

Seminario 12

Refuerzo de estructuras con materiales compuestos

Confinamiento de pilares

Madrid, 27 de mayo de 2013

Ana de Diego Villalón. Ingeniero de Caminos. IETcc-CSIC

Angel Arteaga Iriarte. Dr. Ingeniero de Caminos. IETcc-CSIC

Daniel Cisneros Quero. Ingeniero Industrial. IETcc-CSIC



- 1. INTRODUCCIÓN**
- 2. COMPORTAMIENTO DEL HORMIGÓN CONFINADO CON FRP**
 - **Curvas tensión-deformación**
 - **Resistencia y deformación última del hormigón**
- 3. PRESIÓN DE CONFINAMIENTO (Secciones circulares/rectangulares)**
- 4. DEFORMACIÓN ÚLTIMA EFECTIVA DEL FRP**
- 5. GUÍAS DE CÁLCULO EXISTENTES**
- 6. APLICACIÓN DEL REFUERZO**
- 7. CONCLUSIONES**

CONFINAMIENTO

- Coacción parcial de la expansión en las direcciones ortogonales a la directriz de la pieza comprimida.
- Mejora la resistencia y ductilidad
- Puede conseguirse con una adecuada cuantía de armadura transversal
- Confinamiento con FRP: refuerzo exterior envolviendo el pilar con FRP (fibra a 0°)
- Primeras aplicaciones en zonas sísmicas
- En este trabajo: Incremento capacidad carga axial de hormigón en compresión centrada

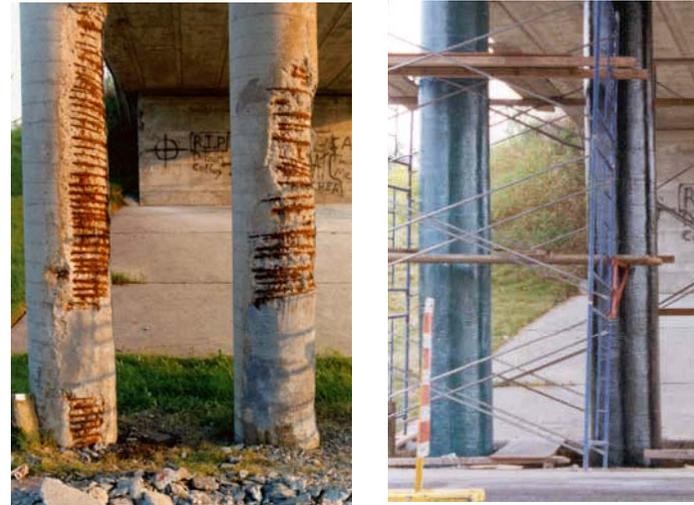


TECNICAS DE REFUERZO TRADICIONALES:



- ✓ Dificultad de ejecución
- ✓ Tiempo interrupción servicio elevado
- ✓ Incremento de la sección
- ✓ Incremento de peso propio
- ✓ Susceptible al deterioro (corrosión)

REFUERZO CON FRP:



- ✓ No aumenta el peso propio
- ✓ Misma superficie y altura libre
- ✓ Fácil de ocultar
- ✓ Fácil y rápido de colocación
- ✓ Mín. interrupciones en el servicio
- ✓ Resistencia a la corrosión

1. INTRODUCCIÓN
2. **COMPORTAMIENTO DEL HORMIGÓN CONFINADO CON FRP**
 - **Curvas tensión-deformación**
 - **Resistencia y deformación última del hormigón**
3. PRESIÓN DE CONFINAMIENTO (Secciones circulares/rectangulares)
4. DEFORMACIÓN ÚLTIMA EFECTIVA DEL FRP
5. GUÍAS DE CÁLCULO EXISTENTES
6. APLICACIÓN DEL REFUERZO
7. CONCLUSIONES

2. Comportamiento del hormigón confinado con FRP

- ❑ Refuerzo con FRP basado en el confinamiento: la camisa de FRP que se opone a la expansión lateral del hormigón sometido a compresión axial, aplicando sobre él una **presión de confinamiento** que mejora su resistencia a compresión y deformación última
- ❑ El refuerzo de FRP no tienen resistencia a compresión, sino que mediante la acción de confinamiento **mejora las propiedades resistentes del hormigón**.
- ❑ El **confinamiento con acero** ha sido objeto de múltiples investigaciones y existen modelos adecuados

$$f_{cc} = f_{co} + k_1 \cdot f_l$$

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} + k_2 \frac{f_l}{f_{co}}$$

(Richart et al. 1928, 1929)

f_{cc} y ε_{cc} : resistencia y deformación axial última del hormigón confinado

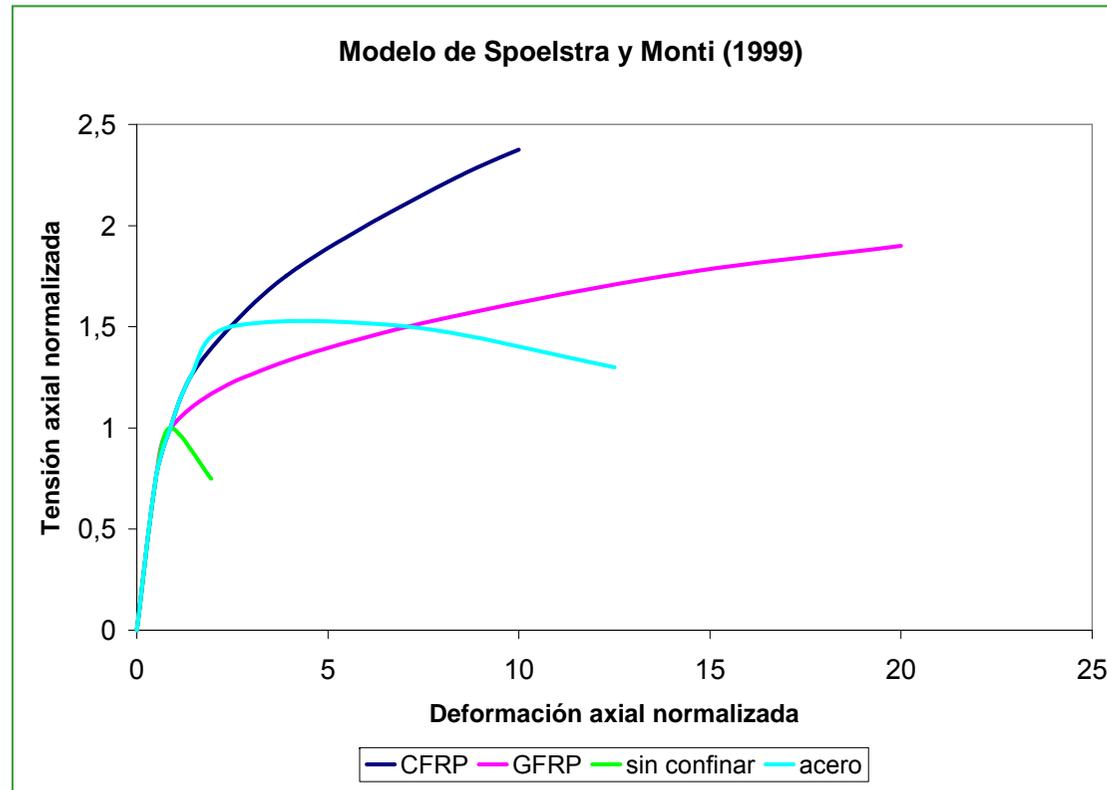
f_{co} y ε_{co} : resistencia y deformación axial última del hormigón sin confinar

f_l : presión de confinamiento

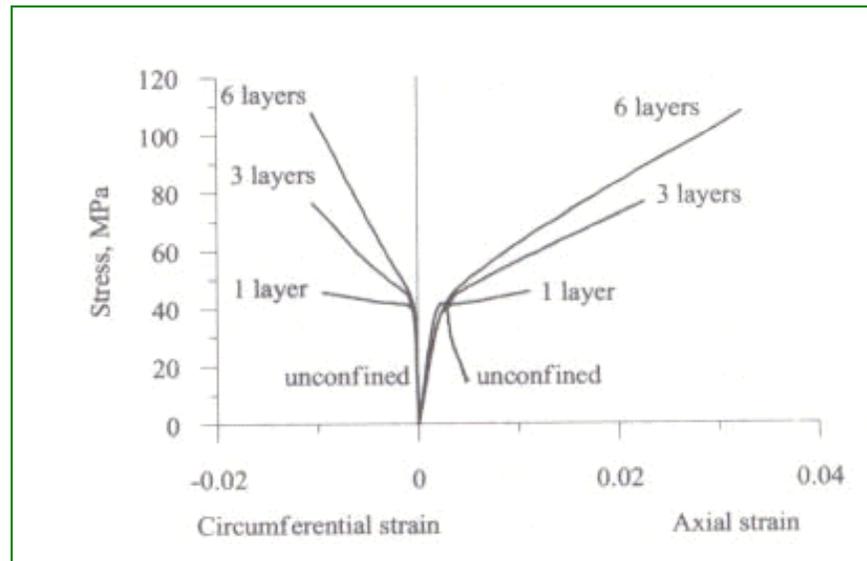
k_1 y k_2 : coeficientes de efectividad del confinamiento

- Fardis y Khalili (1981): **confinamiento con FRP**
- **Confinamiento con acero \neq Confinamiento con FRP:** el acero plastificado ejerce presión de confinamiento constante, mientras que con el FRP la presión se incrementa con la expansión lateral del hormigón
- La acción de confinamiento depende de la expansión del hormigón, que a su vez depende de la presión de confinamiento aplicada, y los modelos predictivos deben tener en cuenta esta interacción entre la expansión del hormigón y el mecanismo confinante.
- En los últimos años se están proponiendo diferentes modelos que consideran el comportamiento específico del FRP, casi todos empíricos. Obtienen el incremento de resistencia y deformación en función de la presión de confinamiento con expresiones similares a las de Richart

□ Respuesta tensión deformación:



- Primer tramo similar al hormigón sin confinar.
- Segunda rama también monótona ascendente, con mayor pendiente cuanto mayor sea la rigidez de la camisa.



- ❑ Fallo = rotura del FRP a tracción:

$$\epsilon_{f,eff} < \epsilon_f$$

Cálculo de la resistencia y deformación última:

CNR-DT 200/2004 Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Existing Structures

☐ Resistencia del hormigón confinado

$$\frac{f_{ccd}}{f_{cd}} = 1 + 2,6 \cdot \left(\frac{f_{l,eff}}{f_{cd}} \right)^{2/3}$$

f_{ccd} : valor de cálculo de la resistencia a compresión del hormigón confinado

f_{cd} : resistencia de cálculo del hormigón sin confinamiento

$f_{l,eff}$: presión de confinamiento efectiva

☐ Deformación axial última del hormigón confinado

$$\varepsilon_{ccu} = 0,0035 + 0,015 \cdot \left(\frac{f_{l,eff}}{f_{cd}} \right)^{1/2}$$

1. INTRODUCCIÓN
2. COMPORTAMIENTO DEL HORMIGÓN CONFINADO CON FRP
 - Curvas tensión-deformación
 - Resistencia y deformación última del hormigón
3. **PRESIÓN DE CONFINAMIENTO (Secciones circulares/rectangulares)**
4. DEFORMACIÓN ÚLTIMA EFECTIVA DEL FRP
5. GUÍAS DE CÁLCULO EXISTENTES
6. APLICACIÓN DEL REFUERZO
7. CONCLUSIONES

Presión de confinamiento efectiva:

- Es una fracción de la máxima presión de confinamiento f_l :

$$f_{l,eff} = k_{eff} \cdot f_l$$

- $K_{eff} \leq 1$: coeficiente de efectividad, en función de la forma de la sección (k_H) y de la configuración del refuerzo (k_V)

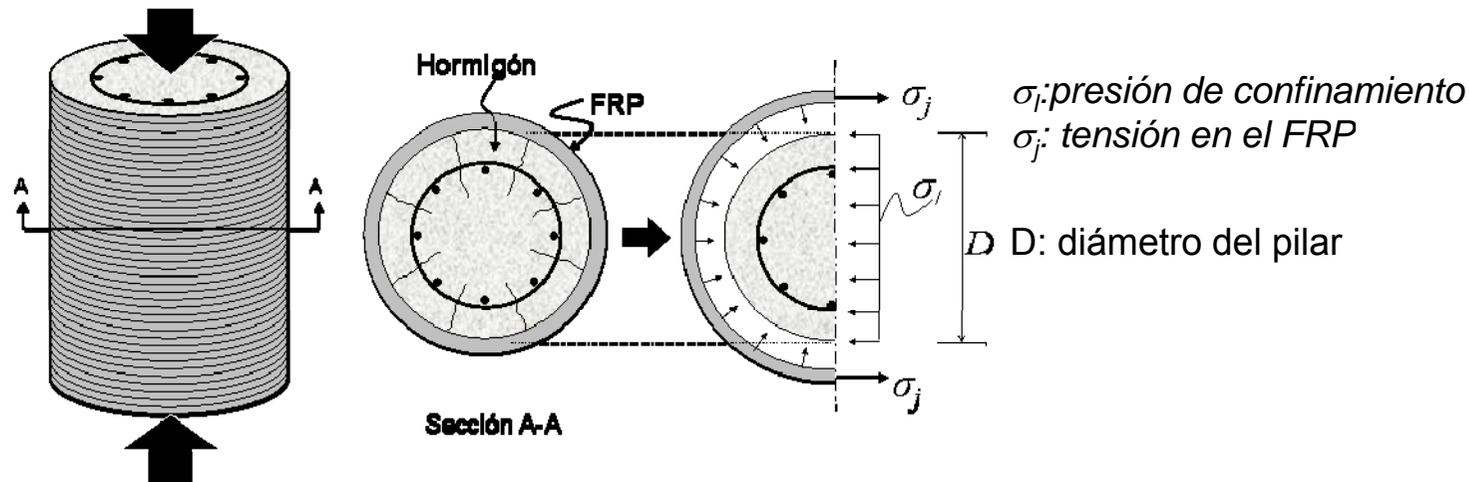
$$k_{eff} = k_H \cdot k_V$$

- k_H : coef. efectividad horizontal (sec. circular o rectangular)
- k_V : coef. efectividad vertical (refuerzo continuo/discontinuo)

- En pilares circulares con encamisado continuo:

$$k_{eff} = k_H \cdot k_V = 1$$

SECCIONES CIRCULARES:



$$\sigma_l = \frac{2\sigma_j t}{D} = \frac{2E_f \varepsilon_j t}{D} = \frac{1}{2} \rho_f E_f \varepsilon_j$$

$$\rho_f = \frac{4t}{D}$$

σ_j : tensión en el FRP
 E_f : módulo de elasticidad del FRP
 ε_j : deformación en el FRP
 t : espesor de FRP (nº capas x espesor/capa)
 D : diámetro del pilar
 ρ_f : cuantía volumétrica de FRP

Máxima presión de confinamiento:

$$f_l = \frac{1}{2} \rho_f E_f \varepsilon_{f,eff}$$

con $\varepsilon_{f,eff}$: deformación última efectiva en el FRP

Influencia de la envoltura parcial:

Existen zonas no confinadas → se introduce un coeficiente reductor k_v y se considera una presión de confinamiento efectiva:

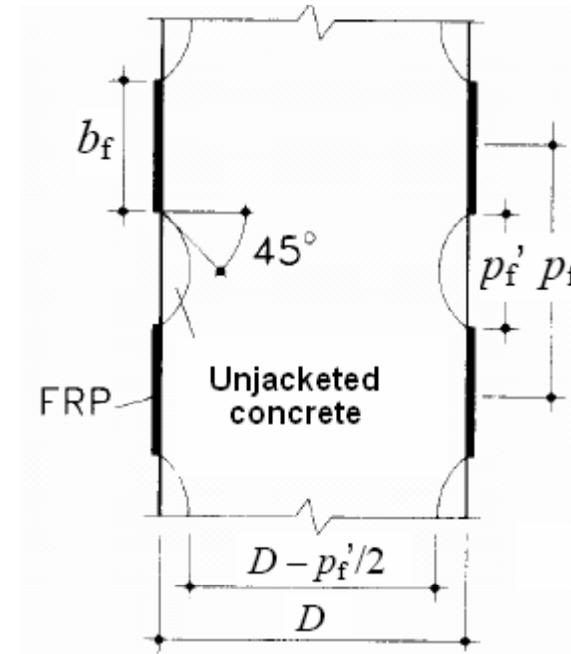
$$f_{l,eff} = k_v \cdot f_l$$

$$k_v = \left(1 - \frac{p'_f}{2d_{min}} \right)^2$$

d_{min} : D en sec. Circulares y lado más pequeño en rectangulares

La distancia entre refuerzos debe cumplir:

$$p'_f \leq \frac{d_{min}}{2}$$



SECCIONES CUADRADAS/RECTANGULARES:

- Confinamiento no uniforme: **menos efectivo**
- Es necesario redondear las esquinas: $R_c \text{ min}=20 \text{ mm}$
- Se aplican generalmente modelos de secciones circulares considerando presión de confinamiento efectiva reducida mediante coef k_H :

$$f_{l,eff} = k_H \cdot f_l$$

- k_H , coef efectividad horizontal:

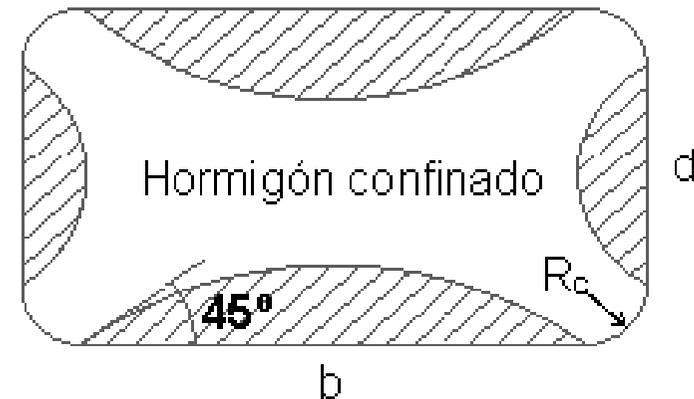
$$k_H = \frac{A_e}{A_c} = 1 - \frac{(b - 2R_c)^2 + (d - 2R_c)^2}{3A_g}$$

- Cuantía volumétrica de FRP:

$$\rho_f = \frac{2t(b + d)}{b \cdot d}$$

- No se recomienda el confinamiento con FRP si:

$$b/d > 2 \quad \text{máx}\{b, d\} > 900 \text{ mm}$$



1. INTRODUCCIÓN
2. COMPORTAMIENTO DEL HORMIGÓN CONFINADO CON FRP
 - Curvas tensión-deformación
 - Resistencia y deformación última del hormigón
3. PRESIÓN DE CONFINAMIENTO (Secciones circulares/rectangulares)
4. **DEFORMACIÓN ÚLTIMA EFECTIVA DEL FRP**
5. GUÍAS DE CÁLCULO EXISTENTES
6. APLICACIÓN DEL REFUERZO
7. CONCLUSIONES

- ❑ Fallo = rotura del FRP a tracción:

$$\varepsilon_{f,eff} < \varepsilon_f$$

$\varepsilon_{f,eff}$: deformación última efectiva de la camisa

ε_{frp} : deformación ensayos a tracción FRP



- ❑ Causas: estado triaxial de tensiones en el FRP, calidad ejecución, forma curva, esquinas, deformaciones no homogéneas en el hormigón...
- ❑ FIB Bulletin 14: deben tomarse valores apropiados de $\varepsilon_{f,eff}$, y dado que los datos disponibles son limitados, deberían justificarse experimentalmente.
- ❑ Algunas guías de cálculo proponen, con base en resultados experimentales, un coeficiente $k_\varepsilon \approx 0.6$:
$$\varepsilon_{f,eff} = k_\varepsilon \cdot \varepsilon_f$$
- ❑ Otras guías limitan $\varepsilon_{f,eff}$ a un valor de 0,004

Resistencia del hormigón confinado:

$$\frac{f_{ccd}}{f_{cd}} = 1 + 2,6 \cdot \left(\frac{f_{l,eff}}{f_{cd}} \right)^{2/3}$$

Deformación axial última:

$$\varepsilon_{ccu} = 0,0035 + 0,015 \cdot \left(\frac{f_{l,eff}}{f_{cd}} \right)^{1/2}$$

Presión de confinamiento efectiva

$$f_{l,eff} = k_{eff} \cdot f_l$$

Coefficiente de efectividad

$$k_{eff} = k_H \cdot k_V$$

Máx. presión de confinamiento

$$f_l = \frac{1}{2} \rho_f E_f \varepsilon_{f,eff}$$

Deformación última efectiva del FRP

$$\varepsilon_{f,eff} = k_\varepsilon \cdot \varepsilon_f \text{ (ó } 0,004)$$

Ejemplo:

Sección circular completamente envuelta

$$f_{cd} = 25 \text{ N/mm}^2$$

Refuerzo con 1 capa carbono unidireccional:

$$t = 0,33 \text{ mm}$$

$$f_f = 3800 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon_f = 1,6\%$$

$$E_f = 230000 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{eff} = 1 \quad \varepsilon_{f,eff} = 0,004$$

$$\rho_f = \frac{4t}{D} = \frac{4 \cdot 0,33}{400}$$

$$f_{l,eff} = f_l = 1,52 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ccd} = 35 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon_{ccd} = 0,007$$

1. INTRODUCCIÓN
2. COMPORTAMIENTO DEL HORMIGÓN CONFINADO CON FRP
 - Curvas tensión-deformación
 - Resistencia y deformación última del hormigón
3. PRESIÓN DE CONFINAMIENTO (Secciones circulares/rectangulares)
4. DEFORMACIÓN ÚLTIMA EFECTIVA DEL FRP
5. **GUÍAS DE CÁLCULO EXISTENTES**
6. APLICACIÓN DEL REFUERZO
7. CONCLUSIONES

- **FIB Bulletin 14** (2001) Externally bonded FRP reinforcement for RC structures
- **CNR-DT 200/2004** Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Existing Structures
- **ACI 440.2R-08** – Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures
- **TR55** Design guidance for strengthening concrete structures using fibre composite materials (Concrete Society, 2012)
- **CAN/CSA-S806-02** Design and Construction of Building Components with FRP
- Otras: Holanda, Japón, China....

FIB Bulletin 14

SPOELSTRA Y MONTI (1999):

Proponen un procedimiento iterativo combinando:

- **Ecuaciones de Popovics-Mander 1988:**

Modelo para confinamiento con acero, basado en un valor constante de la presión de confinamiento

$$f_c = \frac{f_{cc} \cdot x \cdot r}{r - 1 + x^r} \quad (1)$$

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}}; \quad E_{sec} = \frac{f_{cc}}{\varepsilon_{cc}}$$

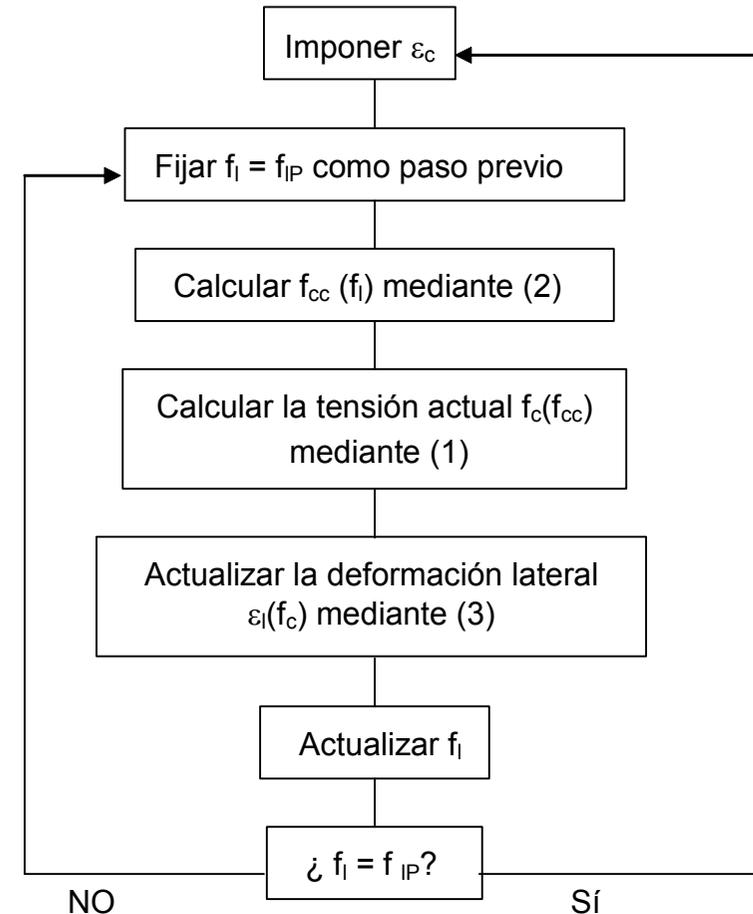
$$x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}}; \quad \varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} \cdot \left[1 + 5 \cdot \left(\frac{f_{cc}}{f_{co}} - 1 \right) \right]$$

$$\frac{f_{cc}}{f_{co}} = 2.254 \cdot \sqrt{1 + 7.94 \cdot \frac{f_l}{f_{co}}} - 2 \cdot \frac{f_l}{f_{co}} - 1.254 \quad (2)$$

- **Modelo de Pantazopoulou y Mills 1995:**

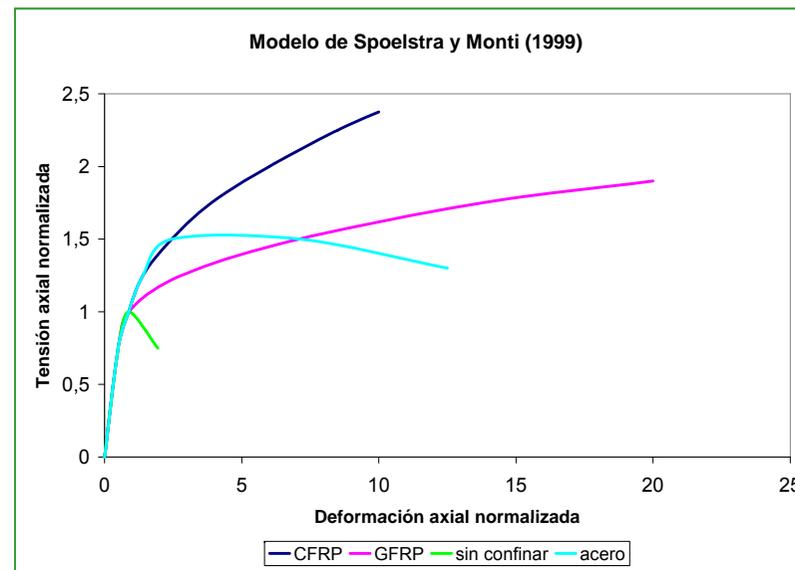
Relaciona las deformaciones axial y lateral en el hormigón

$$\left. \begin{aligned} f_c &= E_{sec} \cdot \varepsilon_c \\ E_{sec} &= E_c \cdot \frac{1}{1 + \beta \cdot \varepsilon_A} = E_c \cdot \frac{1}{1 + 2 \cdot \beta \cdot \varepsilon_l} \end{aligned} \right\} \varepsilon_l(\varepsilon_c, f_l) = \frac{E_c \varepsilon_c - f_c(\varepsilon_c, f_l)}{2\beta f_c(\varepsilon_c, f_l)} \quad (3)$$



SPOELSTRA Y MONTI

- Obtienen la respuesta tensión-deformación calculando para cada valor de la deformación axial las correspondientes deformación lateral y tensión axial mediante el proceso iterativo. La deformación axial última es la correspondiente a una deformación lateral igual a la deformación última efectiva de la camisa.



- La tensión y deformación últimas pueden obtenerse a partir de la presión de confinamiento máxima sin hacer el cálculo iterativo.
- Proponen además para calcularlos las siguientes fórmulas aproximadas:

$$f_{cc} = f_{co} \cdot \left(0.2 + 3 \sqrt{\frac{f_l}{f_{co}}} \right)$$

$$\varepsilon_{cu} = \varepsilon_{co} \cdot \left(2 + 1.25 \frac{E_c}{f_{co}} \varepsilon_{ju} \sqrt{\frac{f_l}{f_{co}}} \right)$$

CNR-DT 200/2004

$$\frac{f_{ccd}}{f_{cd}} = 1 + 2,6 \cdot \left(\frac{f_{l,eff}}{f_{cd}} \right)^{2/3}$$

$$\varepsilon_{ccu} = 0,0035 + 0,015 \cdot \left(\frac{f_{l,eff}}{f_{cd}} \right)^{1/2}$$

Presión de confinamiento efectiva: $f_{l,eff} = k_{eff} \cdot f_l$ $f_l = \frac{1}{2} \rho_f E_f \varepsilon_{fd,rid}$

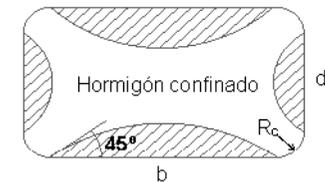
$$k_{eff} = k_H \cdot k_V \cdot k_\alpha$$

k_{eff} : **coeficiente de efectividad**, con 3 componentes:

• k_H : horizontal, depende de la forma de la sección transversal

circular $k_H = 1$

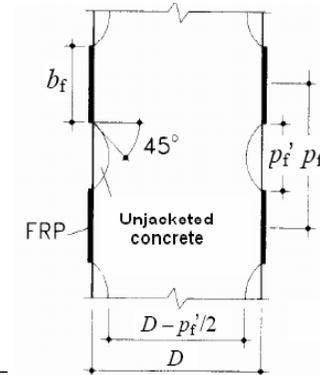
rectangular $k_H = \frac{A_e}{A_c}$



• k_V : vertical, depende de la configuración del FRP

continuo $k_V = 1$

discontinuo $k_V \approx \left(1 - \frac{p'_f}{2D} \right)^2$



• k_α : para fibras en espiral con ángulo α respecto a la sección transversal $k_\alpha = \frac{1}{1 + (\tan \alpha_f)^2}$

Presión de confinamiento efectiva:

$$f_{l,eff} = k_{eff} \cdot f_l = k_{eff} \cdot \frac{1}{2} \rho_f E_f \varepsilon_{fd,rid}$$

ρ_f : cuantía geométrica de refuerzo

{	sección circular	$\rho_f = \frac{4 \cdot t_f \cdot b_f}{D \cdot p_f}$	t_f : espesor de FRP
	sección rectangular	$\rho_f = \frac{2 \cdot t_f \cdot (b+d) \cdot b_f}{b \cdot d \cdot p_f}$	b_f : anchura de FRP p_f : espaciamiento FRP

E_f : módulo elástico del FRP (en dirección 0°)

$\varepsilon_{fd,rid}$: deformación de cálculo reducida del FRP

$$\varepsilon_{fd,rid} = \min \left\{ \eta_a \cdot \varepsilon_{fk} / \gamma_f ; 0,004 \right\}$$

- El confinamiento es efectivo si $f_{l,eff} / f_{cd} > 0,05$
- El efecto del confinamiento no debe considerarse para sec. rectangulares con dimensiones:

$$b / d > 2 \quad \text{máx}\{b, d\} > 900mm$$

si no se demuestra con ensayos apropiados

ACI 440.2R-08**Adopta modelo de LAM Y TENG (2003). Secciones circulares**

Deducido del análisis de base de datos experimental de la literatura.

• Respuesta tensión-deformación:

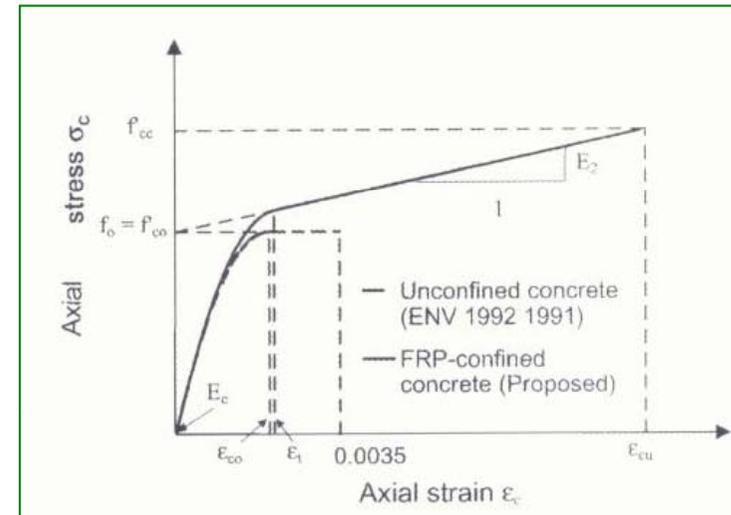
$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_c = E_c \varepsilon_c - \frac{(E_c - E_2)^2}{4f_{co}} \varepsilon_c^2 \quad (0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_t) \\ \sigma_c = f_{co} + E_2 \varepsilon_c \quad (\varepsilon_t \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu}) \end{array} \right.$$

E_c : módulo de elasticidad del hormigón

ε_t : deformación axial correspondiente al punto de transición

E_2 : pendiente de la segunda rama

$$\varepsilon_t = \frac{2f_{co}}{E_c - E_2} \quad E_2 = \frac{f_{cc} - f_{co}}{\varepsilon_{cu}}$$



• Resistencia: $f_{cc} = f_{co} + k_1 f_l$

$k_1=3.3$ si se calcula f_l a partir de la deformación última efectiva del FRP:

$$\varepsilon_{j,u} = k_\varepsilon \varepsilon_j \quad k_\varepsilon = \begin{cases} 0.586 \text{ (carbono)} \\ 0.624 \text{ (vidrio)} \end{cases}$$

• Deformación axial última:

$$\frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{co}} = 1.75 + k_2 \frac{f_l}{f_{co}} \left(\frac{\varepsilon_{ju}}{\varepsilon_{co}} \right)^{0.45} \quad k_2 = 12$$

LAM Y TENG (2003). Secciones rectangulares:

Extienden el modelo anterior introduciendo dos factores de forma k_{s1} y k_{s2}

$$\left. \begin{aligned} \bullet \text{ Resistencia: } & \frac{f_{cc}}{f_{co}} = 1 + k_1 k_{s1} \frac{f_l}{f_{co}} \\ \bullet \text{ Deformación axial última: } & \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{co}} = 1.75 + k_2 k_{s2} \frac{f_l}{f_{co}} \left(\frac{\varepsilon_{ju}}{\varepsilon_{co}} \right)^{0.45} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} & f_l : \text{ presión de confinamiento en un pilar circular} \\ & \text{equivalente de diámetro:} \\ & D = \sqrt{b^2 + d^2} \end{aligned}$$

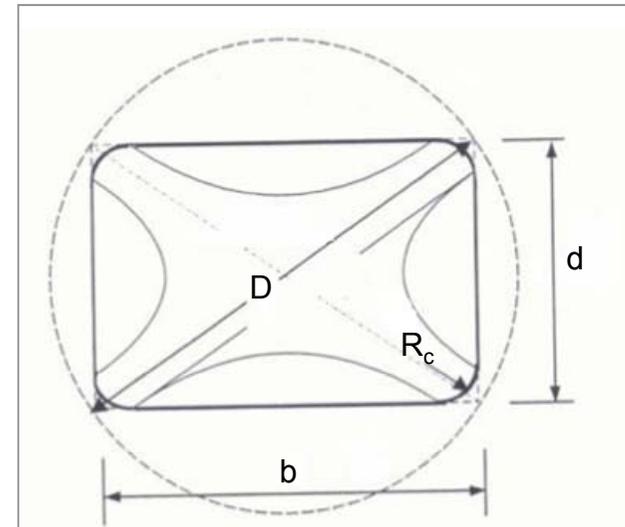
k_{s1} y k_{s2} dependen de:

- área efectivamente confinada (α_H)
- relación entre lados del rectángulo

$$k_{\varepsilon 1} = \left(\frac{d}{b} \right)^2 \cdot \alpha_H \quad k_{\varepsilon 2} = \sqrt{\frac{b}{d}} \cdot \alpha_H$$

Área efectivamente confinada delimitada por las parábolas que cortan a los lados con una pendiente igual a la de la diagonal adyacente (en lugar de 45°):

$$\alpha_H = \frac{1 - \left((d/b)(b - 2R_c)^2 + (b/d)(d - 2R_c)^2 / (3A_g) \right) - \rho_{sg}}{1 - \rho_{sg}}$$



ACI 440.2R-08:

- El efecto del confinamiento no debe considerarse para sec. rectangulares con dimensiones:

$$b/d > 2 \quad \text{o} \quad \text{máx}\{b, d\} > 900\text{mm}$$

si no se demuestra su efectividad con ensayos apropiados

- Limita la deformación efectiva en la camisa a 0,004.

1. INTRODUCCIÓN
2. COMPORTAMIENTO DEL HORMIGÓN CONFINADO CON FRP
 - Curvas tensión-deformación
 - Resistencia y deformación última del hormigón
3. PRESIÓN DE CONFINAMIENTO (Secciones circulares/rectangulares)
4. DEFORMACIÓN ÚLTIMA EFECTIVA DEL FRP
5. GUÍAS DE CÁLCULO EXISTENTES
6. **APLICACIÓN DEL REFUERZO**
7. CONCLUSIONES

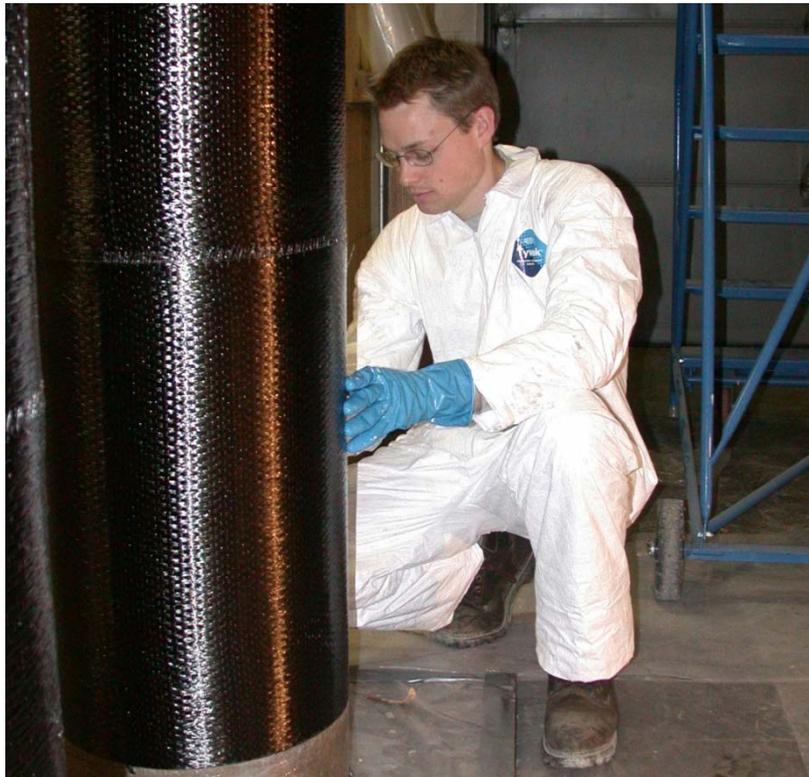
Aplicación del refuerzo con FRP

- ❑ En función de cómo se fabrica la camisa se clasifican en tres grupos:
 - a) Moldeo por contacto a mano (*wrapping*)
 - b) Bobinado automático (*filament winding*)
 - c) Uso de elementos prefabricados

- ❑ Orientación mayoritaria de la fibra: perpendicular a eje de la pieza (0°)
- ❑ La camisa cubre el pilar total o parcialmente
- ❑ Muy importante asegurar una **longitud de solape** suficiente
- ❑ Refuerzos de tipo pasivo, a no ser que se pretense la fibra



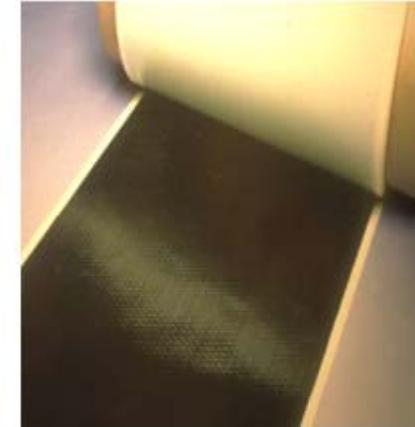
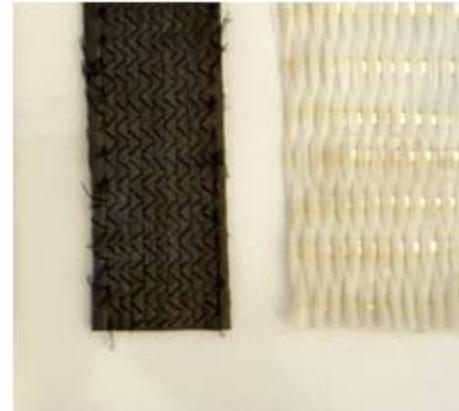
a) Moldeo por contacto a mano (*wrapping*):



- Se aplica la resina y una o varias capas de fibra (orientación principal 0°). La camisa se forma in situ al curar la resina
- es el método más común
- flexibilidad - adaptación a la forma de la sección
- fácil de aplicar

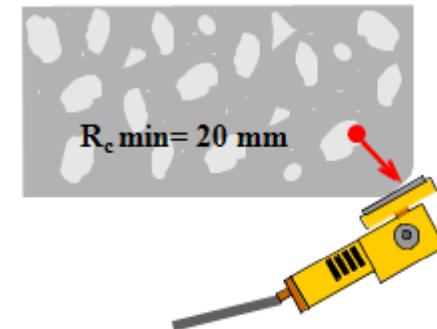
MATERIALES DE REFUERZO:

- Fibra: Hojas o tejidos unidireccionales, flexibles, en rollos, de anchura 300-600 mm, que se cortan a la medida deseada
- Resinas: epoxi en 2 componentes para mezclar en obra



APLICACIÓN:

- **Preparación superficie: no es crítica la adherencia** (como en flexión y cortante), pero sí el contacto pleno hormigón-fibra (fibra ajustada al pilar sin holgura) y es **crítico el redondeo de esquinas**
- Impregnación de la fibra:
 - Aplicación de resina sobre el soporte, fibra seca y a capa de cerrado con resina
 - Aplicación de resina sobre soporte, impregnar fibra en resina y colocarla ya mojada sobre el pilar
 - Longitud de solape suficiente
- Seguir estrictamente indicaciones del fabricante:
 - Condiciones de aplicación (temperatura, humedad...)
 - Resina: proporciones componentes, tiempo y modo de mezclado...



b) Bobinado automático:



- una máquina impregna fibra continua en la resina y la enrolla alrededor del pilar
- se obtiene una camisa de espesor, porcentaje de fibras y orientación controlados automáticamente
- refuerzo de mayor calidad
- sistema menos flexible

c) Camisas prefabricadas:



- una pieza con abertura longitudinal o varias piezas que se adaptan a la geometría del pilar
- contacto pilar - camisa mediante adhesivos o morteros
- a veces modifican la forma del pilar de rectangular a circular o elíptica sirviendo de encofrado perdido y refuerzo exterior

1. INTRODUCCIÓN
2. COMPORTAMIENTO DEL HORMIGÓN CONFINADO CON FRP
 - Curvas tensión-deformación
 - Resistencia y deformación última del hormigón
3. PRESIÓN DE CONFINAMIENTO (Secciones circulares/rectangulares)
4. DEFORMACIÓN ÚLTIMA EFECTIVA DEL FRP
5. GUÍAS DE CÁLCULO EXISTENTES
6. APLICACIÓN DEL REFUERZO
7. **CONCLUSIONES**

- El adecuado **confinamiento con FRP mejora la resistencia y deformación** última de pilares de hormigón armado.
- Confinamiento con acero \neq Confinamiento con FRP
- Se han desarrollado varios modelos teóricos para el conf. con FRP
- **Respuesta tensión deformación:** Primer tramo similar al hormigón sin confinar. Con confinamiento adecuado, segunda rama también monótona ascendente, con mayor pendiente cuanto mayor sea la rigidez de la camisa.
- En las guías de diseño existentes pueden encontrarse formulaciones sencillas para obtener la resistencia y deformación última del hormigón confinado.
- Fallo habitual: rotura de la camisa para valores de deformación muy inferiores a los que se obtienen al ensayar a tracción cupones de FRP \rightarrow **deformación última efectiva**
- En **secciones rectangulares** hay que **redondear las esquinas**, y la **eficiencia es menor**.

GRACIAS POR SU ATENCIÓN

adediego@ietcc.csic.es

Agradecimientos: Proyecto
Leonardo da Vinci
CZ/11/LLP-LdV/TOI/134005



Programa de
Aprendizaje
Permanente