

Seminario 12

Refuerzo de estructuras con materiales compuestos

Refuerzo mediante NSM

Madrid, 27 y 28 de mayo de 2013

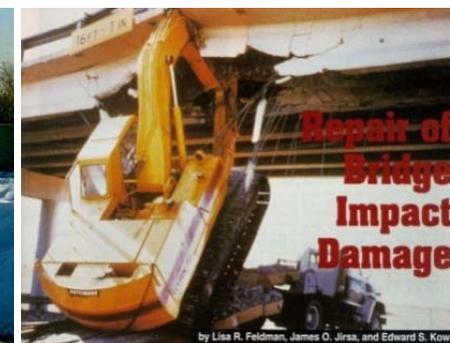
D. Cisneros, A. Arteaga y A. de Diego

Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (CSIC)

- Introducción
- Elementos principales
- Refuerzo a flexión
- Refuerzo a cortante

- Introducción
- Elementos principales
- Refuerzo a flexión
- Refuerzo a cortante

- Motivación:
 - Errores de diseño o construcción
 - Deterioro de los materiales
 - Cambios en la demanda de uso
 - Fenómenos de la naturaleza
 - Accidentes (impacto, fuego, vandalismo,...)



- Refuerzo mediante pegado externo (EB) de laminados:



Flexión



Cortante



(BASF)

Compresión

- Guías de diseño:
 - FIB Bulletin 14, “Externally bonded FRP reinforcement for RC structures”, Switzerland.
 - CNR-DT 200/2004, “Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening existing structures”, Italy.
 - ACI 440.2R-08, “Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures”, USA.
 - Concrete Society TR55, “Design guidance for strengthening concrete structures using fibre composite materials”, UK.
 - ISIS Design Manual No.4, “FRP rehabilitation of reinforced concrete structures”, Canada.
 - HB 305-2008, “Design handbook for RC structures retrofitted with FRP and metal plates: beams and slabs”, Australia.



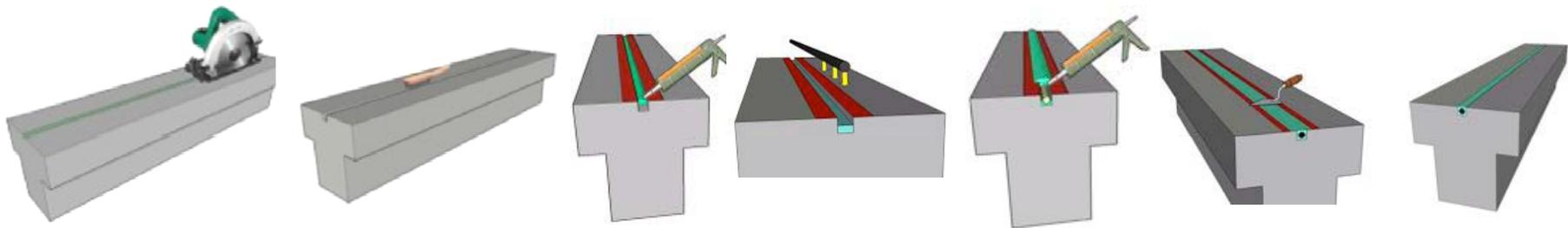
- Near-Surface Mounted (NSM):
 - Inserción de barras de FRP en ranuras mecanizadas en el recubrimiento de hormigón.
 - Alternativa al pegado externo o en combinación con éste.
 - Experiencia previa con refuerzos similares con acero.



(Hughes Brothers)

Introducción

- Proceso de refuerzo mediante NSM:
 1. Mecanizado de las ranuras.
 2. Limpieza de las ranuras y FRP.
 3. Llenado parcial de la ranura con adhesivo.
 4. Posicionamiento del FRP.
 5. Llenado completo de la ranura.
 6. Eliminación del adhesivo sobrante.



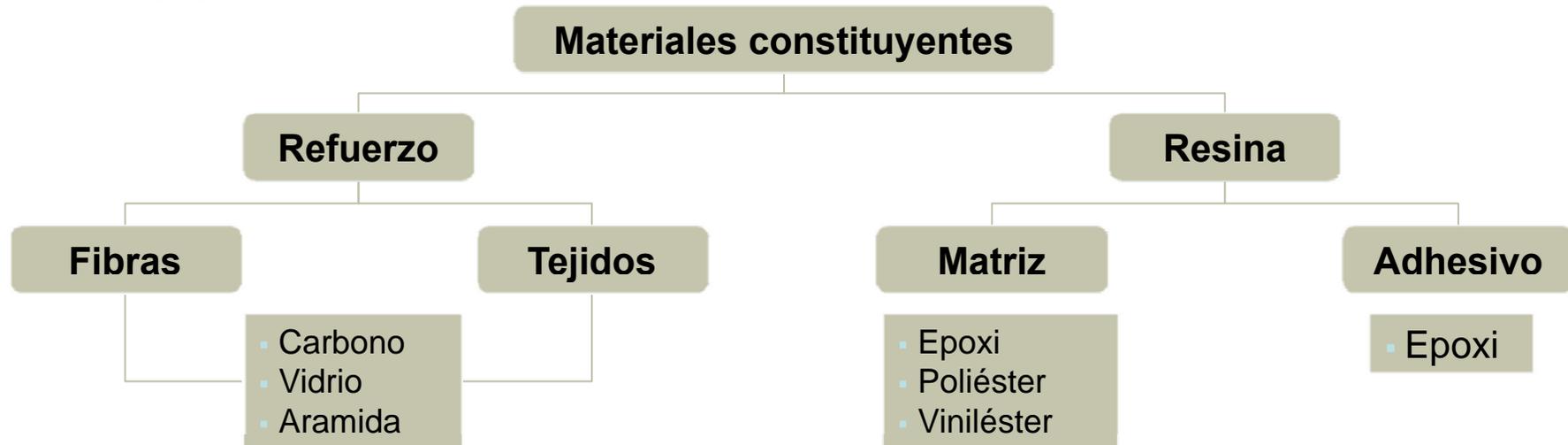
(Hughes Brothers)

- Ventajas del NSM:
 - Preparación de la superficie menos exhaustiva.
 - Mejora de la adherencia.
 - Facilidad de anclado en elementos adyacentes.
 - Mayor facilidad de pretensado.
 - Menor exposición al daño externo.
 - El aspecto externo virtualmente inalterado.
- Inconvenientes del NSM:
 - Necesidad de un recubrimiento de hormigón suficiente.
 - Ausencia de pautas de diseño generalizadas.

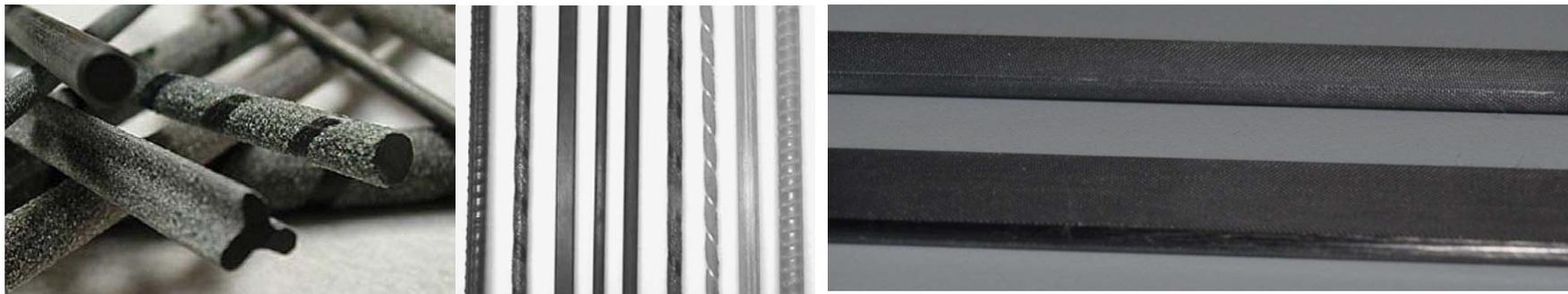
- Introducción
- Elementos principales
- Refuerzo a flexión
- Refuerzo a cortante

Elementos principales

- FRP:

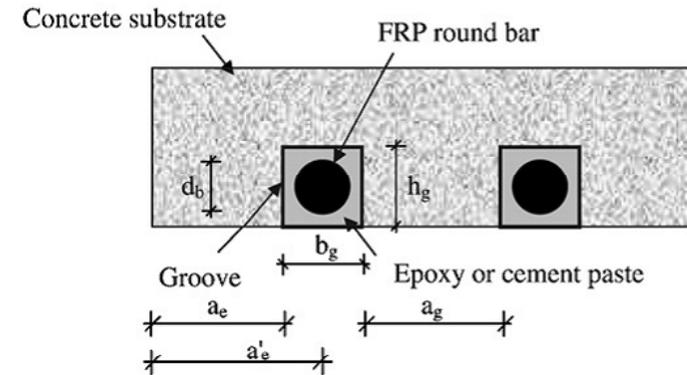


- NSM: barras con variedad de formas y recubrimientos:

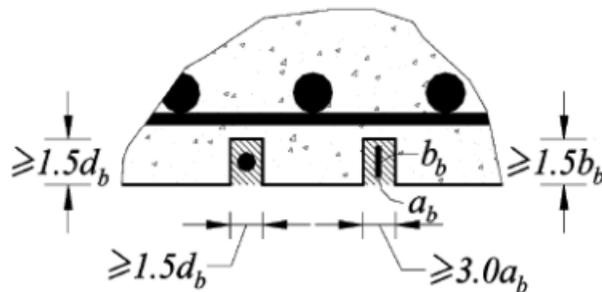


Elementos principales

- Ranurado:
 - Principal diferencia con el EB.
 - Efecto sobre la adherencia y modo de fallo.
 - Variables:
 - Dimensiones ($b_g \times h_g$)
 - Dist. entre ranuras (a_g)
 - Dist. al borde (a_e)
- Valores mínimos:



(De Lorenzis y Teng, 2007)



(ACI 440.2R-08)

Distancia entre ranuras: $a_g = 2 \cdot h_g$

Distancia al borde: $a_e = 4 \cdot h_g$

- Comportamiento adherente:
 - Principal limitación en el refuerzo mediante FRP
 - Variables de influencia:
 - Propiedades, dimensiones y tratamiento superficial del FRP.
 - Dimensiones y superficie de la ranura.
 - Propiedades del hormigón y adhesivo.
 - Tipo de ensayo.
- Caracterización del comportamiento adherente:

- Pull-out:



(Sharaky et al., 2013)

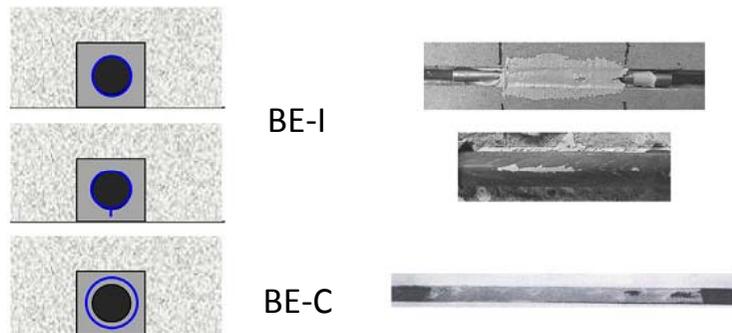
- Beam-test:



Elementos principales

- Modos de fallo en ensayos de adherencia:

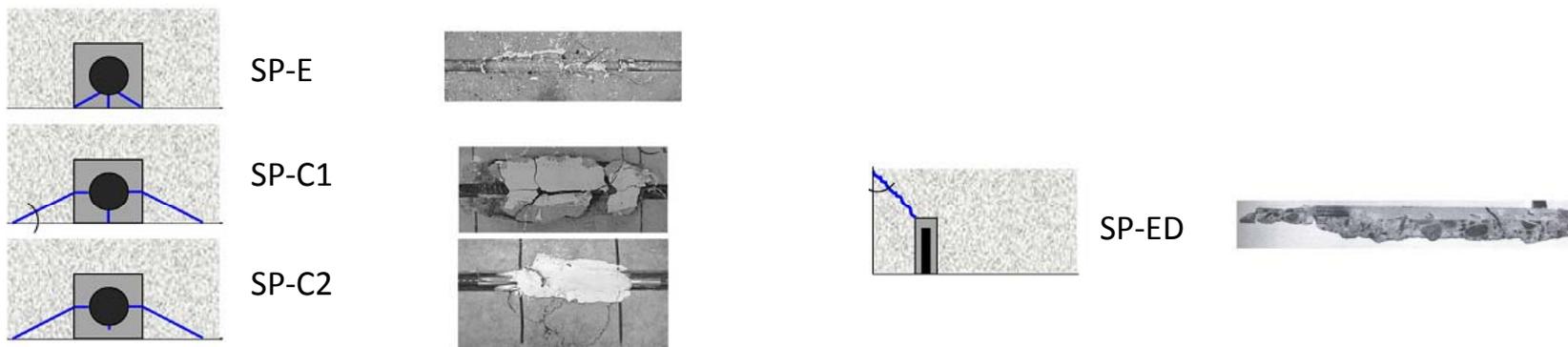
- Interfaz barra-epoxi (BE):



- Interfaz epoxi-hormigón (EC):



- Rotura del recubrimiento adhesivo (SP):

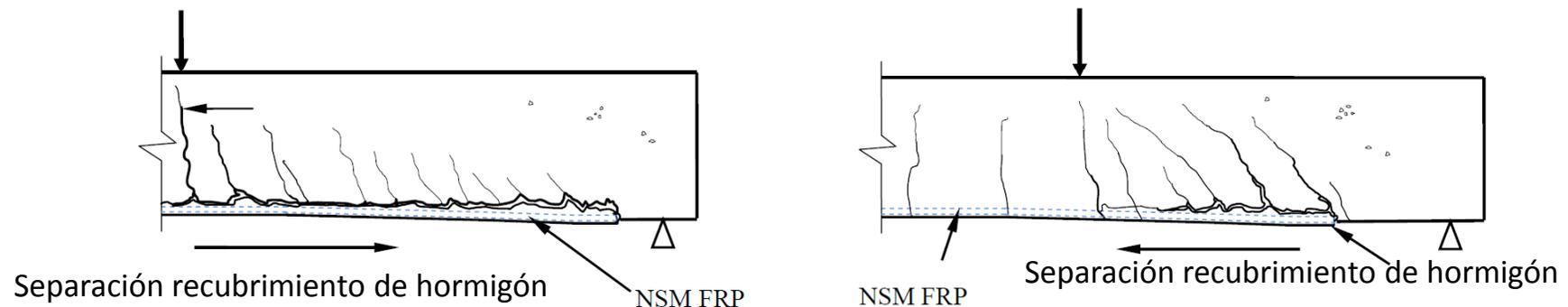


- Introducción
- Elementos principales
- Refuerzo a flexión
- Refuerzo a cortante

- Modelos teóricos de cálculo en base a los modelo de cálculo para el pegado externo.
- Perdida de adherencia limitada a través de coeficientes de minoración.
- Mejor comportamiento que el pegado externo de FRP.
- Mejor comportamiento de la láminas frente a las barras.
- Incorporación en las últimas ediciones de las guías de diseño.

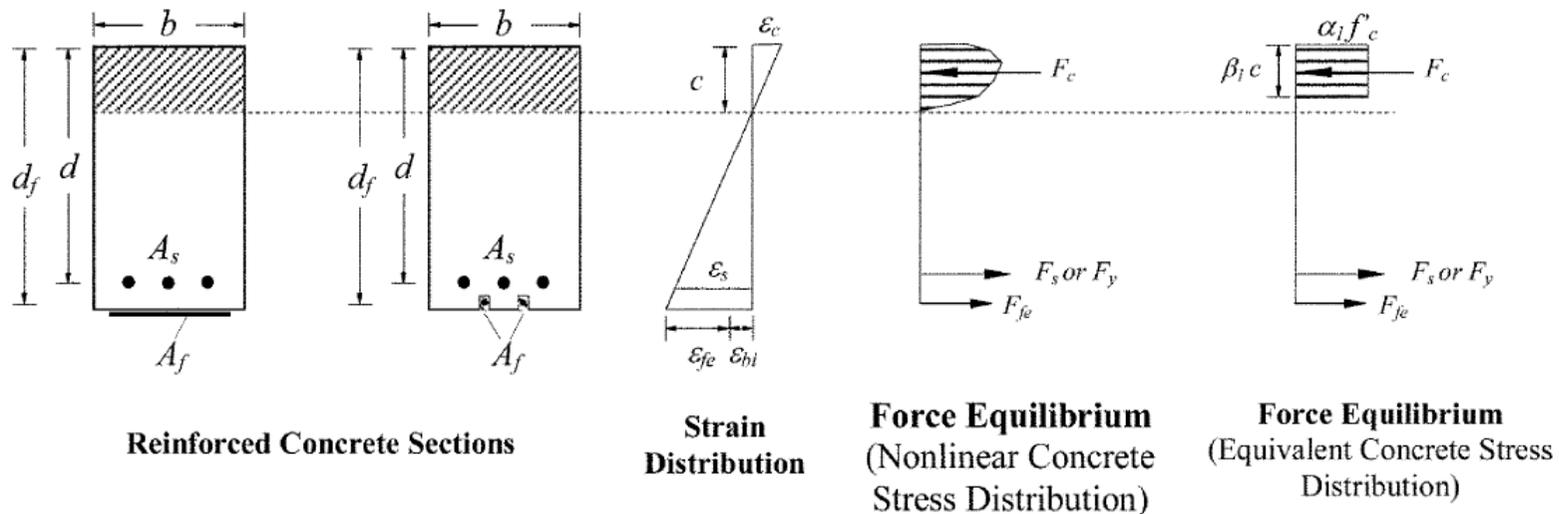
Refuerzo a flexión

- Los modos de fallo se pueden agrupar en:
 - Fallo por compresión del hormigón o rotura del FRP
 - Fallo por despegue del refuerzo de NSM:
 - Despegue del recubrimiento de hormigón a partir de una fisura de flexión
 - Despegue del refuerzo con o sin el recubrimiento de hormigón desde el extremo del FRP



Refuerzo a flexión

- Cálculo en el estado límite último:
 - Selección del modo de fallo
 - Compatibilidad de deformaciones
 - Equilibrio de la sección



$$M_n = A_s f_s \left(d - \frac{\beta_1 c}{2} \right) + \psi_f A_f f_{fe} \left(h - \frac{\beta_1 c}{2} \right)$$

- Cálculo en el estado límite último:

- Propiedades del FRP: $f_{fu} = C_E f_{fu}^*$
 $\varepsilon_{fu} = C_E \varepsilon_{fu}^*$

- Fallo por despegue: $\varepsilon_{fd} = 0.7 \varepsilon_{fu}$

- Compatibilidad de deformaciones:

$$\varepsilon_{fe} = \varepsilon_{cu} \left(\frac{d_f - c}{c} \right) - \varepsilon_{bi} \leq \varepsilon_{fd} \qquad f_{fe} = E_f \varepsilon_{fe}$$

- Deformación en el acero:

$$\varepsilon_s = (\varepsilon_{fe} + \varepsilon_{bi}) \left(\frac{d - c}{d_f - c} \right) \qquad f_s = E_s \varepsilon_s \leq f_y$$

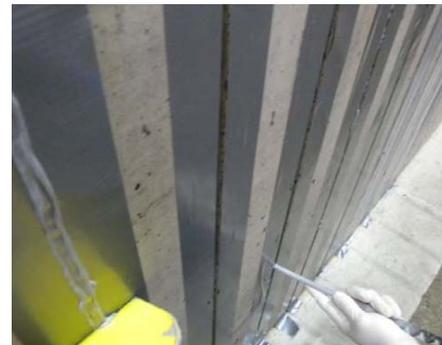
- Eje neutro:

$$c = \frac{A_s f_s + A_f f_{fe}}{\alpha_1 f'_c \beta_1 b}$$

- Introducción
- Elementos principales
- Refuerzo a flexión
- Refuerzo a cortante

- Método de refuerzo eficaz para incrementar la capacidad resistente a cortadura.
- Estudios e investigaciones limitadas en comparación con otras modalidades de refuerzo.
- Fallo característico por despegue del refuerzo.
- Superposición de la resistencia del hormigón, acero y FRP:

$$V = V_C + V_S + V_{FRP}$$



- Modos de fallo:
 - De Lorenzis y Nanni:
 - Despegue del FRP y rotura del hormigón adyacente.
 - Separación del recubrimiento de hormigón.



- Modos de fallo:
 - IETcc
 - Desprendimiento del recubrimiento lateral de hormigón.
 - Separación del hormigón por encima del refuerzo.
 - Avance de una fisura principal de cortante.
 - Desprendimiento del recubrimiento inferior de hormigón.



- Cálculo en el estado límite último:

$$V = V_C + V_S + V_{FRP}$$

- V_C : Contribución del hormigón
 - V_S : Contribución del acero
 - V_{FRP} : Contribución del FRP
- } → EHE ó Eurocodigo 2
→ Modelo de Rizzo y De Lorenzis

- Modelo de Rizzo y De Lorenzis para fallo por despegue:

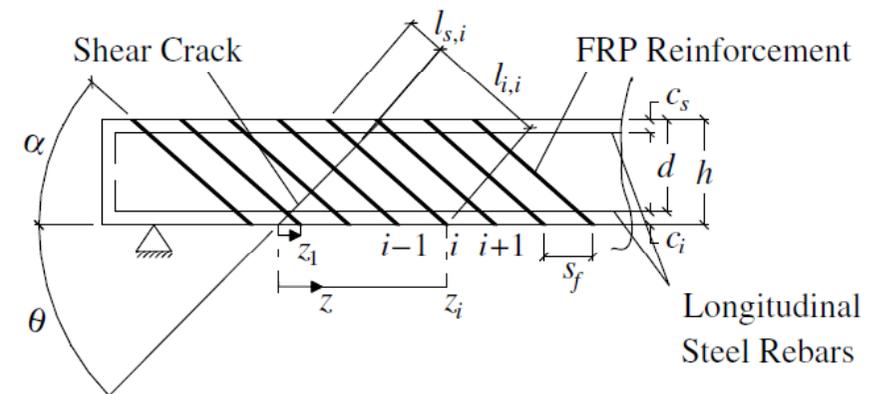
$$V_{FRP} = 2(\sum l_{emb,i})\rho\tau_f\sin\alpha$$

$l_{emb,i}$: mínima longitud adherida de la barra "i"

ρ : perímetro

τ_f : tensión de adherencia

α : ángulo del FRP respecto al eje de la viga

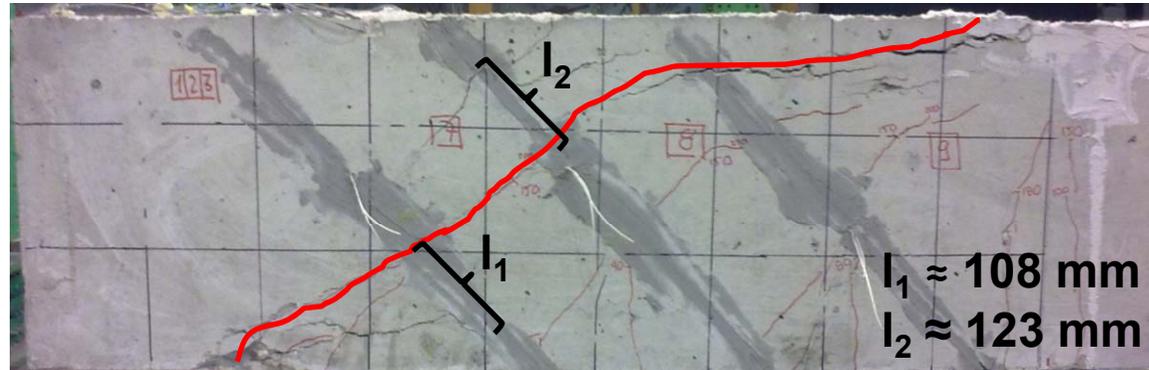


(Rizzo y De Lorenzis, 2009)

- Modelo de Rizzo y De Lorenzis:

$$V_{FRP} = 2(\sum l_{emb,i})\rho\tau_f \sin\alpha$$

$$\sum l_{emb,i} = l_1 + l_2$$



Comportamiento adherente (τ_f):



τ_{fm} [MPa]		
l_b [mm]	Barra	Lámina
48	14	12
96	11	8
144	9	6

Agradecimientos

- Junta para la Ampliación de Estudios (CSIC).
- Fondo Social Europeo.
- Proyecto Leonardo da Vinci CZ/11/LLP-LdV/TOI/134005.

¡MUCHAS GRACIAS POR SU ATENCIÓN!

dcisneros@ietcc.csic.es