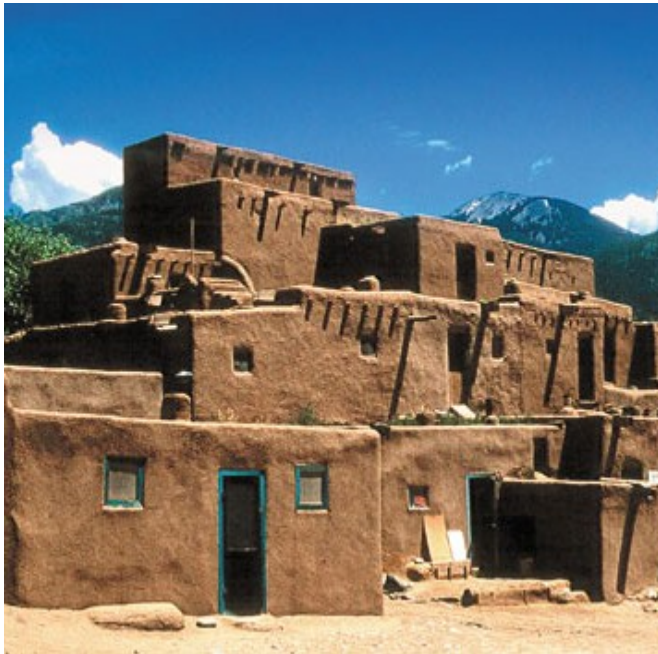
HORMIGONES PROYECTADO REFORZADOS CON FIBRAS

- **HPRF:** es un hormigón de fraguado muy rápido, empleado para **estabilizar y dar soporte** a revestimientos de hormigón donde **no se requiere encofrado:**
- Estabilizar.
- Dar soporte.
- Aplicaciones sin encofrados.

- **Éxito de la aplicación** depende del:
- Hombre (Aplicador)
- Equipos
- Hormigón

HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS

- Es la forma mas antigua de reforzar morteros y pastas.
- Fibras de origen vegetal se han utilizado hace ya 2.000 años.
- Cabello animal se ha utilizado tambien para reforzar pastas y morteros.



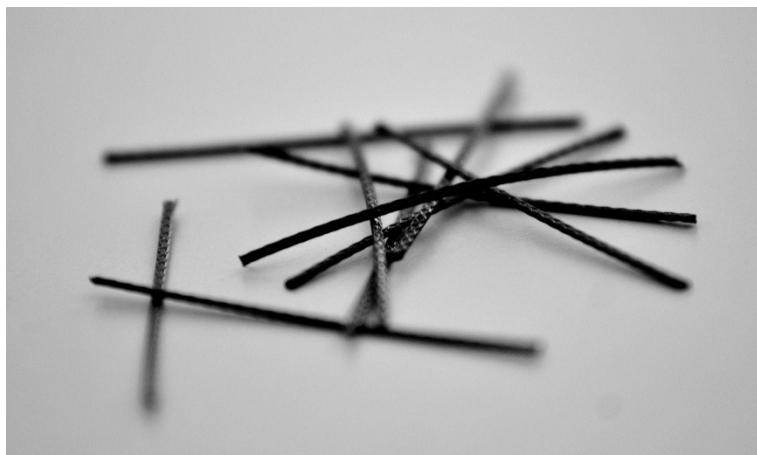
HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS

- En 1950 se desarrolla la fibra de acero.
- Las primeras aplicaciones datan entre 1960 y 1970.
- El uso de fibras polimericas comienza en los 90.



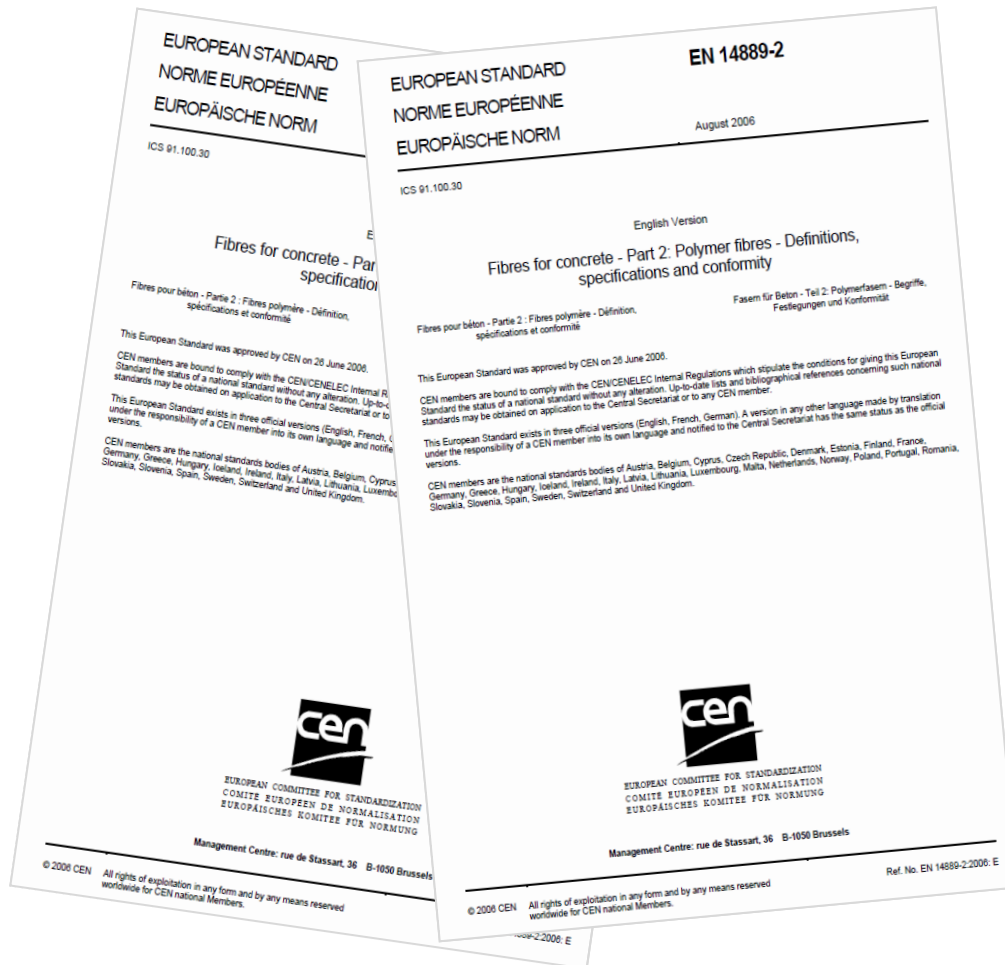
GAMA DE FIBRAS

GAMA DE FIBRAS



GAMA DE FIBRAS – NORMATIVA EUROPEA – EN 14889

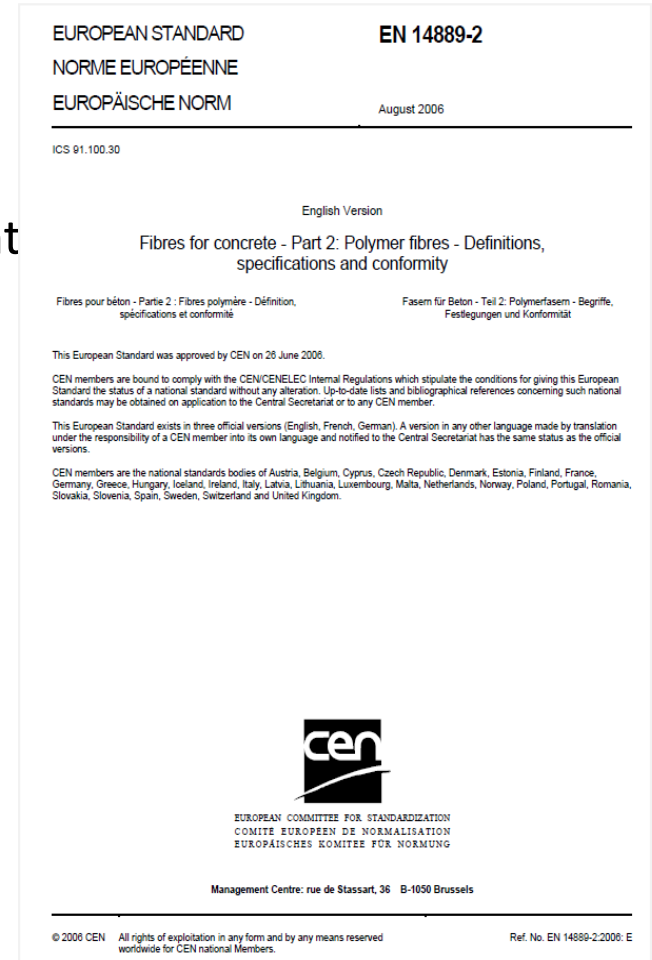
- EN 14889 Fibres for Concrete - Part 1: Steel Fibres
- EN 14889 Fibres for Concrete - Part 2: Polymer Fibres



GAMA DE FIBRAS – NORMA EUROPEA – EN 14889-2

Clasificación de Fibras Polimericas

- **Clase Ia:**
Micro Fibras: < 0.30 mm diametro; Monofilament
- **Clase Ib:**
Micro Fibras: < 0.30 mm diametro; Fibriladas
- **Clase II:**
Macro Fibras: > 0.30 mm diametro



GAMA DE FIBRAS – NORMA EUROPEA – EN 14889-2

Clase 1a - Monofilamento



Clase 1b - Fibriladas

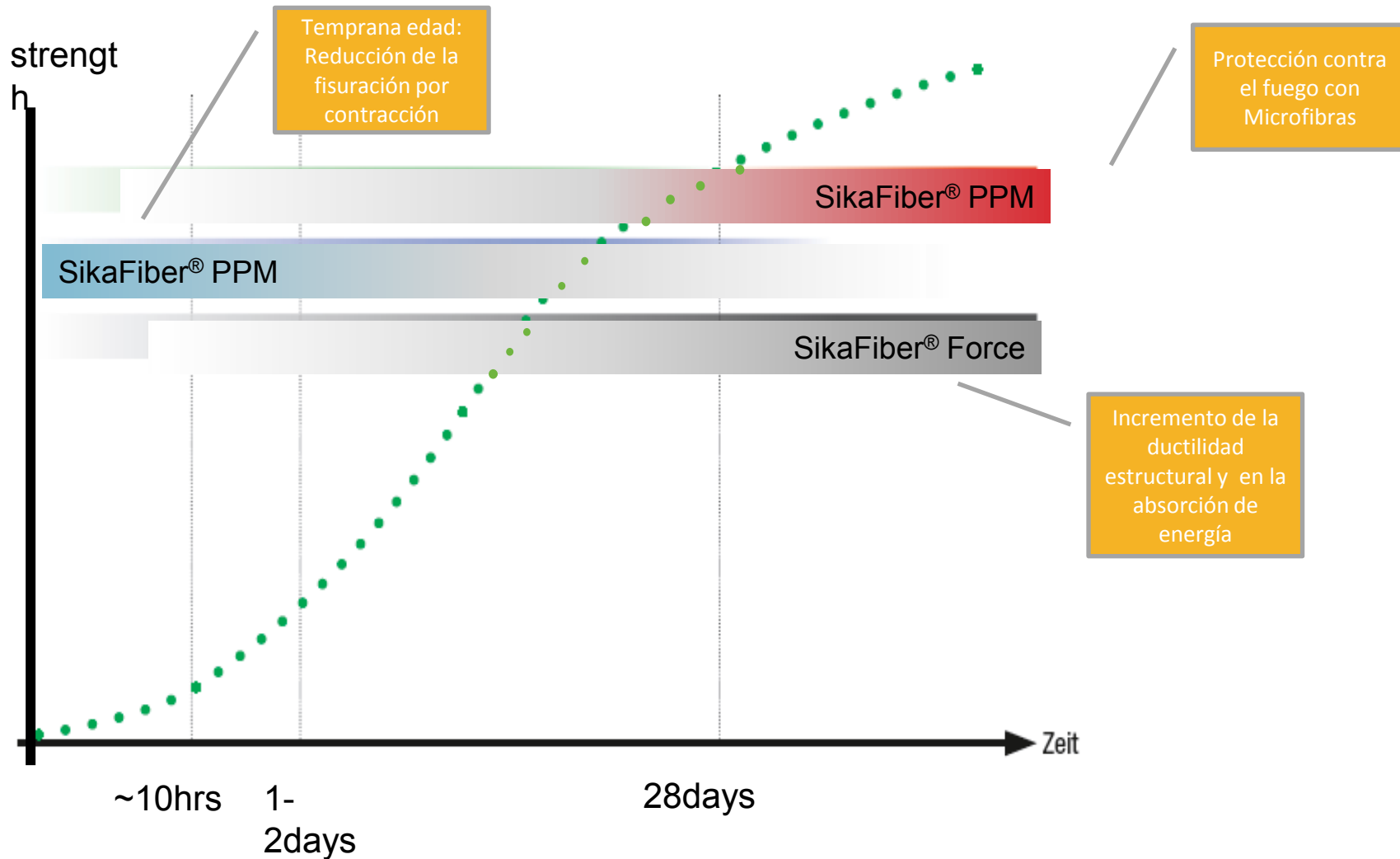


GAMA DE FIBRAS

- Cuales son las aplicaciones de fibras



QUE FIBRA EMPLEAR SEGUN LA EDAD DEL HORMIGÓN



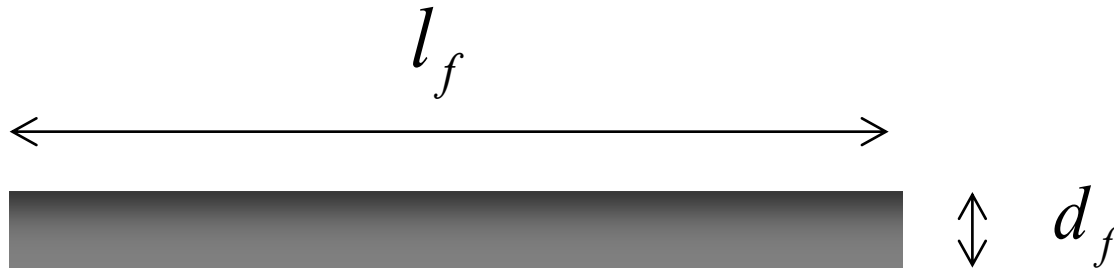
GAMA DE FIBRAS

PP Micro Fibras (d<0.30mm)	PP Macro Fibras	Fibras Metalicas
<p>Control de fisuración por retracción a edades tempranas</p> <p>Dosificación: ~600g/m³</p>	<p>Absorción de Energía en hormigón proyectado</p> <p>Dosificación: 5-8kg/m³</p>	<p>Absorción de Energía en hormigón proyectado</p> <p>Dosificación: 25-40kg/m³</p>
<p>Protección Pasiva Contra el Fuego</p> <p>Dosificación: ~2kg/m³</p>	<p>Puenteo de fisuras en pavimentos ,soleras y revestimientos de hormigón Proyectado</p> <p>Dosificación: 4-6kg/m³</p>	<p>Puenteo de fisuras en pavimentos ,soleras y revestimientos de hormigón proyectado.</p> <p>Dosificación: 20-30kg/m³</p>

MACRO FIBRAS POLIMERICAS

GEOMETRIA DE LAS FIBRAS

- Para conseguir un buen comportamiento:
Relación: Longitud / Diámetro



Relacion optima entre 40 y 80.

$$\text{Aspect - ratio} : \frac{l_f}{d_f}$$

$$40 < \frac{l_f}{d_f} < 80$$

Características de las Macro Fibras

Propiedades:

- Geometría óptima para el anclaje.
- $d = 0,5/0,7\text{mm}$, $l/d = 65/70$ con $l = 35\text{ mm}$
- Incremento de la tenacidad y resistencia residual del hormigón.
- Control de la fisuración.
- Mayor durabilidad
- Reduce el rebote.
- No se oxida.

Características de las Macro Fibras

Propiedades:

- Mayor resistencia al impacto.
- Químicamente inertes.
- Reduce el desgaste de bombas y tuberías
- Se almacenan por tiempo indefinido protegida de la humedad.
- Mayor resistencia a la abrasión

▪



HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS

Las fibras modifican la fluidez del hormigón

Durante la **Práctica** veremos su efecto

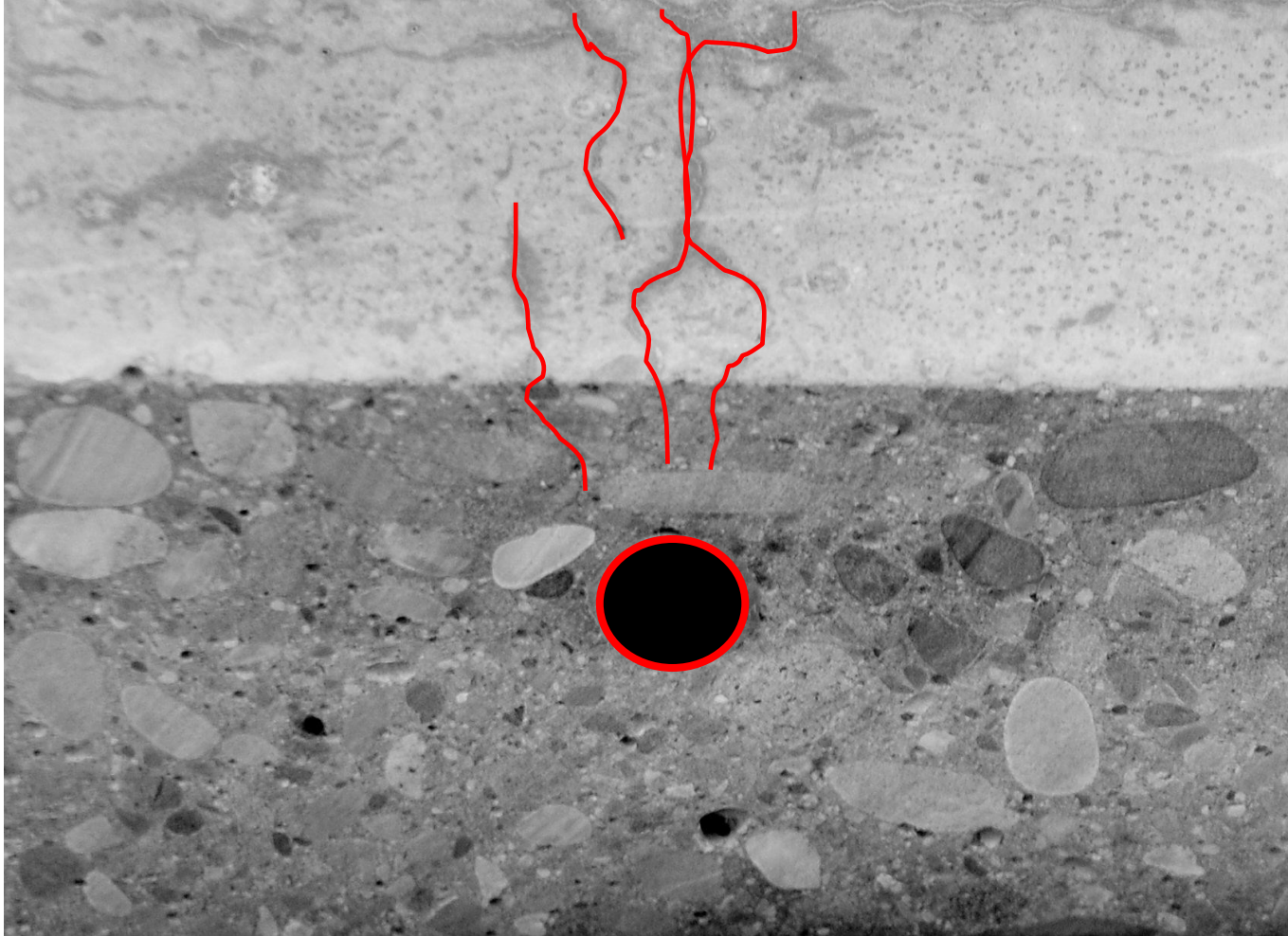
Tipo de Concreto	Asentamiento (Cm)	Densidad [kg/m ³]	Contenido de Aire [%]
Concreto Patrón sin fibras	16 cm	2380	3,00
Concreto Patrón + 600g PP Micro fibras	14 cm	2345	4,2 %
Concreto Patrón + 4kg PP Macro Fibras	10 cm	2372	3,2 %
Concreto Patrón + 8kg PP Macro Fibras	6.5 cm	2370	3,3%



CONTRIBUCION DE LAS MICRO FIBRAS

APLICACIONES DE LAS FIBRAS

MICRO FIBRAS - REDUCCION DE LA FISURACION TEMPRANA



APLICACIONES DE LAS FIBRAS

MICRO FIBRAS – PROTECCION PASIVA CONTRA EL FUEGO

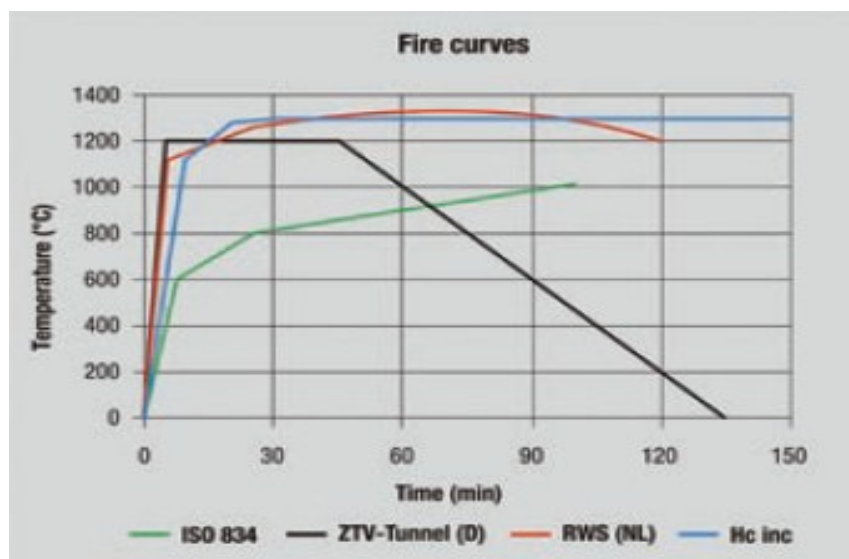


APLICACIONES DE LAS FIBRAS

MICRO FIBRAS – ESPECIFICACION PROTECCION PASIVA

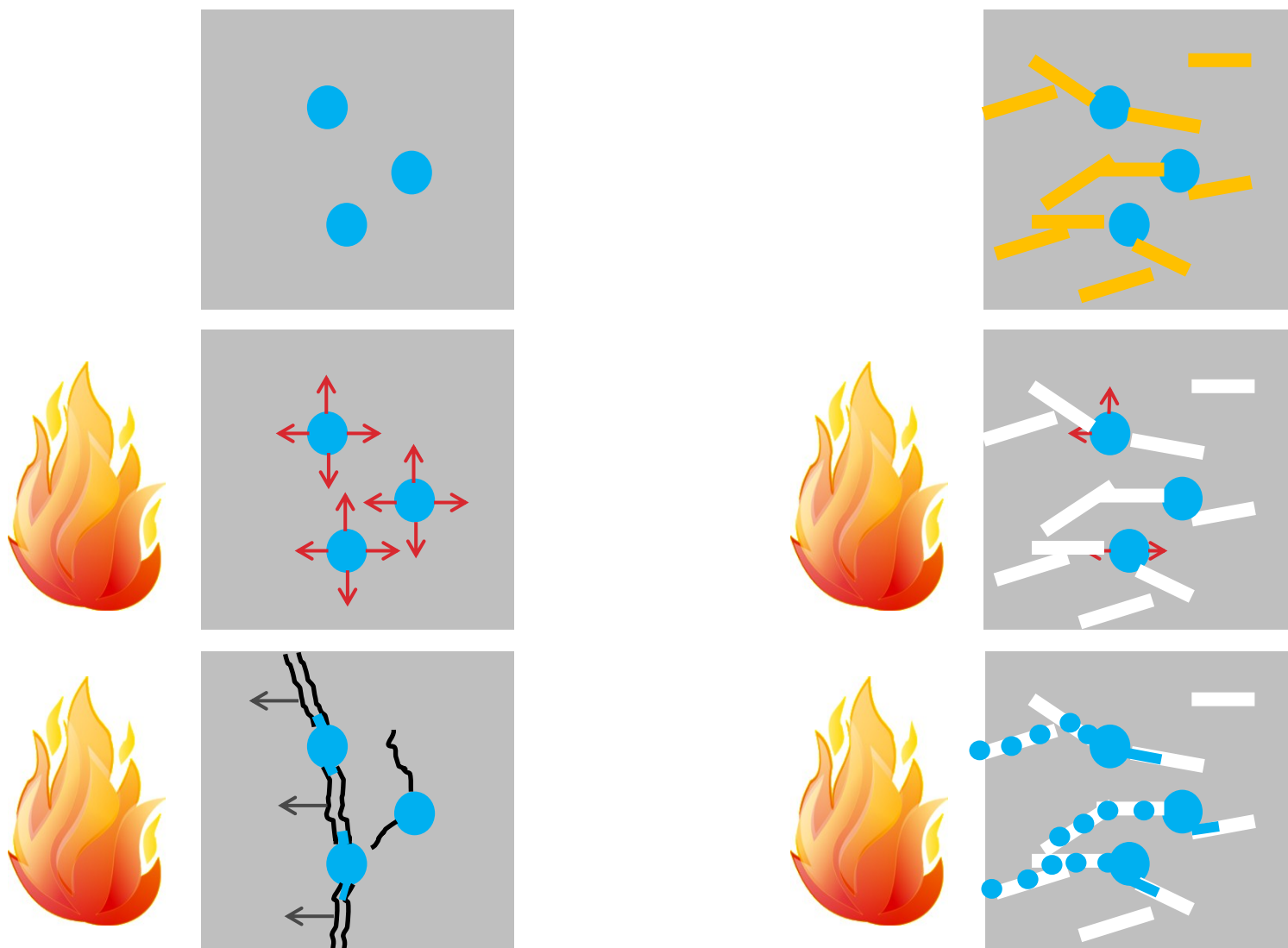
Es obligatorio (en UE) incluir medidas de Protección Pasiva contra el Fuego en aquellas labores subterranas Civiles en los siguientes casos:

- Longitud Tunel > 500 m
- Sumergidos o con riesgo potencial de colapso
- La PPCF se debe aplicar tambien a los sistemas de evacuación (ej. Ventilacion)



APLICACIONES DE LAS FIBRAS

MICRO FIBRAS – PROTECCION PASIVA CONTRA EL FUEGO



CONTRIBUCION DE LAS MACRO FIBRAS

APLICACIONES DE LAS FIBRAS

COMPORTAMIENTO DEL H CON **MACRO FIBRAS**

- **Recordemos:**
- Los sistemas a base de cemento presentan, generalmente, un comportamiento **fragil** de rotura.
- El hormigón trabaja bien a compresión pero no a flexion, tracción o cortante.
- Incluso con fibra la matriz cementicea **es frágil**.
- Gracias al puenteo de las fisuras por las **Macrofibras**, la estructura es capaz de soportar cargas aún con el hormigón **fisurado**.

APLICACIONES DE LAS FIBRAS

COMPORTAMIENTO DEL H CON MACRO FIBRAS

- **Ventajas en la utilización de las Macro fibras:**
- Importante aumento de **la ductilidad** del hormigón, post agrietamiento, medido mediante la energía absorbida = carga por deformación.
- La energía absorbida es representada por el área bajo la curva, se **llama tenacidad** del hormigón con fibras, **propiedad del sistema**, diferente a la propiedad del material como es la resistencia, el PUV .
- **Controla** el agrietamiento a largo plazo.

HORMIGÓN PROYECTADO

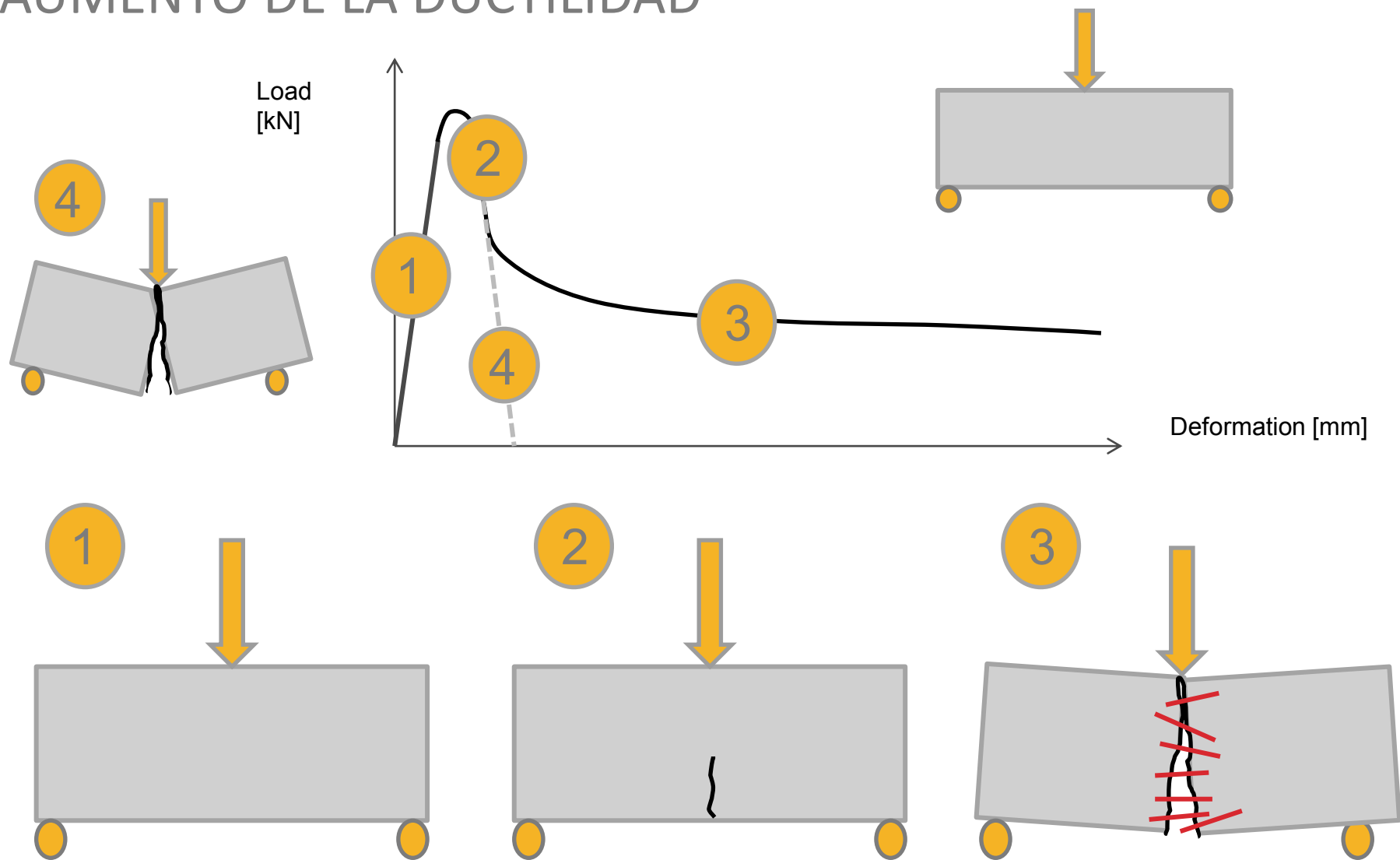
- El hormigón proyectado se diseña como una capa delgada, que se adapta a las paredes del túnel, **con capacidad de carga, resistencia al peso y propiedades dúctiles**.
- Esto se puede lograr mediante dos formas;
- **Malla metálica o mediante Macro fibras** para reforzar a los morteros y hormigones Proyectados.
- Se diseña utilizando los resultados de pruebas de placas para definir la resistencia **post fisuración y ductilidad**.



- El refuerzo tradicional con **malla de acero** :
- Instalación laboriosa
- Consumo de tiempo
- Riesgos durante la fijación de la malla en el túnel.
- Falta de adaptación al sustrato.
- El hormigón debe adaptarse a espesores variables. Mayor consumo de material.
- Más lento y mayor costo.

APLICACIONES DE LAS FIBRAS

AUMENTO DE LA DUCTILIDAD



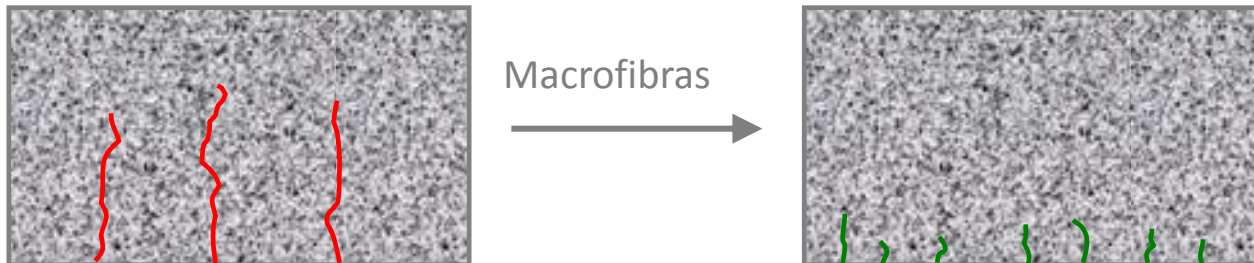
APLICACIONES DE LAS FIBRAS

REDISTRIBUCION DE TENSIONES

Las fisuras aparecen como consecuencia de:

- Retraccion
 - Dilataciones/Contracciones termicas
 - Cargas mecánicas
- ▶ La fisuración, a unas determinadas dimensiones, compromete la Durabilidad de la Estructura

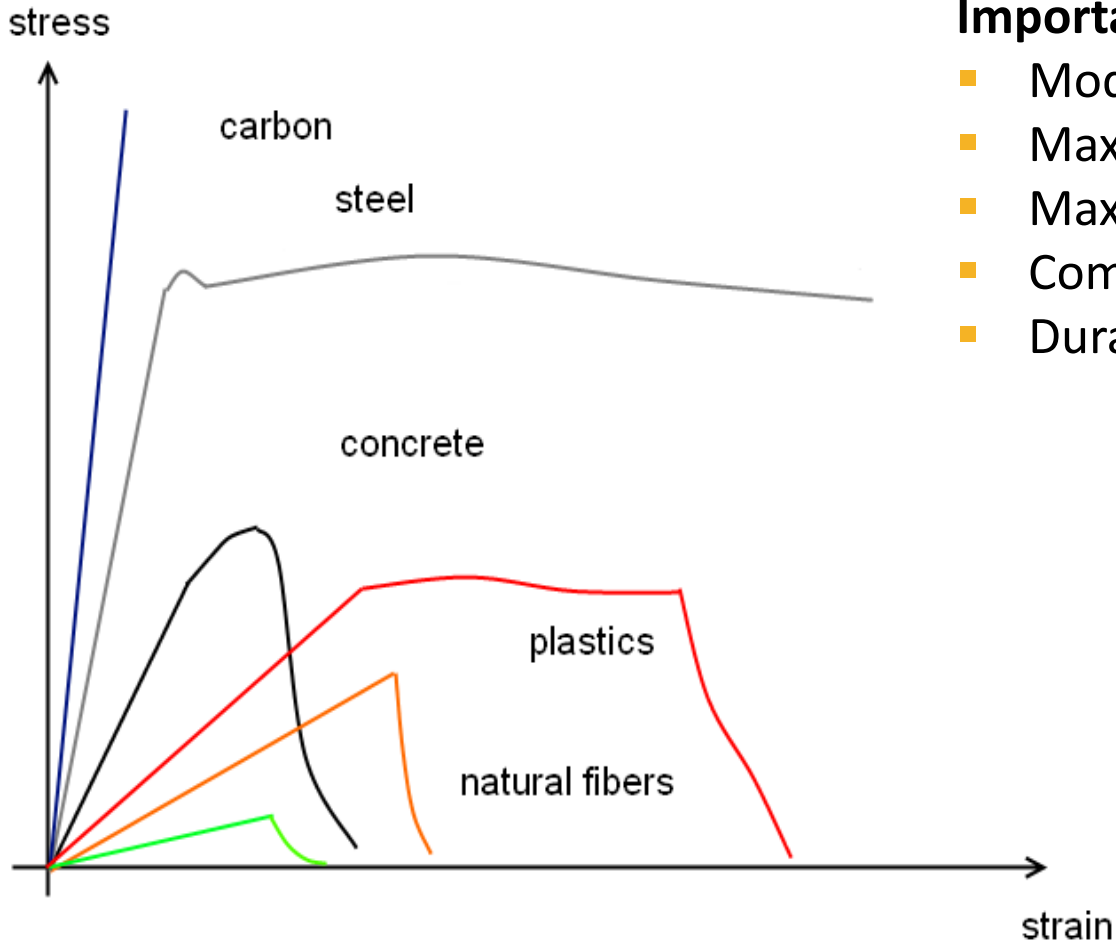
Al aportar Macrofibras **la fisuración se distribuye en micro fisuras** que no afectan a la Durabilidad, al tiempo que mejoran el aspecto del concreto.



MACRO FIBRAS DE DISTINTOS MATERIALES

FIBRAS DE ACERO VS. MACRO FIBRAS POLIMERICAS

FIBRAS DE DISTINTOS MATERIALES

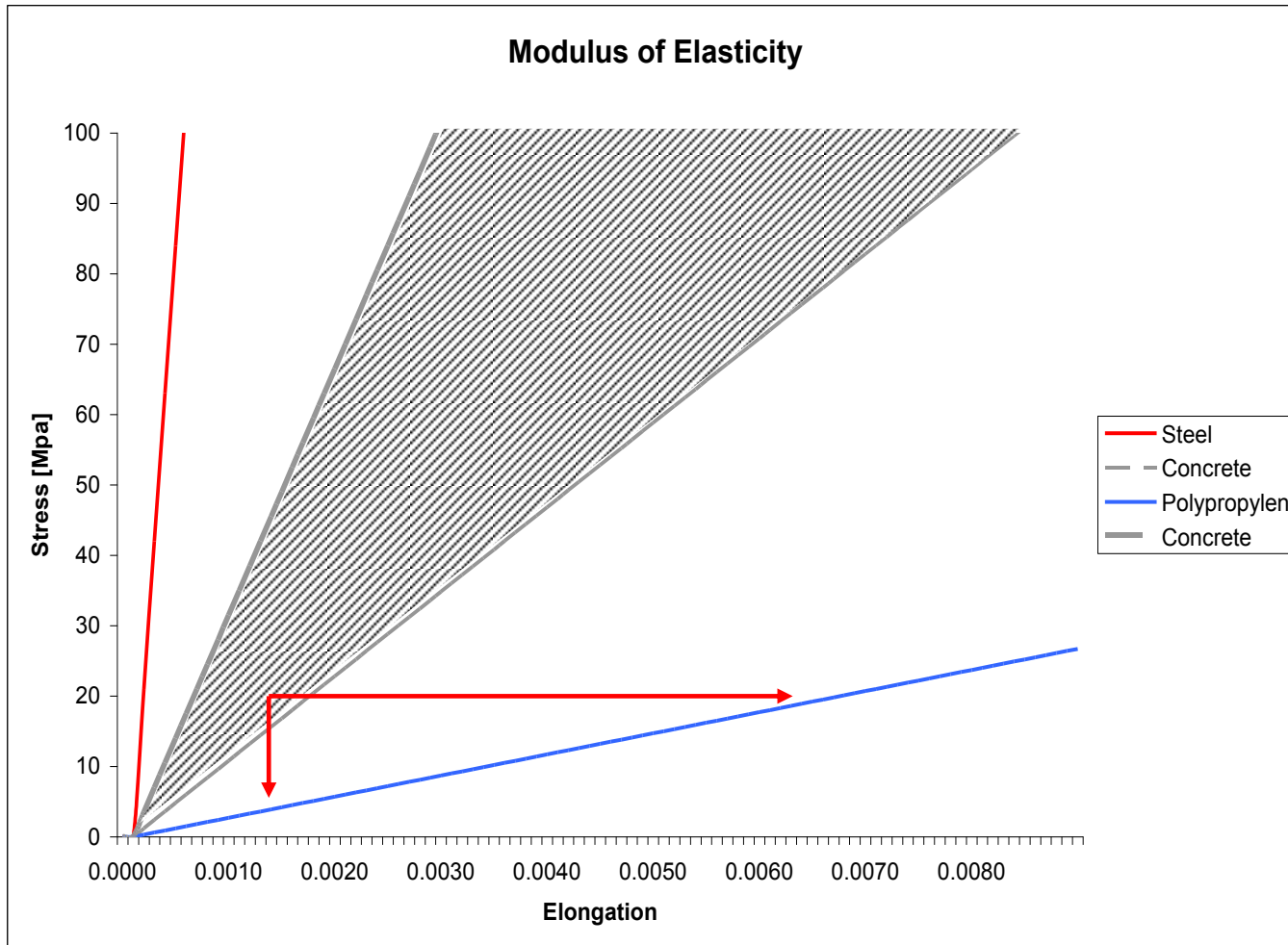


Importante:

- Modulo Elastico (E)
- Maxima Resistencia
- Maxima Deformacion
- Comportamiento Termico
- Durabilidad

FIBRAS DE ACERO VS. MACRO FIBRAS POLIMERICAS

FIBRAS DE DISTINTOS MATERIALES



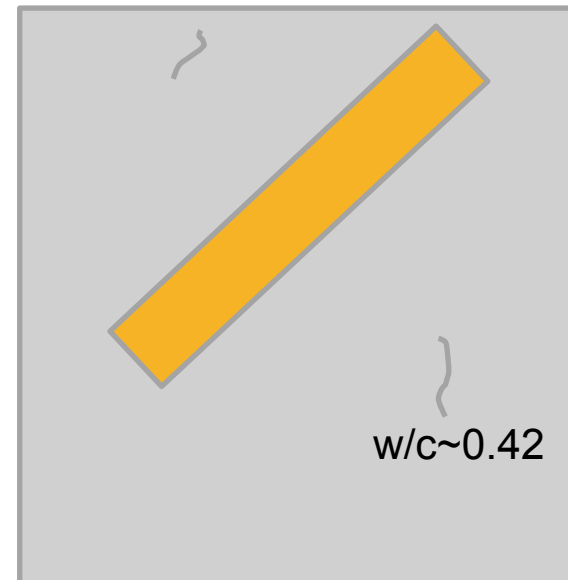
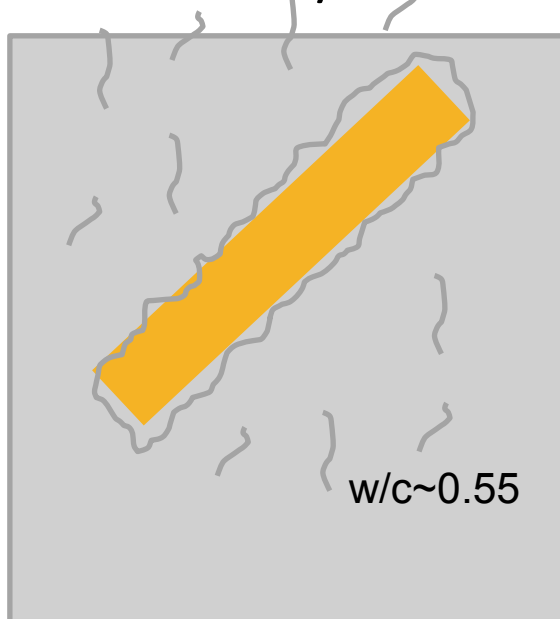
FIBRAS DE ACERO VS. MACRO FIBRAS POLIMERICAS

FORMULA DE LA MEZCLA

- HRF es un Sistema!!

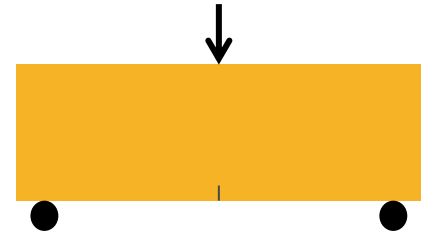
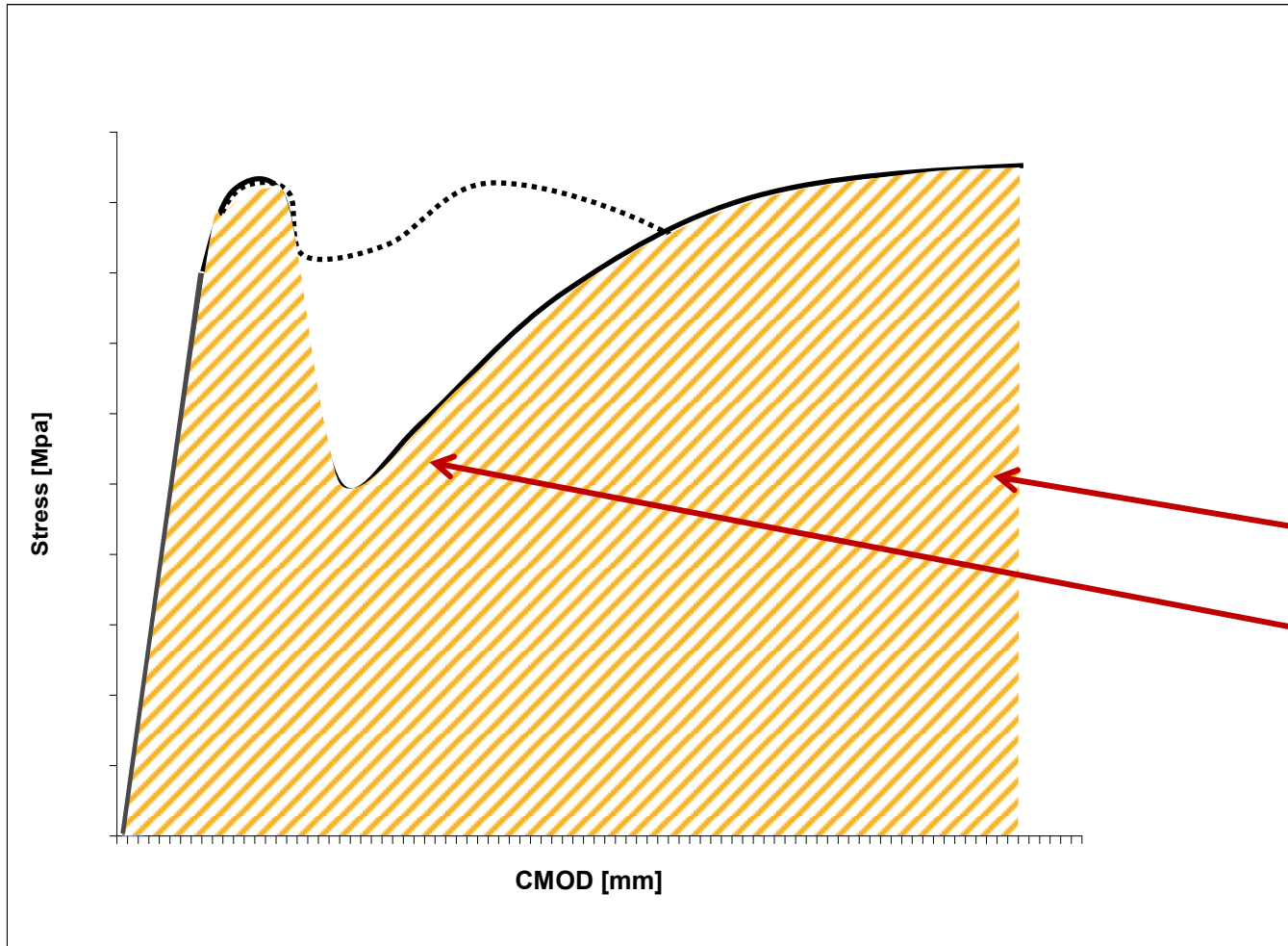
La adherencia (fricción) entre la fibra y la matriz depende también de las características del hormigón.

- Con un hormigón pobre , la mejor fibra funcionara mal.
- Un concreto con A/C baja ofrece mejor anclaje a las fibras que uno con A/C alta.



FIBRAS DE ACERO VS. MACRO FIBRAS POLIMERICAS

RENDIMIENTO



Ensayo con:

25kg fibras de acero

6kg PP-macro fibras

ENSAYOS DE HORMIGÓN PROYECTADO CON FIBRAS

HORMIGÓN PROYECTADO REFORZADO CON FIBRAS

ENERGIA DE ABSORCIÓN

El aumento de ductilidad debido al aporte de las fibras se determina con la Absorción de Energía (Joules).

Norma Europea: EN 14487

ENSAYO DE PLACA, EFNARC

- Esta propuesta tiende a simular el **comportamiento real** del revestimiento.
- El ensayo de placa es apropiado para comparar diferentes tipos de **fibras y dosificaciones**
- Mide la energía absorbida a partir de **la curva carga- deformación.**
- Da una idea de :
 - Capacidad soporte de carga
 - Absorción de energía del revestimiento (gunita).
 - Resistencia **residual** para una deflexión 25mm.

HORMIGÓN PROYECTADO REFORZADO CON FIBRAS

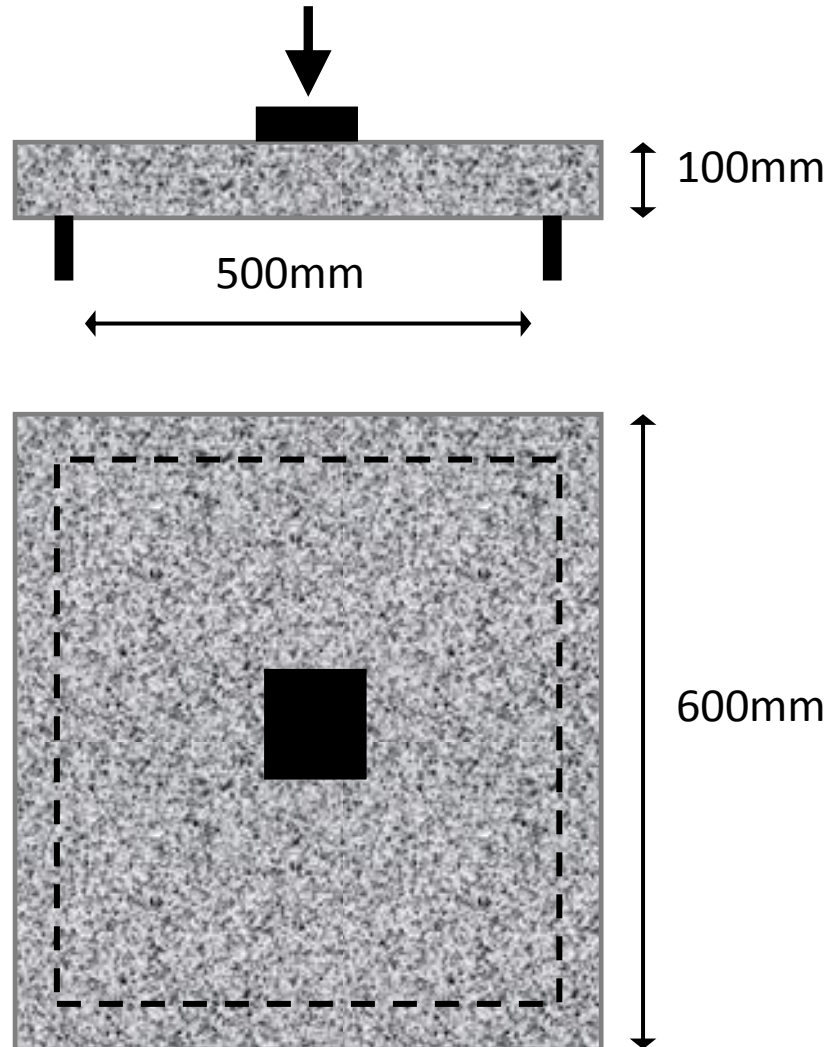
ENERGIA DE ABSORCIÓN

Clases de Absorción de Energía según EN 14487-1

Clases de Energía de Absorción	Joules hasta $w=25\text{mm}$
E 500	500
E 700	700
E 1000	1000

HORMIGÓN PROYECTADO REFORZADO CON FIBRAS

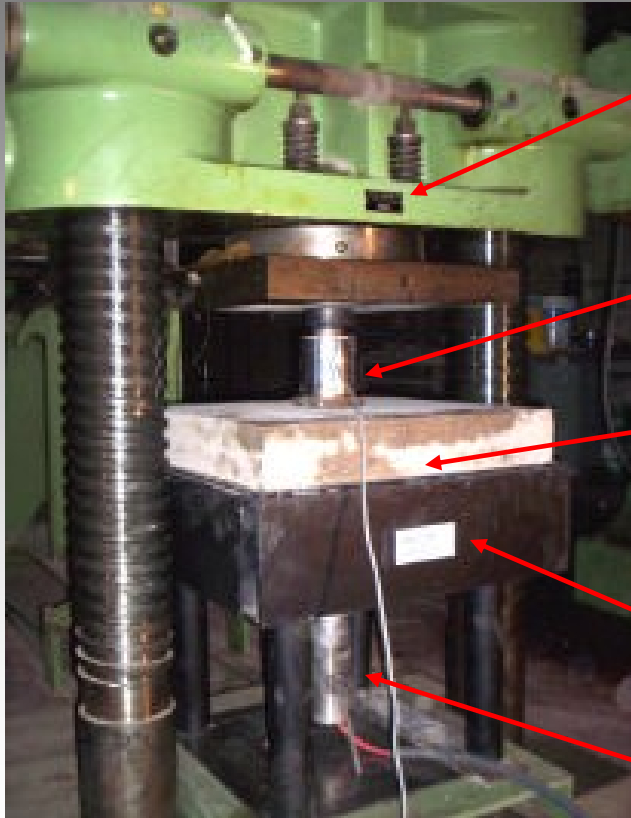
ENSAYO DE PANEL CUADRADO SEGUN EN 14488-5



HORMIGÓN PROYECTADO REFORZADO CON FIBRAS

ENSAYO DE PANEL CUADRADO SEGUN EN 14488-5





Prensa de aplicación de carga

Celda de carga

Placa de H° con fibras

Marco metálico de apoyo

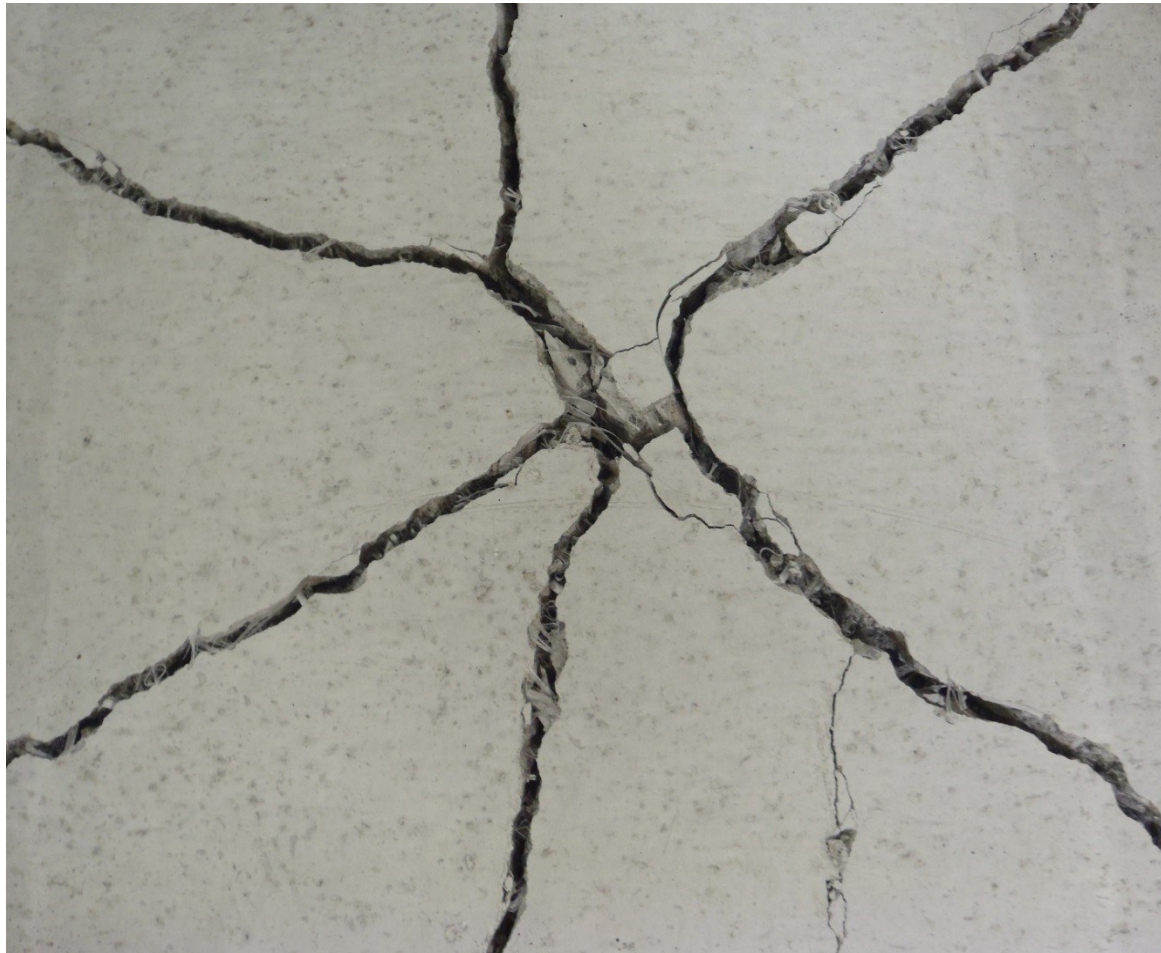
Registrador de deflexión



Placa deformada bajo carga

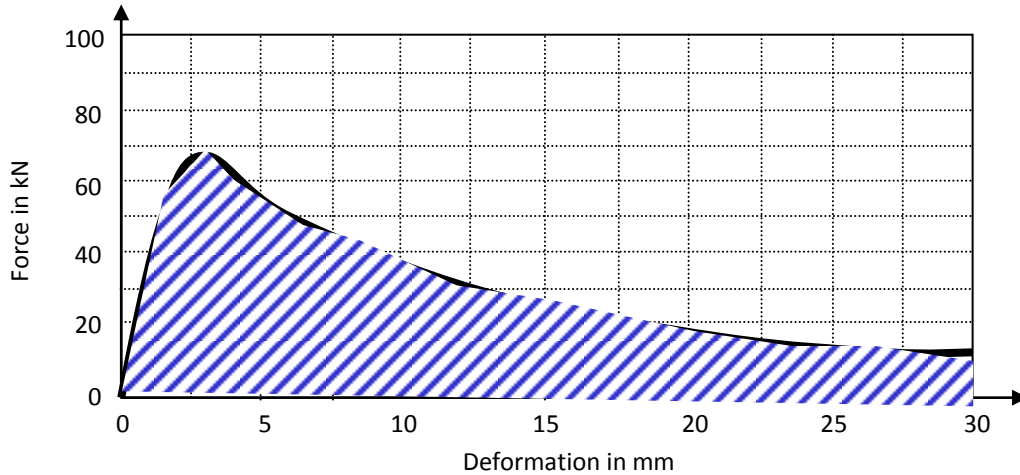
HORMIGÓN PROYECTADO REFORZADO CON FIBRAS

ENSAYO EN 14488-5 DISTRIBUCION DE FISURAS CARA INFERIOR



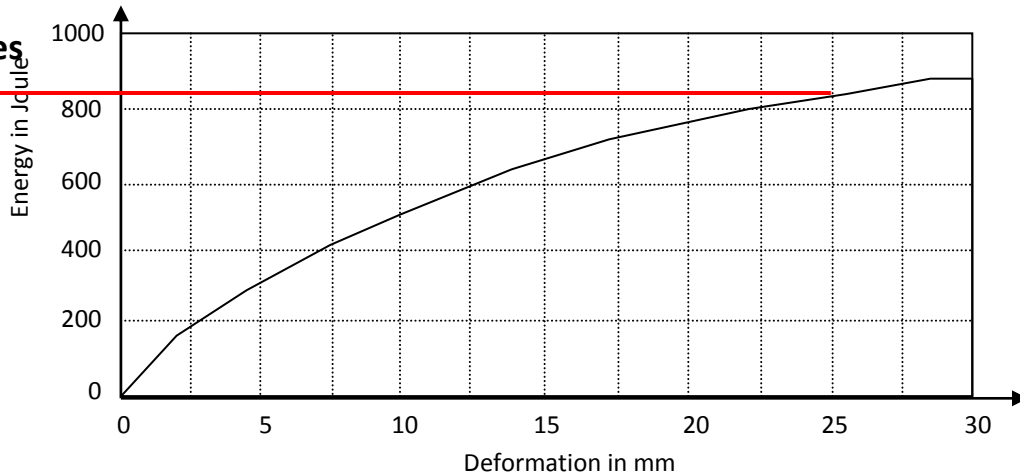
HORMIGÓN PROYECTADO REFORZADO CON FIBRAS

ENSAYO DE PANEL CUADRADO SEGUN EN 14488-5



$$\int_{w=0}^w F dw$$

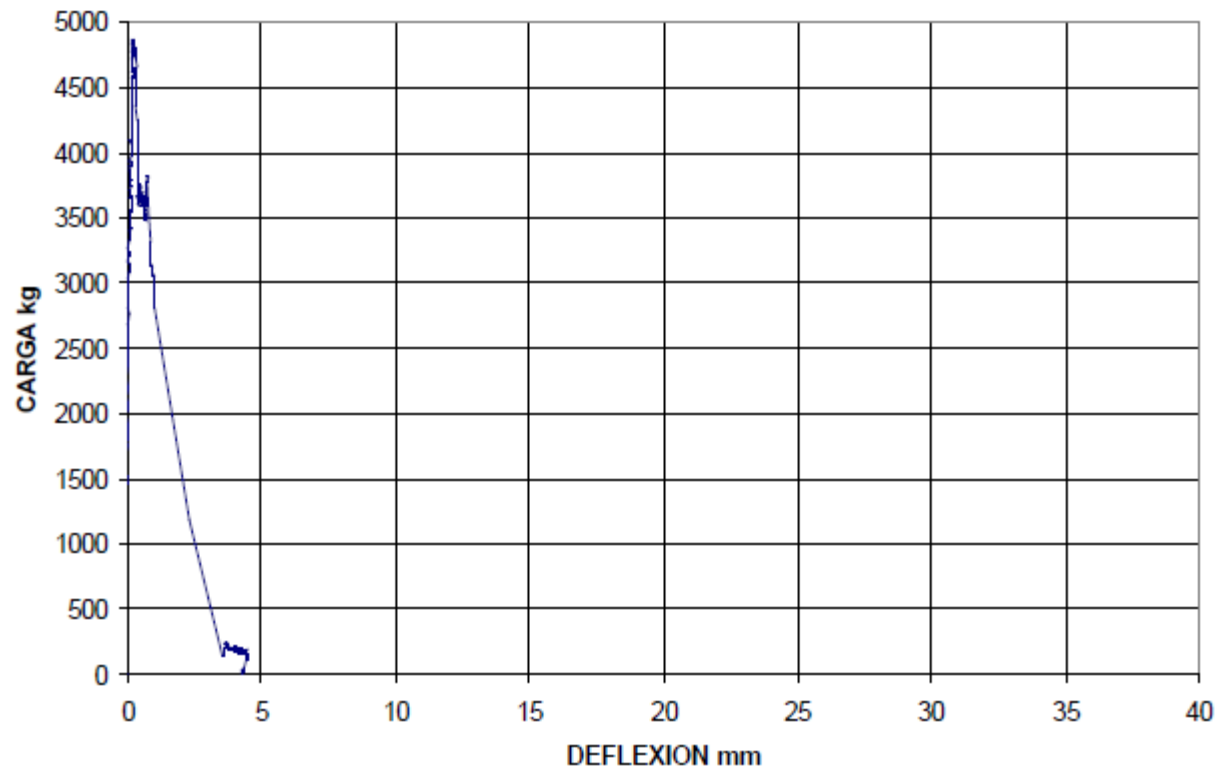
Ca. 850 Joules



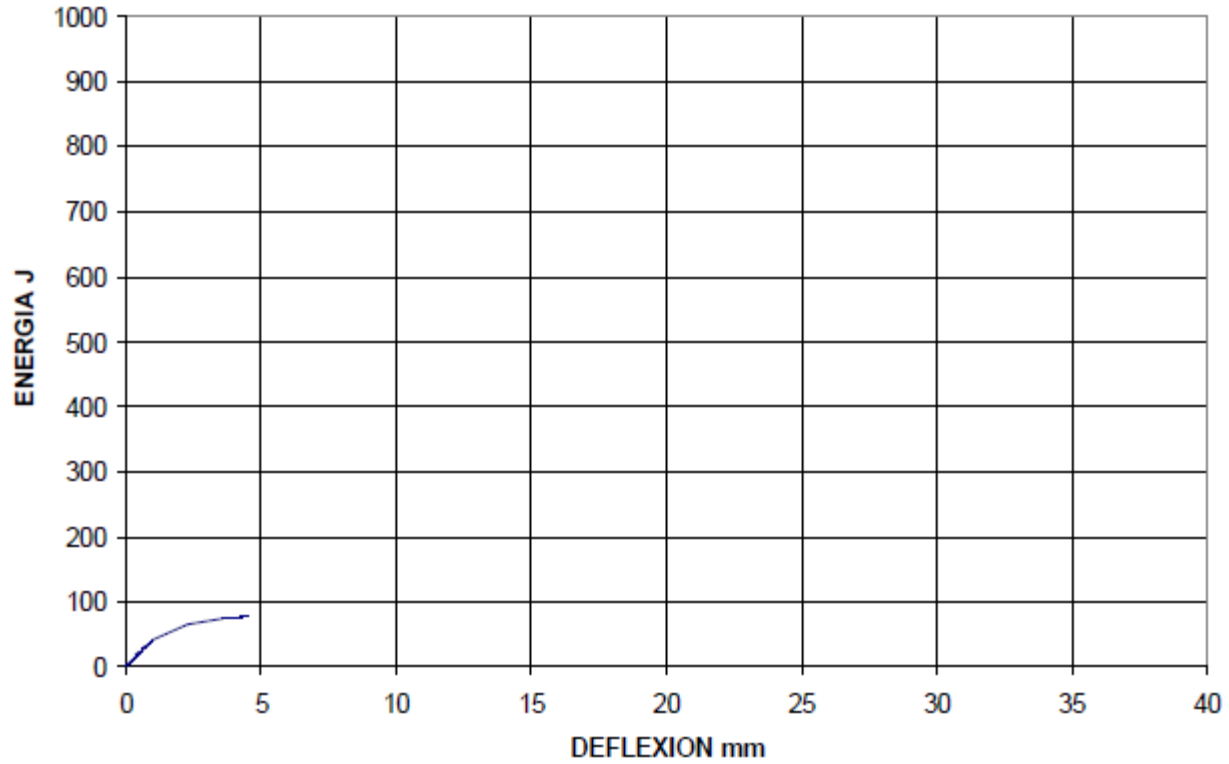
1 Joule = 1Nm

RESULTADOS DE ENSAYO

CARGA - DEFLEXIÓN - SIN FIBRA LIM 7398



ENERGÍA - DELEXIÓN - SIN FIBRA 7398



fibra: SIN FIBRA		
EDAD DE ENSAYO 139 DIAS		
E25 (J)	74,3	74,3

Qmax (kN) fQmax (mm)	48,7	48,7
	0,2	
	---	0,2

Q25 (kN)	---	---

Referencias:

E25 (J) : Energia absorbida hasta deflexión de 25 mm en Joules.

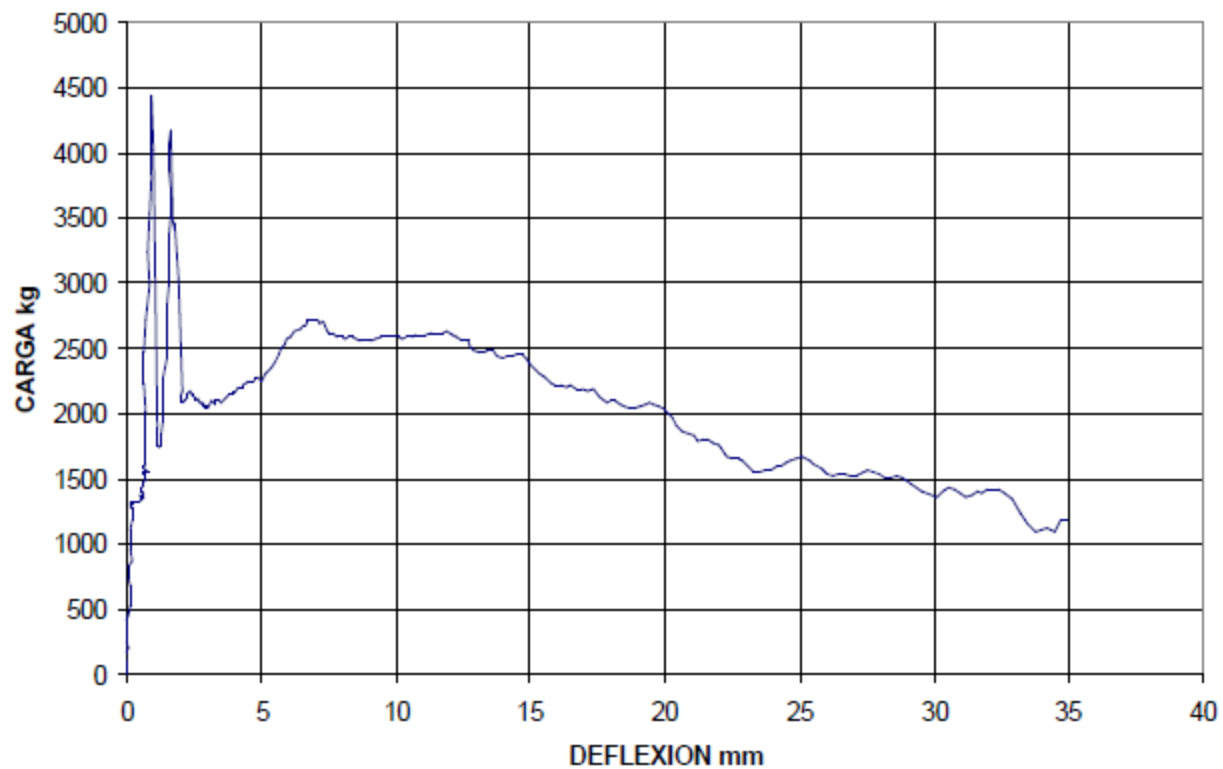
Qmax (kN) : Carga máxima (pico máximo).

fQmax (mm): defexión correspondiente a Qmax.

Q25 (kN): Carga para deflexión de 25 mm.

RESULTADOS DE ENSAYO

CARGA - DEFLEXIÓN - MS(NU) LIM 7242-3



ENERGÍA - DEFLEXIÓN - MS(NU) LIM 7242-3

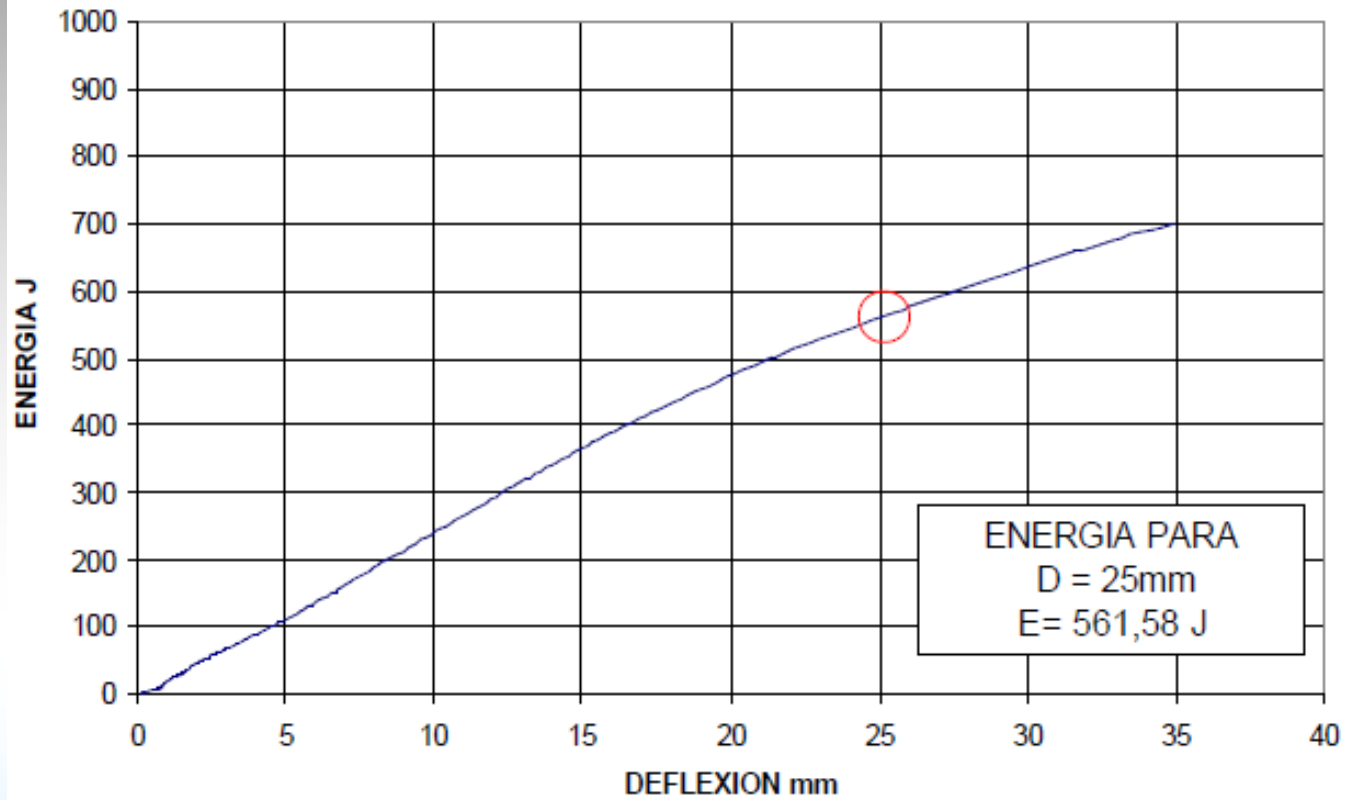


TABLA DE PARAMETROS Y RESULTADOS DE ENSAYO

fibra: ENDURO		
EDAD DE ENSAYO 28 DIAS		
E25 (J)	598,4	701,7
	790,7	
	715,9	
Qmax (kN) fQmax (mm)	48,4	47,2
	0,7	
	47,6	1,1
	0,7	
Q25 (kN)	45,6	18,3
	2,0	
	14,2	
	21,3	
	19,6	

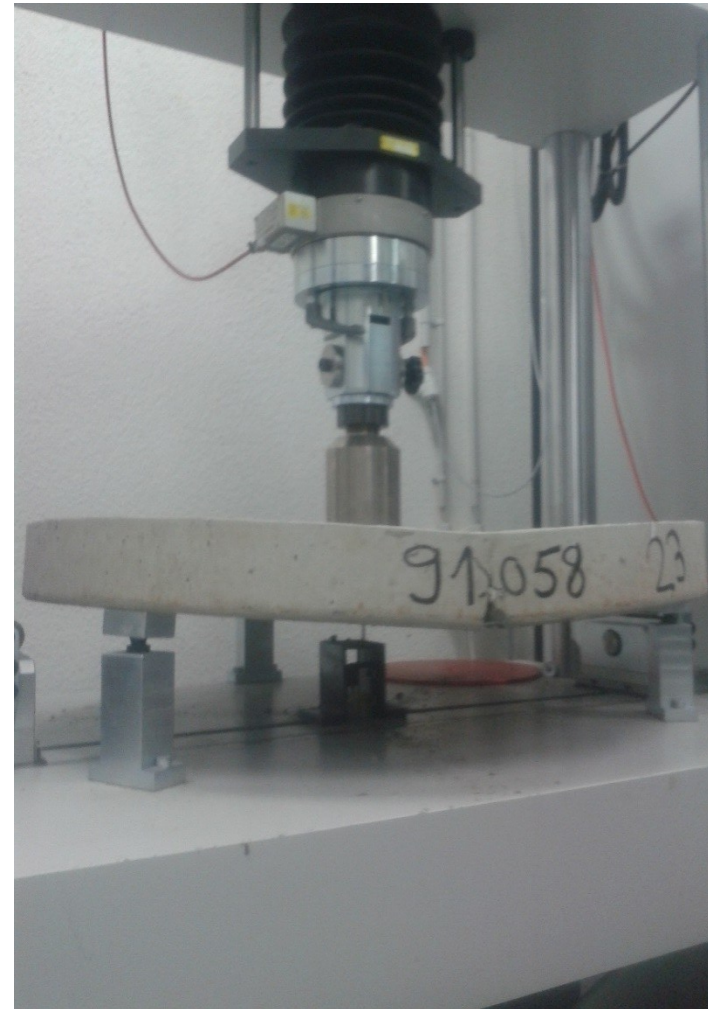
fibra: MS(AN)		
EDAD DE ENSAYO 28 DIAS		
E25 (J)	473,3	559,5
	691,2	
	514,0	
Qmax (kN) fQmax (mm)	40,6	44,6
	1,3	
	48,4	0,8
	0,2	
Q25 (kN)	44,9	16,9
	0,7	
	13,6	
	19,3	
	17,7	

fibra: MET-CHO		
EDAD DE ENSAYO 28 DIAS		
E25 (J)	657,1	784,4
	908,2	
	787,8	
Qmax (kN) fQmax (mm)	43,2	50,1
	0,7	
	57,0	2,9
	5,5	
Q25 (kN)	50,1	21,0
	2,4	
	15,2	
	21,7	
	26,1	

fibra: MS(NU)		
EDAD DE ENSAYO 28 DIAS		
E25 (J)	471,7	524,9
	541,5	
	561,6	
Qmax (kN) fQmax (mm)	36,3	41,0
	1,5	
	42,2	0,9
	0,2	
Q25 (kN)	44,4	15,7
	0,9	
	14,6	
	15,7	
	16,7	

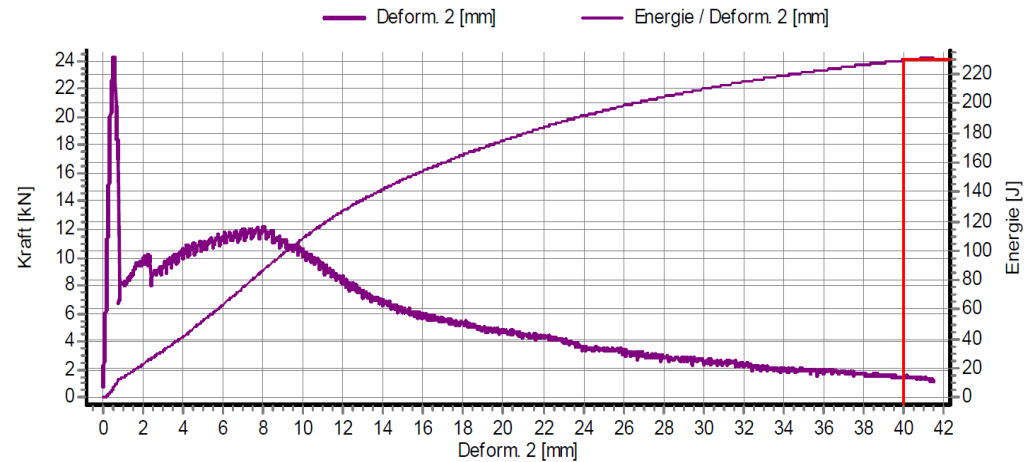
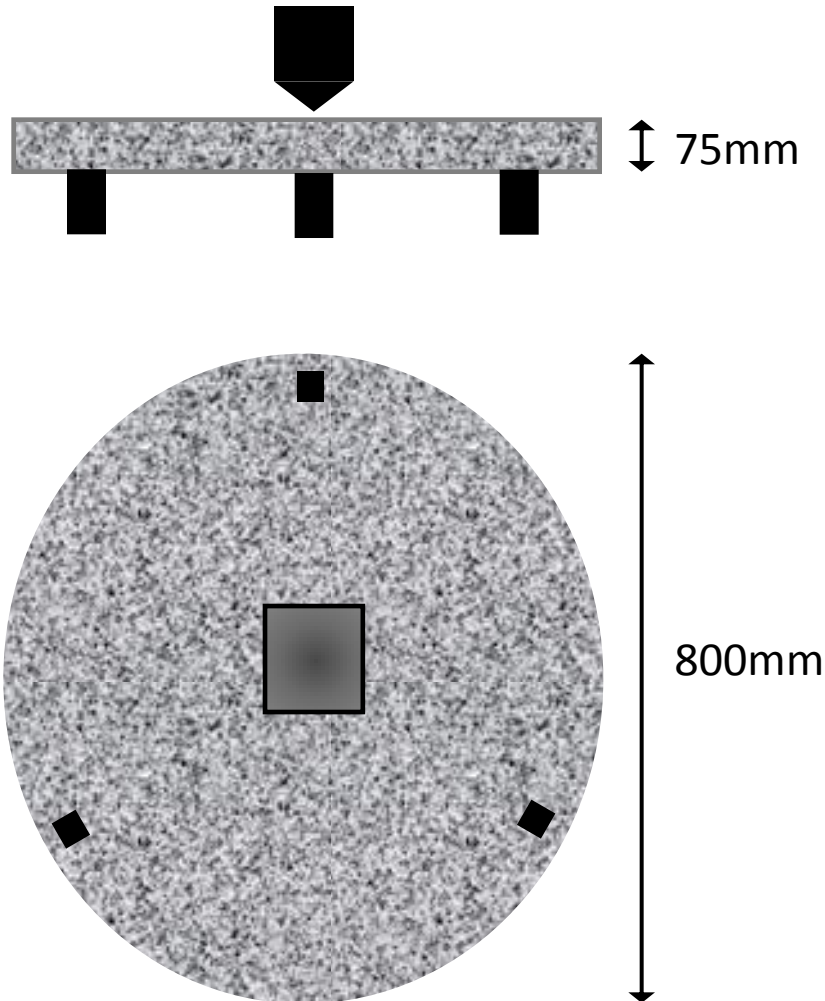
HORMIGÓN PROYECTADO REFORZADO CON FIBRAS

ENSAYO DE PANEL CIRCULAR ASTM C-1550



HORMIGÓN PROYECTADO REFORZADO CON FIBRAS

ENSAYO DE PANEL CIRCULAR ASTM C-1550



HORMIGÓN PROYECTADO REFORZADO CON FIBRAS

ENSAYO PANEL CIRCULAR ASTM C-1550



HORMIGÓN PROYECTADO REFORZADO CON FIBRAS EFNARC VS ASTM

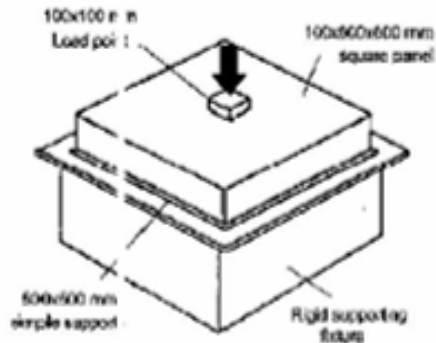


Figure 8. EFNARC panel test [7].

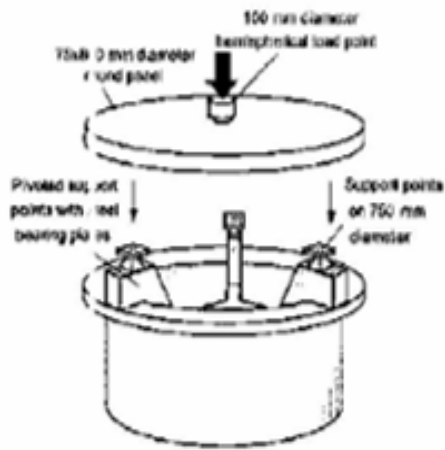
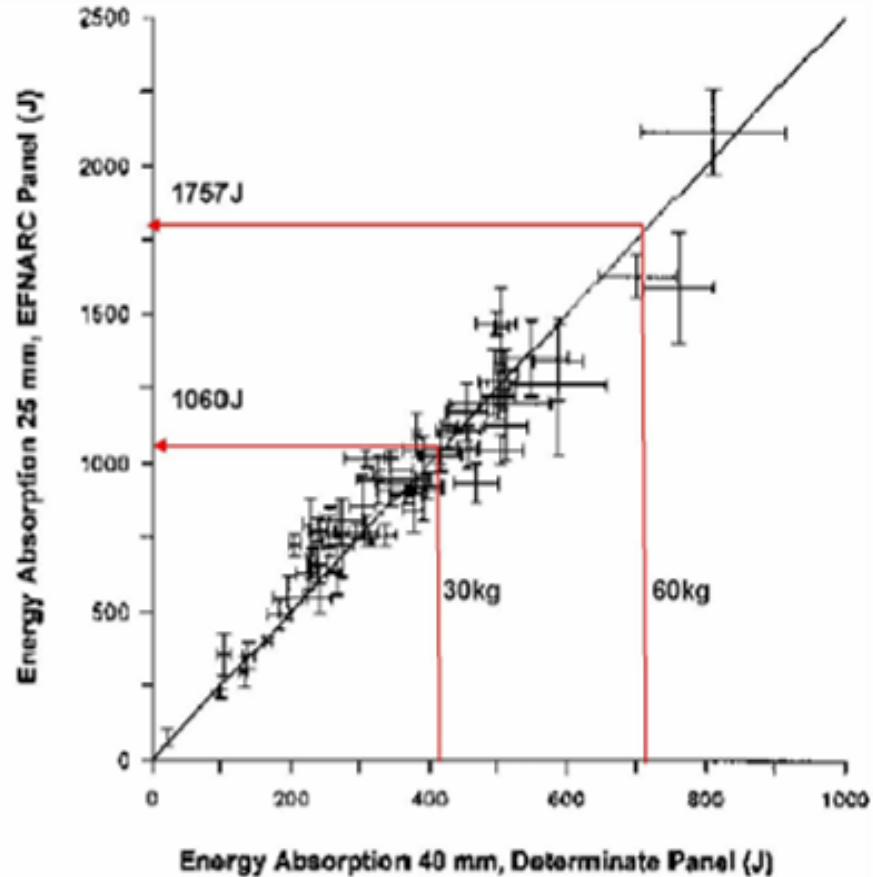


Figure 10 Round determinate panel test.



ESTUDIO COMPATIVO ENTRE MALLA DE ACERO Y MACROFIBRAS

APLICACION DE MACROFIBRAS AL HORMIGÓN PROYECTADO

DOS OBJETIVOS:

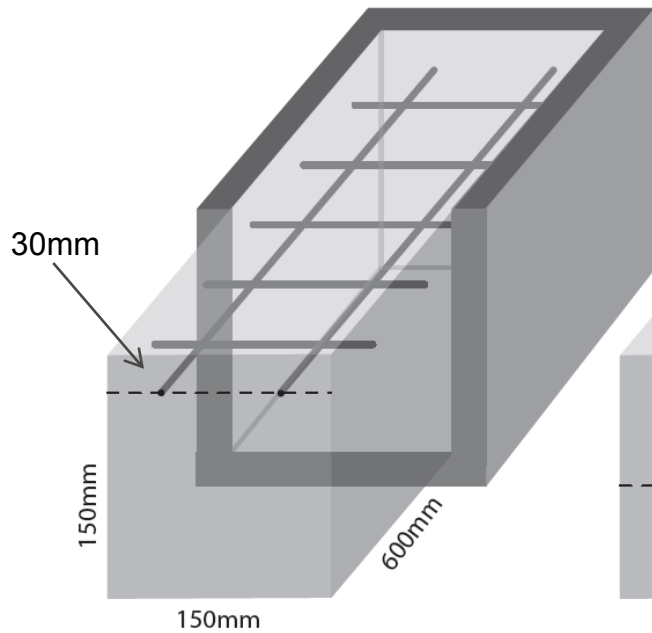


- **Sustituir la malla de acero por Macro fibras Sintéticas en hormigón Proyectado**
- **Sustituir Macro fibras de acero por Macro fibras sintéticas**

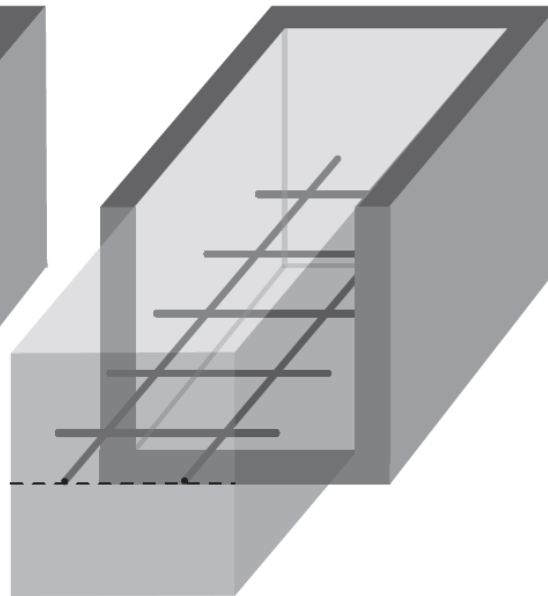
HORMIGÓN PROYECTADO REFORZADO CON FIBRAS

COMPARATIVA MALLA DE ACERO VS FIBRAS

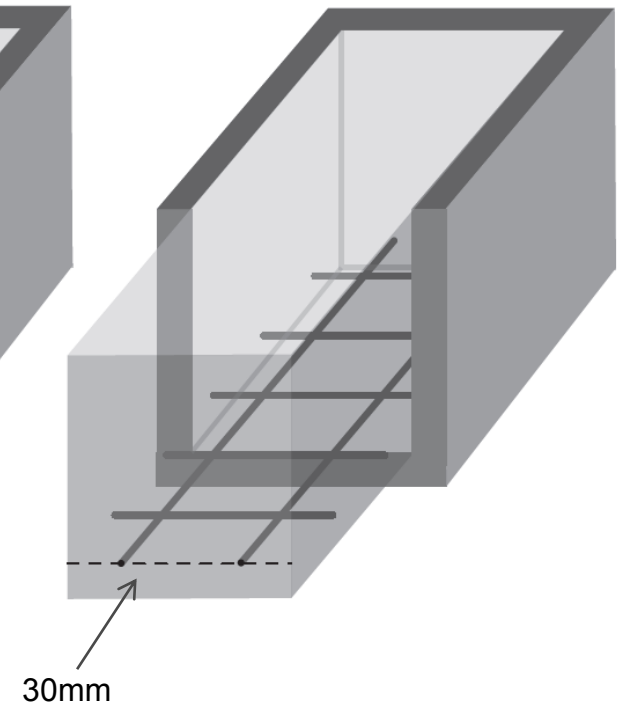
«Mesh-Up»



«Mesh-Middle»

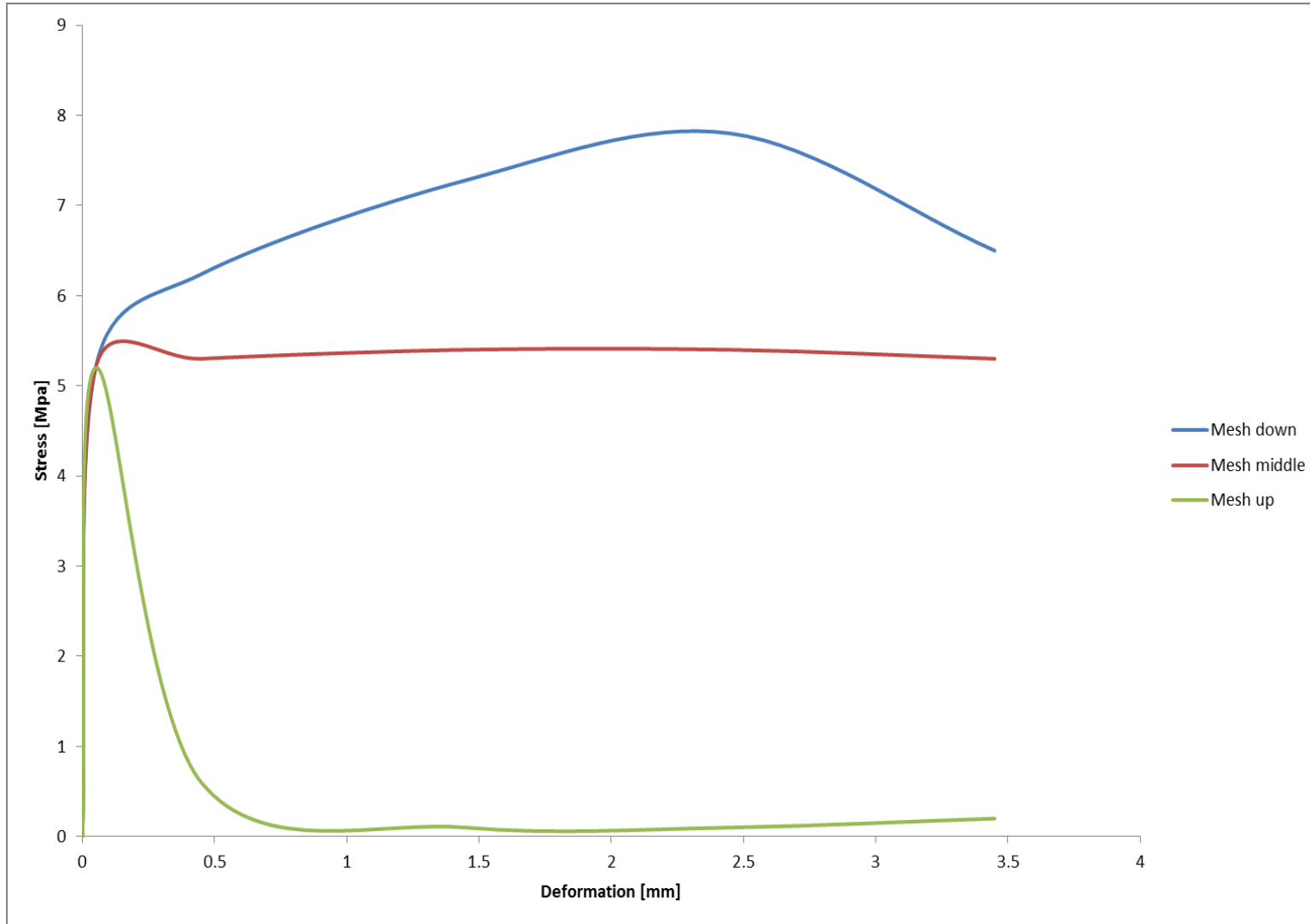


«Mesh-Down»



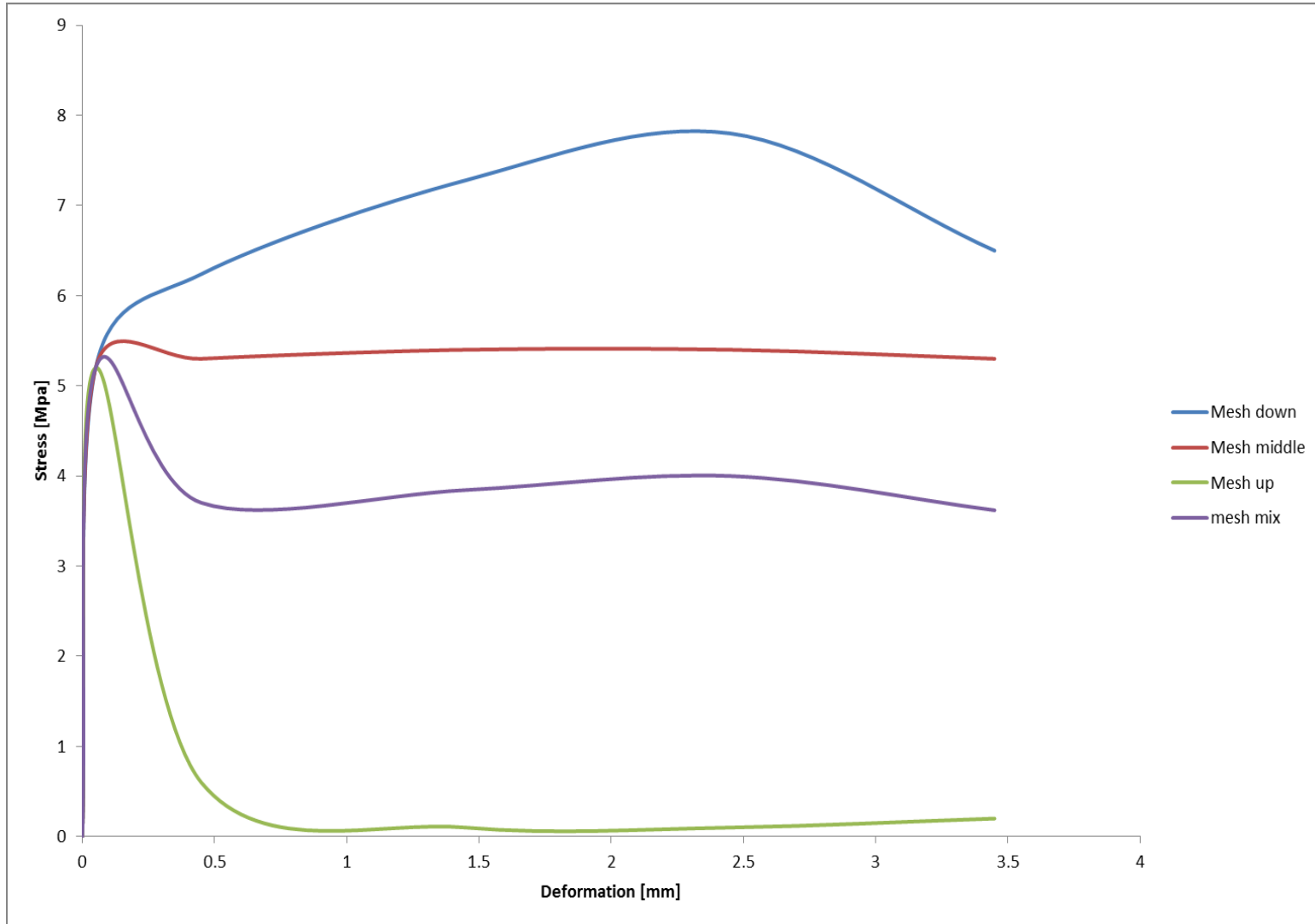
HORMIGÓN PROYECTADO REFORZADO CON FIBRAS

COMPARATIVA MALLA DE ACERO VS FIBRAS



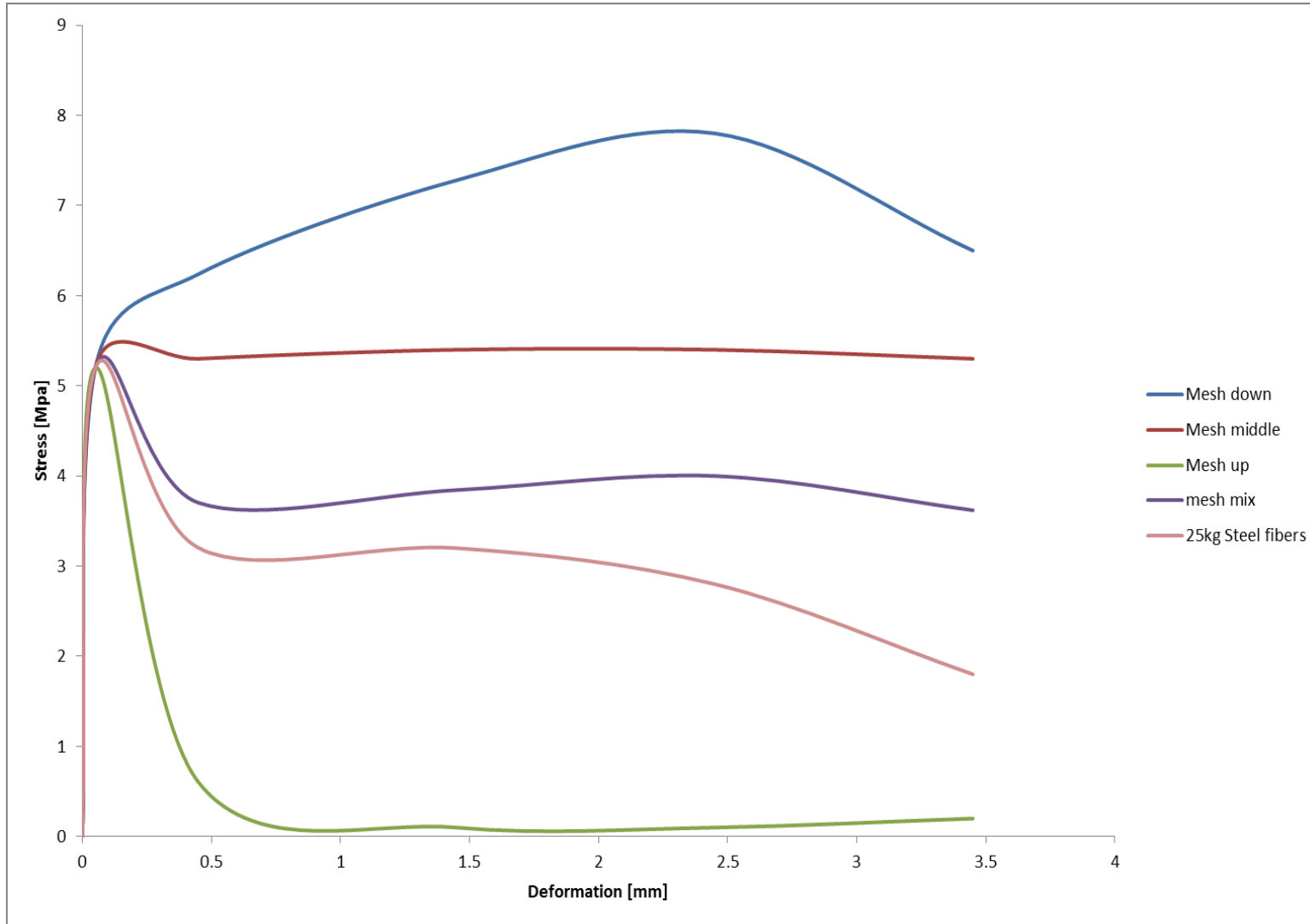
HORMIGÓN PROYECTADO REFORZADO CON FIBRAS

COMPARATIVA MALLA DE ACERO VS FIBRAS



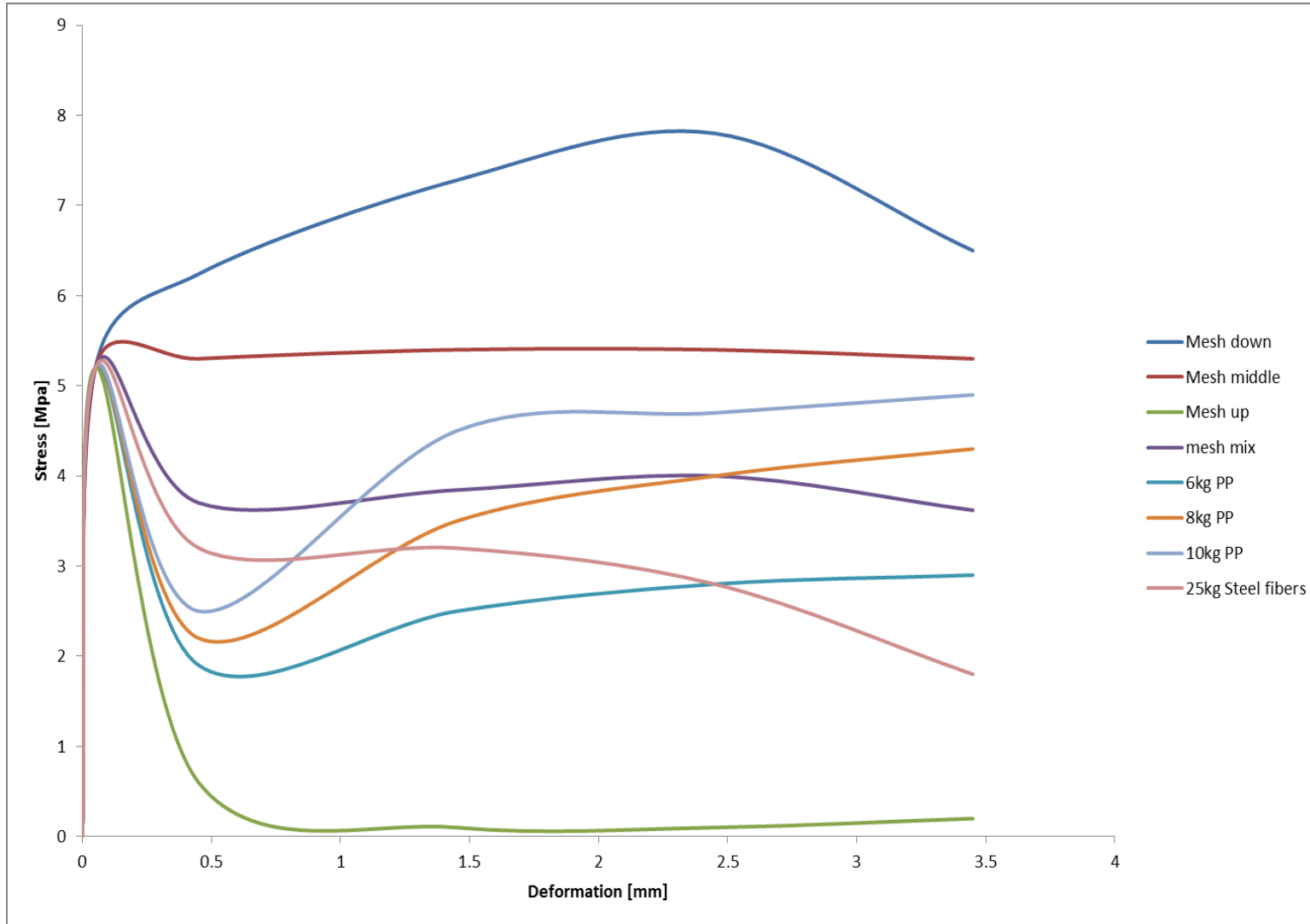
HORMIGÓN PROYECTADO REFORZADO CON FIBRAS

COMPARATIVA MALLA DE ACERO VS FIBRAS

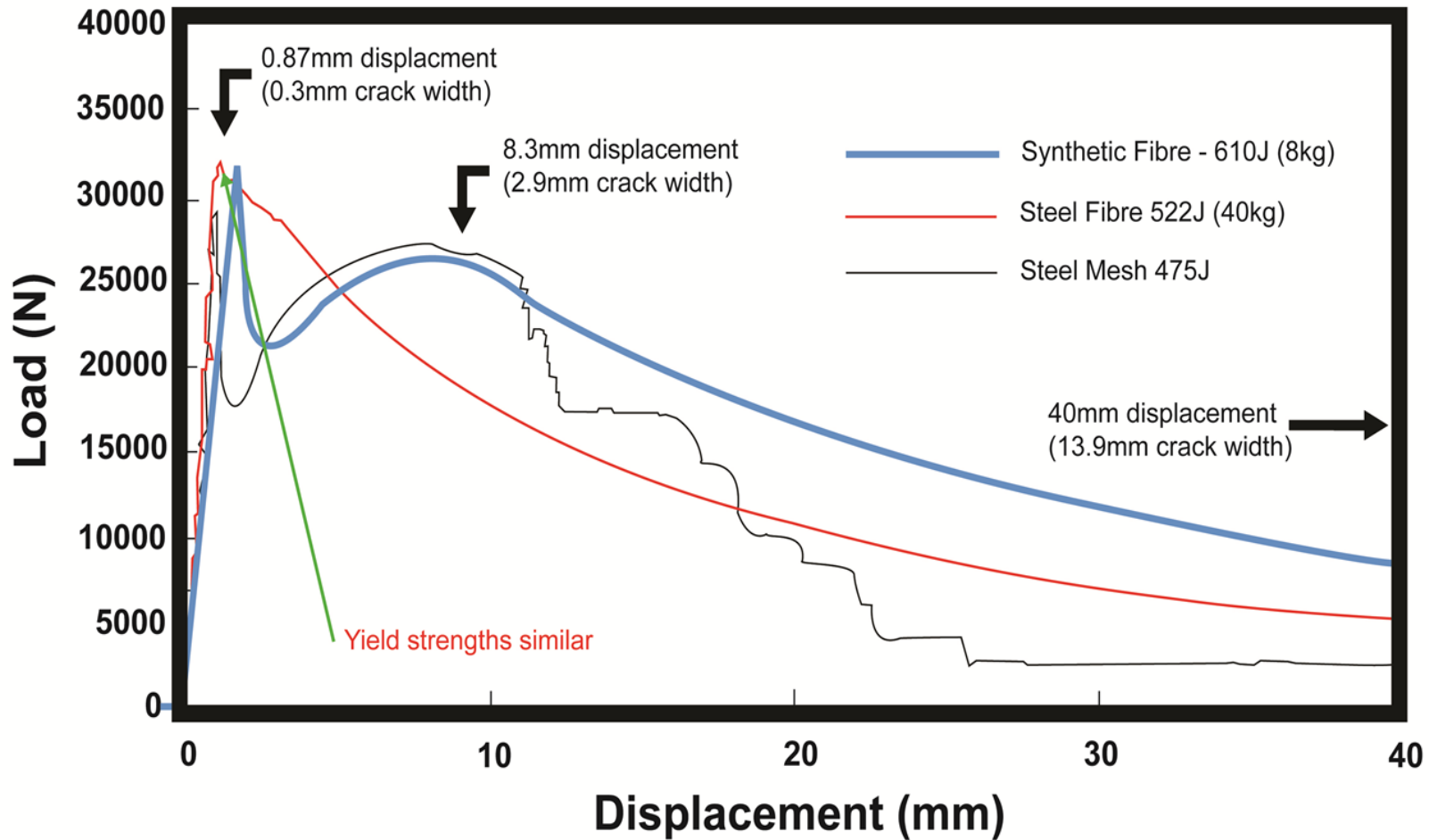


HORMIGÓN PROYECTADO REFORZADO CON FIBRAS

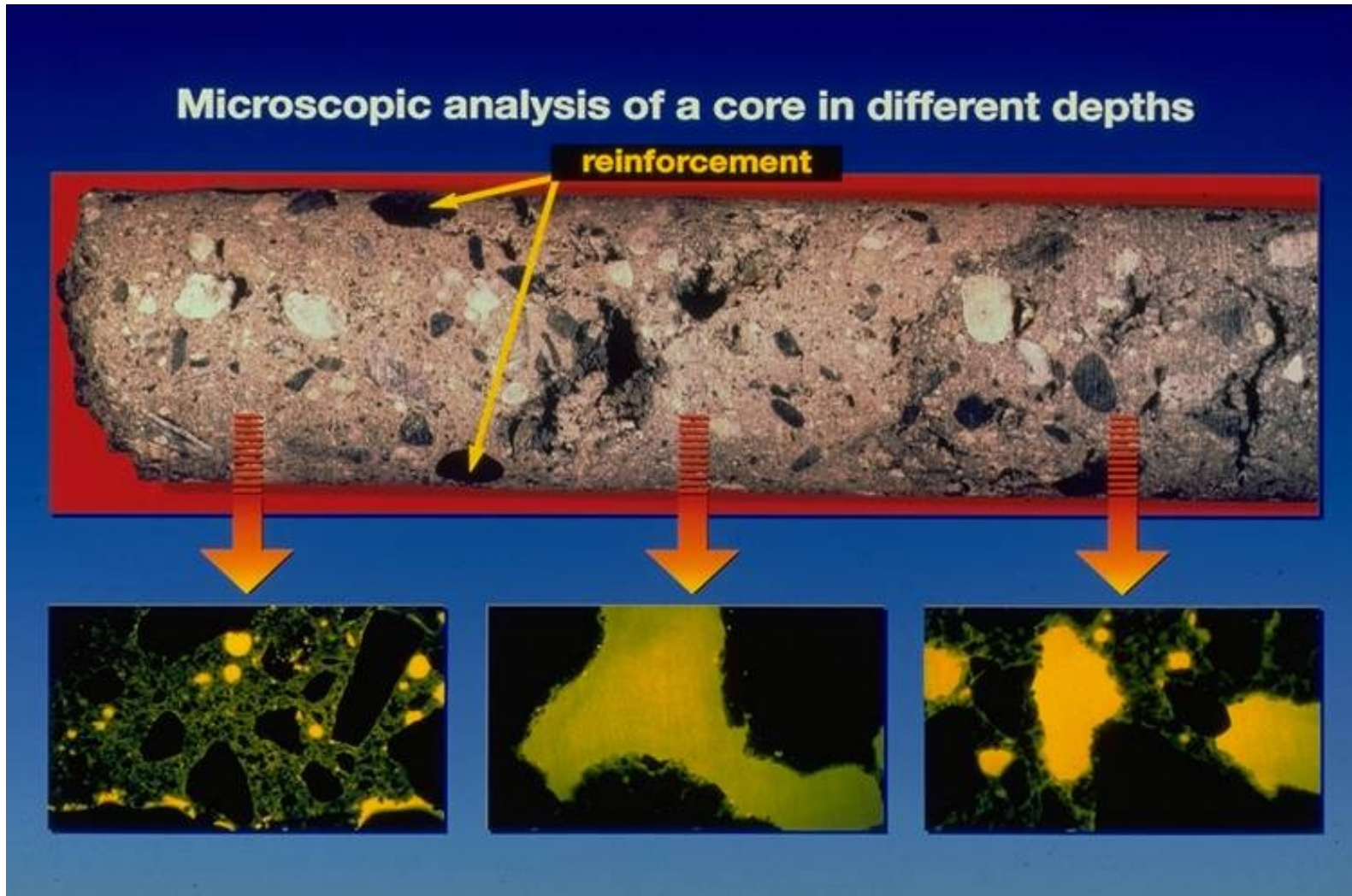
COMPARATIVA MALLA DE ACERO VS FIBRAS



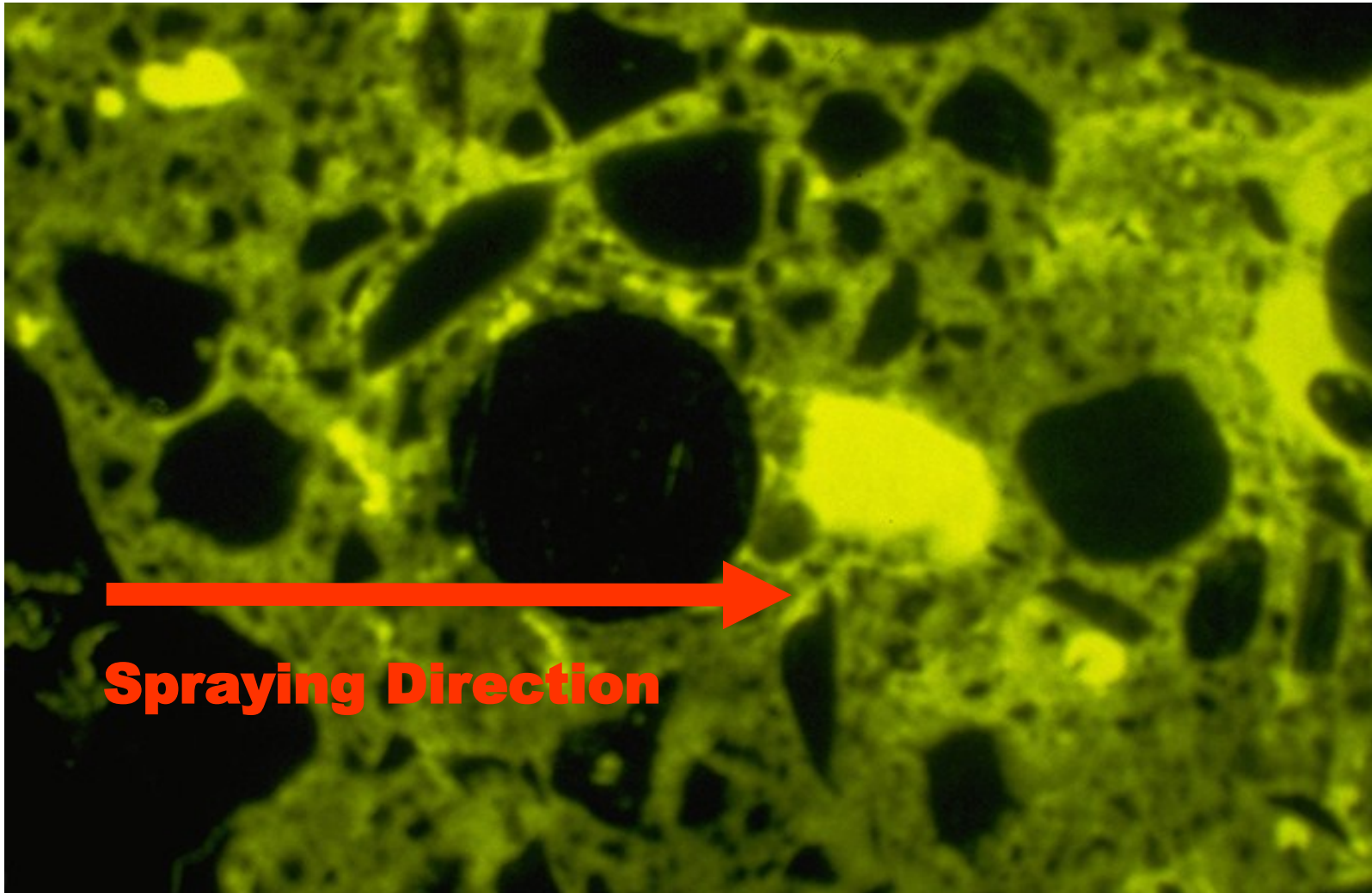
COMO SUSTITUIR MALLA DE ACERO POR FIBRAS EN PROYECTADO



HORMIGÓN PROYECTADO REFORZADO CON FIBRAS PROBLEMAS AL PROYECTAR CONTRA MALLAS DE ACERO



HORMIGÓN PROYECTADO REFORZADO CON FIBRAS PROBLEMAS AL PROYECTAR CONTRA MALLAS DE ACERO



PROBLEMAS CON LA MALLA DE ACERO



HORMIGÓN PROYECTADO REFORZADO CON FIBRAS

COMPARATIVA MALLA DE ACERO VS FIBRAS

Malla de acero



Fibras



APLICACIONES SHOTCRETE

Malla de Acero

- Rebote de hormigón
- Sombras detrás de la malla
- Sobre espesor de hormigón
- Dificultad de instalación
- Puntos en contacto con el terreno

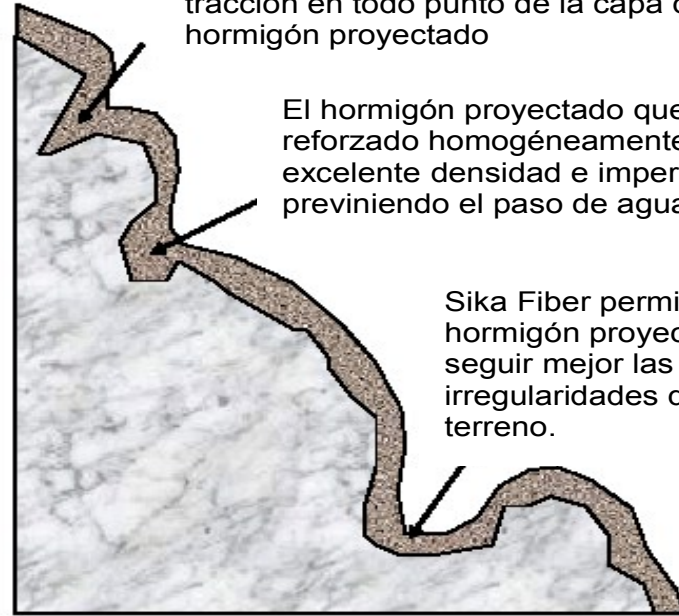


Fibra de Acero Sika Fiber

Sika Fiber a tracción en todo punto de la capa de hormigón proyectado

El hormigón proyectado queda reforzado homogéneamente con excelente densidad e impermeabilidad previniendo el paso de agua.

Sika Fiber permite al hormigón proyectado seguir mejor las irregularidades del terreno.



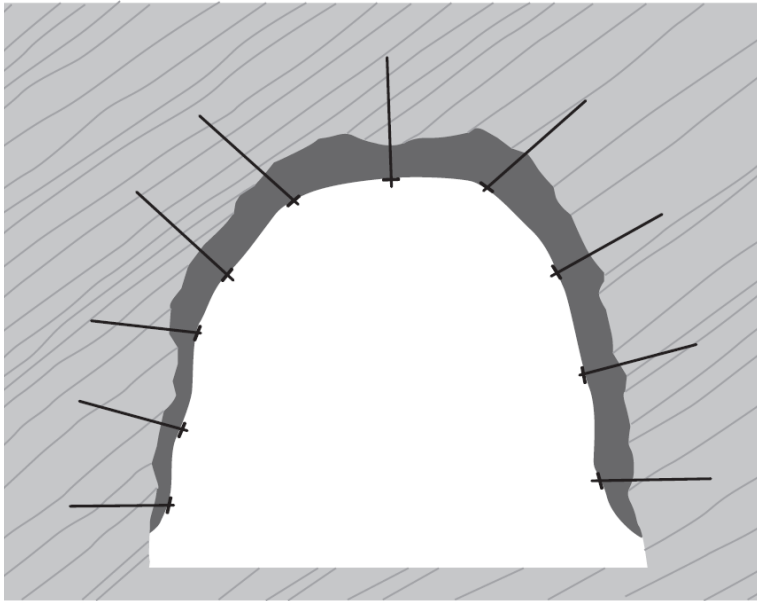
Ventajas

▲ Mayor ductilidad

▲ Mayor absorción de energía

▲ Control de grietas

COMO SUSTITUIR LA MALLA DE ACERO POR FIBRAS EN PROYECTADO VENTAJAS – APLICACION



Aplicacion

- Las fibras **reducen los descuelgues y el rebote** al tiempo que son seguras en el uso y manejo
- Se emplea **menos proyectado/menor costo**
- **Menos tiempo colocando el hormigón.**
- Las fibras se pueden (y deben) adicionar en la planta de elaboración del hormigón.

SUSTITUIR FIBRAS METALICAS POR SINTETICAS

ARGUMENTOS

- El argumento principal para la sustitucion es la **comparativa en costos**.
- En aplicaciones con **gran deformacion** (ej. Proyectoado, como sostenimiento en un túnel) las fibras plásticas presentan **mayor rendimiento que las de acero**.
- Se deben **realizar ensayos** de panel para comprobar que se alcanzan los
- **requerimientos** del Proyecto en **Absorción de Energía**.
- Al emplear **laminas de impermeabilizacion** y colocar H. Proyectoado sobre ellas las **fibras sintéticas no perforan las membranas** **mayor facilidad de ejecucion** y **reduccion de costos**.

HORMIGÓN PROYECTADO REFORZADO CON FIBRAS

CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA

Fibras de Acero

- Concretos con menos de 25kg/m³ generalmente no necesitan ninguna modificación de la mezcla.
- Cada +5kg/m³ adicionales desde los 25kg demandan un **incremento** de la cantidad de finos < 4mm del +1% sobre el total de masa de los áridos.
- Hormigones muy fluidos (HAC) necesitan una **estabilización adicional** debido al riesgo de segregación al emplear tanto fibras de acero como poliméricas.
- En general, se debe seleccionar la **fibra mas larga posible** para reducir el riesgo de atresques en las líneas de bombeo.
- longitud mínima de las fibras = 3 x T. máximo árido con la idea de reducir la propagación de las fisuras por la matriz cementicia.

HORMIGÓN PROYECTADO REFORZADO CON FIBRAS

CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA

PP Macro Fibras:

- La geometría de las PP Macro Fibras tiene un impacto importante en la reología del hormigón.
- No es necesario modificar la mezcla con dosificaciones de hasta **4kg/m³** .
- Cada **+1kg/m³** adicional desde los 4kg se debería aumentar la cantidad de los finos < 4mm con **+1%** del total de la masa de los áridos.

CONSIDERACIONES GENERALES

- Durante los ensayos se observó, que al finalizar los mismos, **las fibras mantenían la integridad de toda la probeta** sin producirse la separación de los fragmentos delimitados por la fisuración
- El hormigón sin fibra, al alcanzar la carga final, colapsa en forma total.

- Los resultados de **tenacidad** obtenidos del ensayo muestran claramente la influencia de las **fibras en la capacidad de absorber energía en el período post pico.**

- **Los valores de resistencia no se ven modificados en gran medida,** como si se observa en la Tenacidad que aumenta considerablemente en los hormigones con la incorporación de fibras.

CONSIDERACIONES GENERALES

- Las Macro fibras otorgan un refuerzo **tridimensional** que mejora la **resistencia residual Post pico** y mantiene la capacidad de transferir esfuerzos a medida que se deforma.
- **Las Macrofibras actúan luego de la fisuración**, controlando el **ancho de las** mismas, no aumenta la resistencia a compresión o flexión porque primero falla la matriz cementicea.
- Elevados contenidos de fibras pueden afectar la trababilidad de los hormigones, debiendo contemplarse la posibilidad de **aumentar la cantidad de finos** y la utilización de un **super plastificante** para aumentar la fluidez sin segregación.

GRACIAS POR SU ATENCION

BUILDING TRUST



Utilización de Macrofibras en Hormigón Proyectado



Ing. Leonardo Checmarew
Sika Argentina S.A.I.C

HORMIGÓN PROYECTADO REFORZADO CON FIBRAS

BOMBEO DE LA MEZCLA

General

Los bloqueos o atranques se producen generalmente por:

- Presion de bombeo muy elevada – Segregacion
- Reducciones de paso en la linea – 1 pulgada de reducci3n eleva la presion de bombeo al doble
- Fibras cortas – Rotan y se producen bloqueos
- Mangueras de goma – Alta friccion con el hormig3n
- Mangueras de goma vs Mangueras metalicas = Eleva hasta el triple la friccion
- Viscosidad del hormig3n es el par3metro clave, m3s a3n que la consistencia

HORMIGÓN PROYECTADO REFORZADO CON FIBRAS

COMENTARIOS PRACTICOS.



De cara a los ensayos de campo:

- Propuesta de Mezcla
- Revisar la influencia de las fibras en la consistencia, viscosidad y trabajabilidad.
- El hormigón con las fibras debe ser bombeado y debe atravesar la rejilla de la tolva de alimentación en el robot!! (EFNARC)
llenar la tolva menos 10 cm.

HORMIGÓN PROYECTADO REFORZADO CON FIBRAS

COMENTARIOS PRACTICOS II



De cara a los ensayos de campo:

- Proyectar en Angulo recto 90°
- Fijar la distancia de proyeccion (1,5 – 2,0 m)
- Fijar y numerar los paneles para control posterior