



El evento del Cemento, el Concreto y los Prefabricados

Uso de barras de FRP como refuerzo interno para concreto

Samuel Doucet, P. Eng.
V-ROD/Aritrec S. A.
Canadá

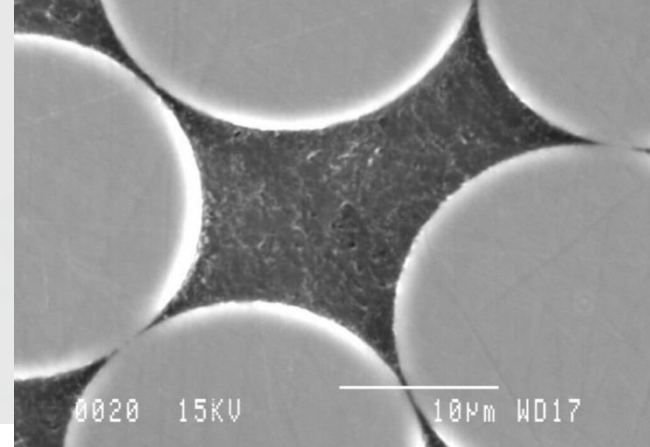
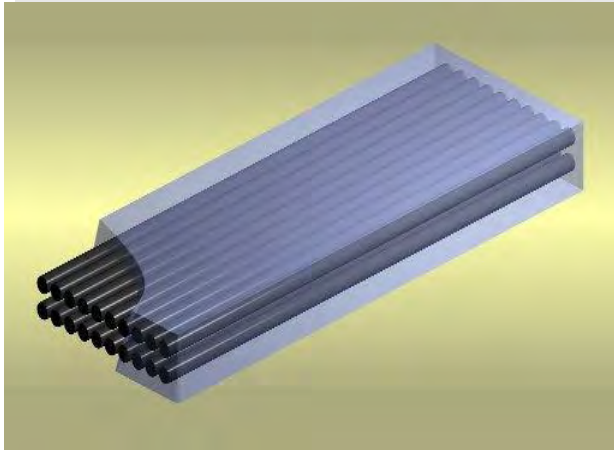
Contenido

1. Características generales de las barras de refuerzo FRP y filosofía de diseño estructural (Fiber Reinforced Polymer).
2. Investigaciones acerca del uso de barras de FRP como refuerzo interno de elementos estructurales de concreto y mampostería
3. Comportamiento a flexión en vigas híbridas armadas con acero convencional y barras FRP.

Composición de las barras de refuerzo compuestas

Material compuesto formado por fibras impregnadas con una resina y luego endurecidas y moldeadas en la forma de refuerzo para el concreto.

FRP: Fibre-reinforced polymers
GFRP: Glass Fibre-reinforced polymers



Fibras + Matriz polimérica

Vidrio, carbón, aramídicas, basalto + Poliéster, epoxi, éster vinílico

Composición de las barras de refuerzo compuestas

- Fibras de vidrio
- Polímeros de éster vinílico
- Aditivos

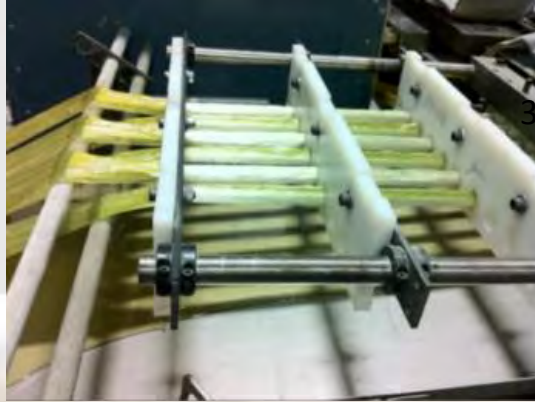


- Método de pultrusión
- Revestimiento de arena
- Proceso de generación de barras curvas

1.



2.



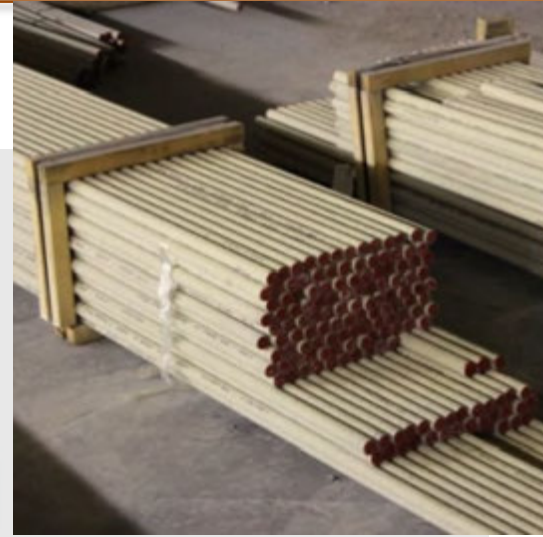
3.



Ventajas de las barras de refuerzo compuestas

Decálogo de una revolución tecnológica

1. Resisten la corrosión.
2. Poseen una resistencia superior a la tensión.
3. Presentan una expansión térmica comparable a la del concreto.
4. Ofrecen neutralidad electromagnética.
5. No crean puentes térmicos entre estructuras.
6. Son cerca de cuatro veces más livianas que el acero, fáciles de cortar y reducen los riesgos de accidentes laborales.
7. Se fabrican en longitudes, ángulos o curvas de secciones especiales según diseños.
8. Es un producto ecológico y sustentable.
9. Reduce costos de construcción y de ciclo de vida de la estructura.
10. Las producen fábricas certificadas y de larga trayectoria a nivel mundial, con NTC aprobada (6280).



Ventajas de las barras de refuerzo compuestas

Decálogo de una revolución tecnológica

1. Solución definitiva a la corrosión



- No más concreto
- No protección catódica
- No concreto especializado
- No membranas

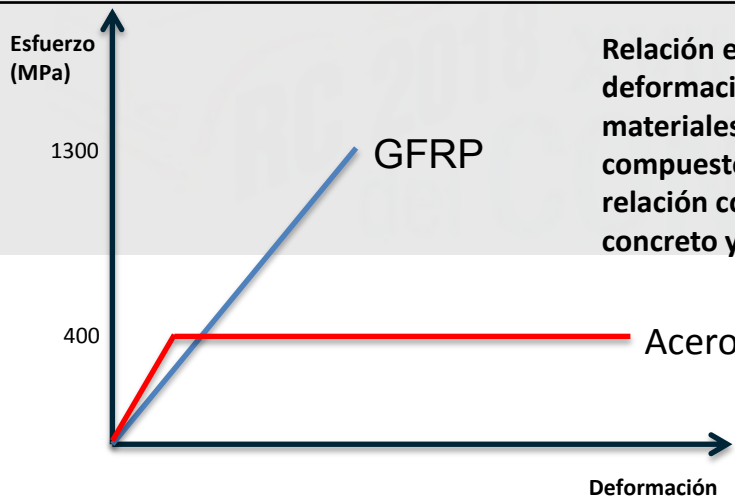


Ventajas de las barras de refuerzo compuestas

Decálogo de una revolución tecnológica

Comparación entre GFRP y barras de acero

Propiedades	Unidad de medida	V•ROD Grado III	Barra de refuerzo en acero
Resistencia a la tensión	MPa	1300	400
Módulo de elasticidad	GPa	60	200
Esfuerzo de tensión	%	2.1	5 a 20
Adherencia	MPa	14	≈10



Relación esfuerzo-deformación de materiales compuestos en relación con el concreto y el acero



Ventajas de las barras de refuerzo compuestas

Decálogo de una revolución tecnológica

Comparación entre GFRP y barras de acero

Propiedades	Unidad de medida	V•ROD Grado III (HM)	Barra de refuerzo en acero
Coeficiente longitudinal de expansión térmica	$10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	6	12
Coeficiente transversal de expansión térmica	$10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	24	12
Resistividad eléctrica	$\Omega \cdot \text{m}$	$> 10^{10}$	$\approx 1,5 \times 10^{-7}$
Conductividad térmica	$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	< 1	≈ 50



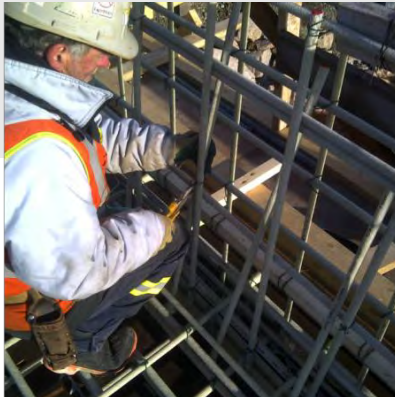
Abu Dhabi, Planta de aluminio



Universidad de Mc Master,
 Base de microscopio electrónico

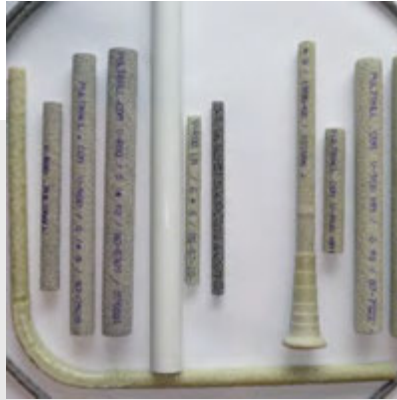
Ventajas de las barras de refuerzo compuestas

Decálogo de una revolución tecnológica



Son cerca de cuatro veces más livianas que el acero, fáciles de cortar y reducen los riesgos de accidentes laborales.

Ventajas de las barras de refuerzo compuestas



Ventajas de las barras de refuerzo compuestas

Barras curvas, espirales, cabezas de anclaje



Ventajas de las barras de refuerzo compuestas

Decálogo de una revolución tecnológica

8 Producto ecológico y sustentable

Se logró establecer que el uso de barras compuestas tiene:

- 70% menos impacto sobre la salud humana;
- 85% menos impacto sobre los ecosistemas;
- 64% menos impacto en el cambio climático;
- 63% menos uso de recursos que el refuerzo de acero.



Comparación entre GFRP y barras de acero

Propiedades	Unidad de medida	V•ROD Grado III (HM)	Barra de refuerzo en acero
Cobertura requerida de concreto (CAN/CSA S806-12)	d_b	30 mm a $2 d_b$	20 a 75

Ventajas de las barras de refuerzo compuestas

Decálogo de una revolución tecnológica

9 Reduce costos de construcción y de ciclo de vida de la estructura.



Waterloo, Tren ligero

Con GFRP:

- Se eliminan los costos relacionados con el uso de membranas.
- Se utiliza concreto convencional en lugar de concreto de baja permeabilidad o con inhibidores de corrosión añadidos.
- El uso de la tecnología V-ROD puede representar un ahorro del 45 al 60% en costos de mantenimiento.
- Dado el valor actual del coste total del ciclo de vida, el uso de la tecnología V-ROD puede representar un ahorro de aproximadamente 15 a 25%
- Reducción de costos por concepto de transporte, manipulación e instalación.

Ventajas de las barras de refuerzo compuestas

Decálogo de una revolución tecnológica

9 Reduce costos de construcción y de ciclo de vida de la estructura.



Toronto, MRI Room

Con GFRP:

- Pruebas de laboratorio y estudios de campo muestran que V•ROD ofrece una expectativa de vida en condiciones de servicio de más de:

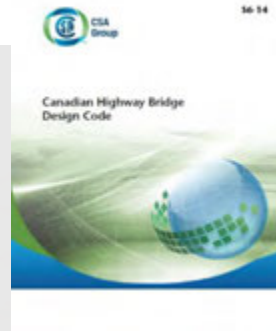
> 100 años

Códigos de construcción y guías de diseño

Canadá:



CSA S806-12

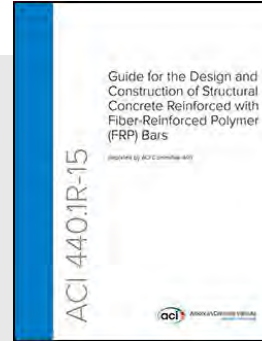


CSA S6-14

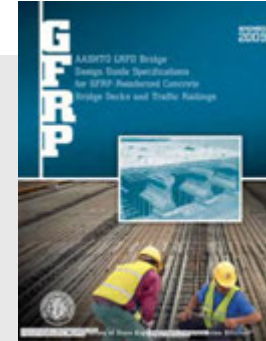


CSA S807-10

Estados Unidos:



ACI 440.1R-15



AASHTO LRFD 2009

Colombia :



Aplicaciones alrededor del mundo

Embarcadero



Wyndham, Australia



Aplicaciones alrededor del mundo

Estacionamientos



Aplicaciones alrededor del mundo

Muros de retención



Aplicaciones alrededor del mundo

Royal South Australian Yacht Club, Australia



Aplicaciones alrededor del mundo

Plantas de tratamiento de agua



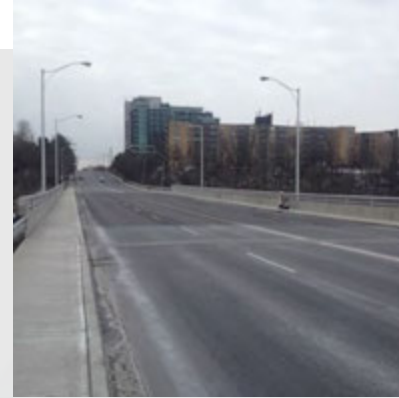
Aplicaciones alrededor del mundo

Losas de puentes



Aplicaciones alrededor del mundo

Kipling Ave Bridge, Toronto, Canadá



Aplicaciones alrededor del mundo

Dowels



Aplicaciones alrededor del mundo

Postes prefabricados



Aplicaciones alrededor del mundo

Prefabricados, pretensados



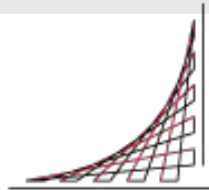
Aplicaciones alrededor del mundo

! Gracias!



2. Investigaciones acerca del uso de barras de FRP como refuerzo interno de elementos estructurales de concreto y mampostería

Nancy Torres Castellanos



ESCUELA
COLOMBIANA
DE INGENIERÍA
JULIO GARAVITO

VEGILADA MINEDUCACIÓN

Introducción

❖ Barras de FRP en aplicaciones para elementos de concreto nuevos:

- Buen comportamiento, usado desde la década de los noventa
 - Salas con equipos de resonancia magnética
 - Losas de puentes
 - Muros de contención en zonas costeras
- ACI 440.1R-15 – *Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with Fiber-Reinforced Polymer Bars*

❖ Aplicaciones de barras de FRP para muros de mampostería nueva:

- Mampostería cerca de equipos electromagnéticos
 - Salas con equipos de resonancia magnética
 - Muros cercanos a cables de alta tensión y transformadores en subestaciones
- Muros expuestos a ambientes severos
 - Construcciones costeras
 - Muros de contención en el mar
 - Plantas químicas
 - Sótanos

Investigaciones en la Escuela Colombiana de Ingeniería

- **Mampostería:**
 - Comportamiento a flexión de muros de mampostería, reforzados internamente con barras de FRP.
- **Concreto:**
 - Comportamiento ante cargas cíclicas de uniones viga-columna de concreto reforzadas con barras y estribos de FRP.

Comportamiento a flexión de muros de mampostería reforzados internamente con barras de FRP.



Photos Courtesy: Hughes Bros

Objetivos

- Evaluar el comportamiento a flexión de muros de mampostería, reforzados con barras de FRP, sujetos a cargas fuera del plano.
 - Identificar modos de falla
 - Comparar el comportamiento con muros de mamposteria convencionales
- Desarrollar un protocolo preliminar de diseño.
 - Basado en:
 - TMS 402 – Building Code Requirements and Specification for Masonry Structures
 - ACI 440.1R-15 – Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with Fiber-Reinforced Polymer Bars

Programa experimental

- Ensayos de mas de 40 muros de mampostería reforzados con barras de FRP, sujetos a carga fuera del plano
 - Mampostería en concreto y arcilla
- Diferentes anchos de muro y diferentes configuraciones de refuerzo de FRP
 - Barras de GFRP y CFRP de $\frac{1}{2}$ " de diametro,
 - Barras de $\frac{1}{2}$ " acero

Construcción de los muros



Configuración del refuerzo

Muros	b (m)	Refuerzo	$\rho_f = A_f/bd$	Configuración
M1-G	1,6	4 GFRP bars	0,00437	
M2-G	1,2	2 GFRP bars	0,00291	
M3-G	1,8	3 GFRP bars	0,00291	
M4-G	1,6	2 GFRP bars	0,00218	
M5-G	1,0	1 GFRP bar	0,00175	
M6-G	1,2	1 GFRP bar	0,00146	
M7-G	1,4	1 GFRP bar	0,00125	
M8-C	1,6	4 CFRP bars	0,00437	
M9-C	1,2	2 CFRP bars	0,00291	
M10-C	1,8	3 CFRP bars	0,00291	
M11-C	1,6	2 CFRP bars	0,00218	
M12-C	1,0	1 CFRP bar	0,00175	
M13-C	1,2	1 CFRP bar	0,00146	
M14-C	1,4	1 CFRP bar	0,00125	

- Espesor = 150 mm
- Altura = 2,20 m

Montaje de ensayo *Closed-Loop*

Viga de reacción

Pórtico de
reacción

Viga de reacción

Muro de ensayo
(2.20 m de
altura)

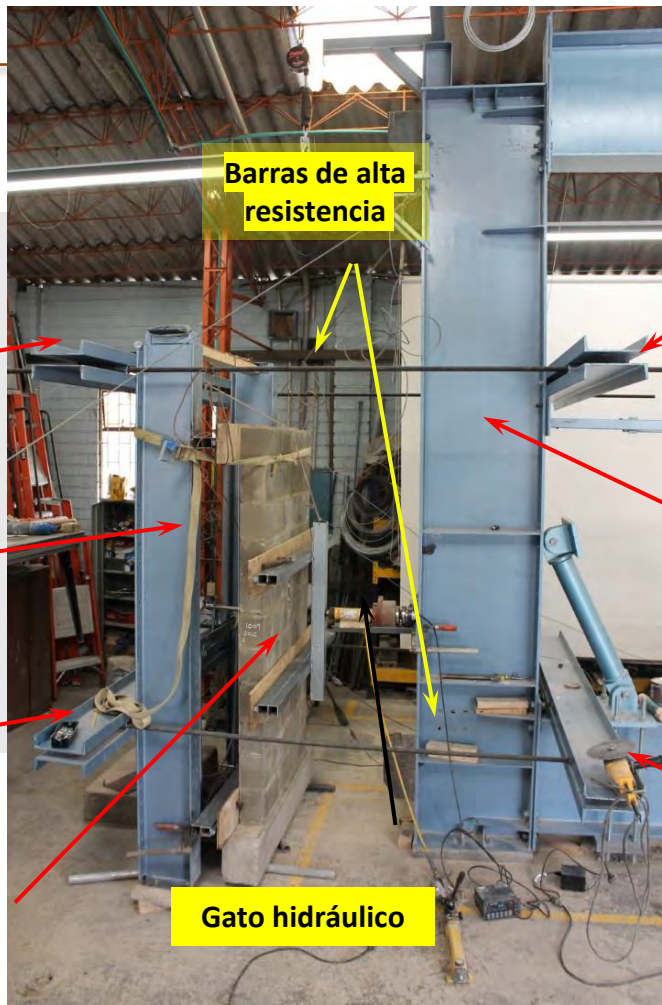
Barras de alta
resistencia

Gato hidráulico

Viga de reacción

Portico
Resistente

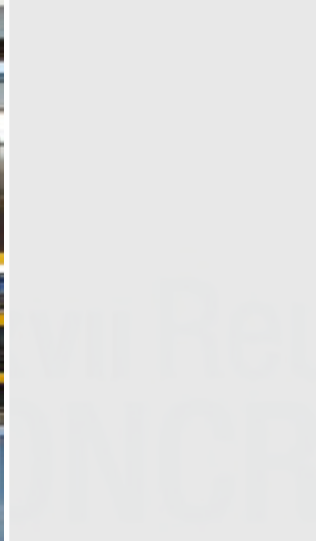
Viga de Reacción



Montaje de ensayo



Lado frontal



Lado posterior



Modos de falla



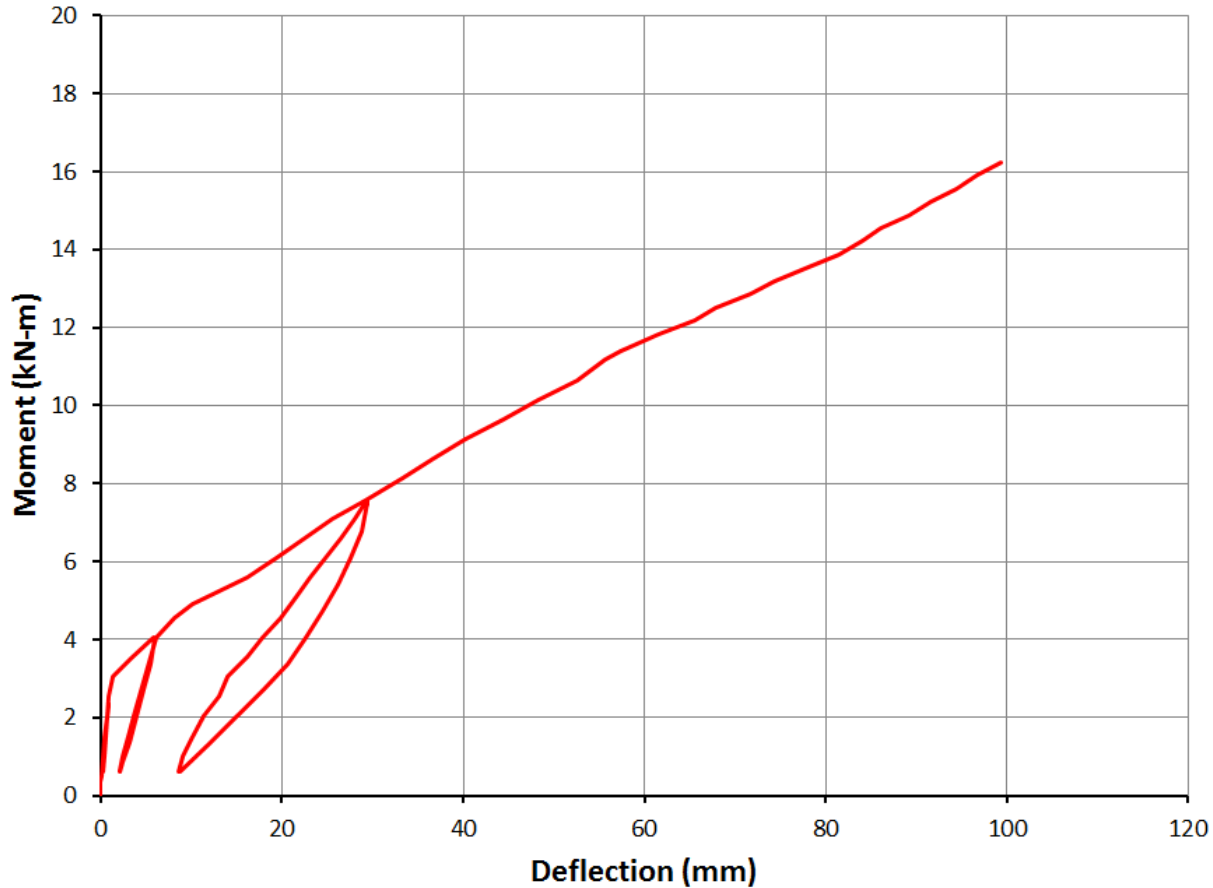
Aplastamiento
de la
mampostería



Ruptura del FRP

Fisuración por
flexión

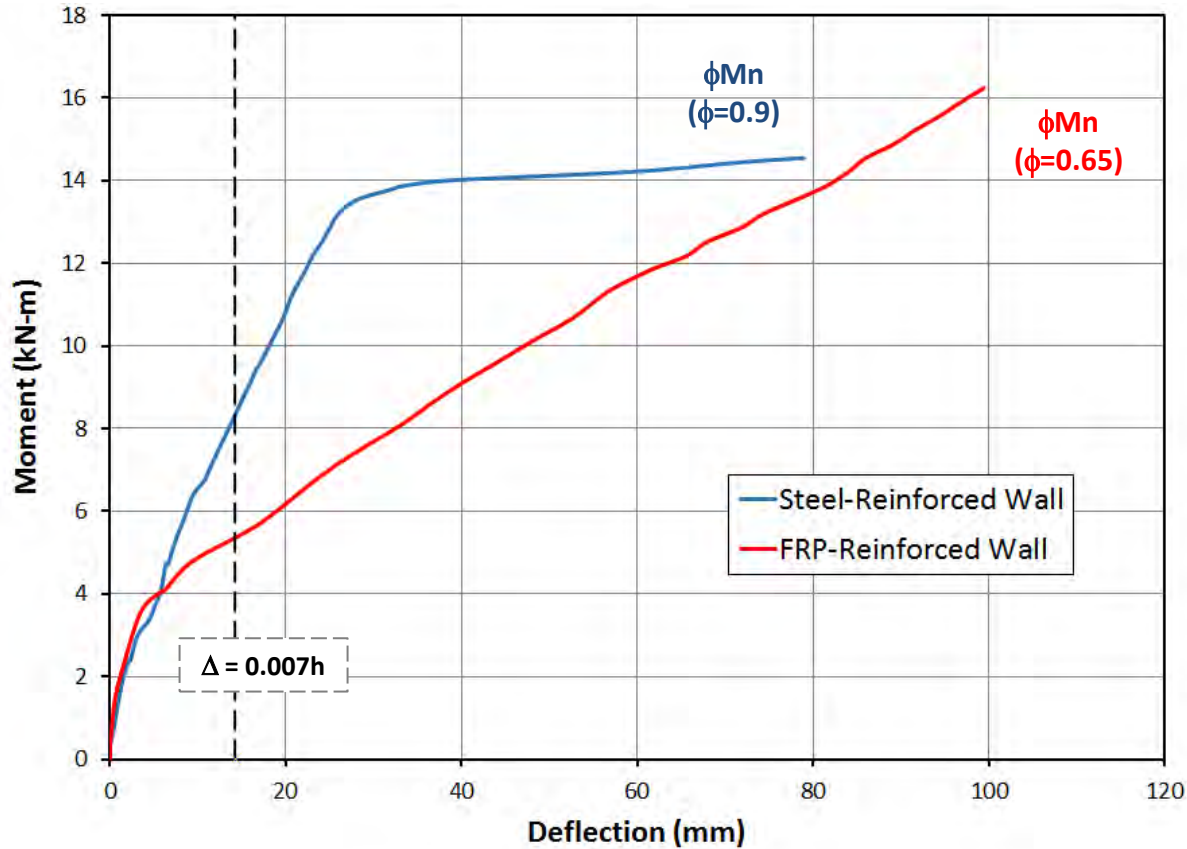
Comportamiento típico



Comportamiento de un muro típico



Comparativo de muros reforzados con barras de FRP y de acero



Comparativo de muros reforzados con barras de FRP y de acero

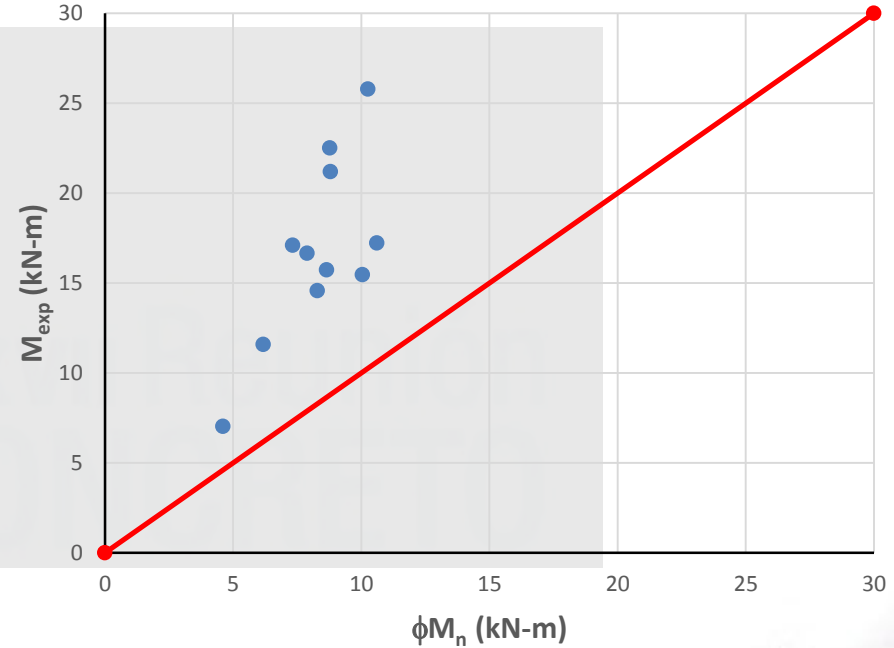
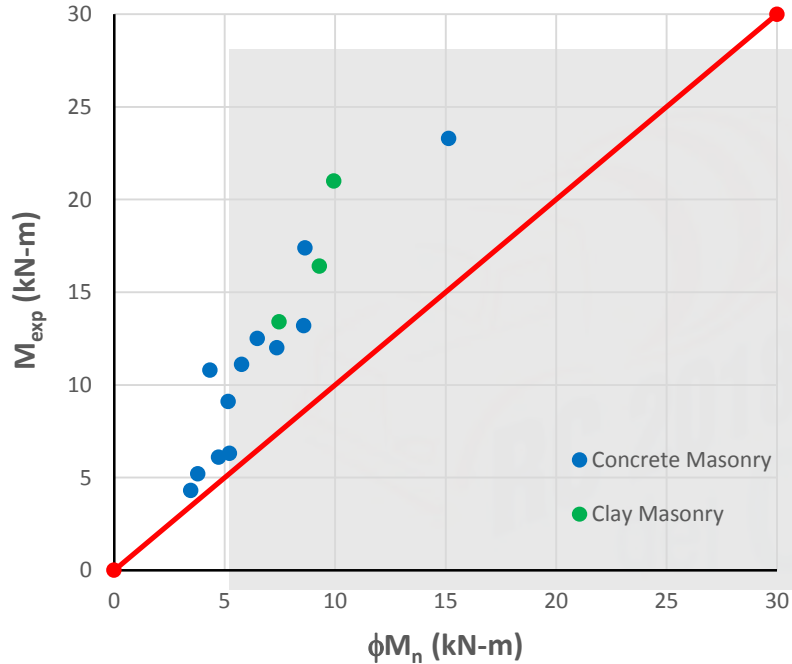
4 Barras de GFRP #4 GFRP



3 Barras de acero - #4



Resultados iniciales y validación



Protocolo preliminar de diseño

$$\phi Mn \geq Mu$$

- *Balanced Ratio:*

$$\rho_{fb} = 0.80 \beta_1 \frac{f'_m}{f_{fu}} \frac{E_f \varepsilon_{mu}}{E_f \varepsilon_{mu} + f_{fu}}$$

$$\beta_1 = 0.80$$

- *Reinforcement Ratio:* $\rho_{fb} = \frac{A_f}{bd}$

$$\varepsilon_{mu} = \begin{cases} 0.025 & \text{for concrete masonry} \\ 0.035 & \text{for clay masonry} \end{cases}$$

- *Masonry crushing if: $\rho_f > \rho_{fb}$*

$$f_f = \sqrt{\frac{(E_f \varepsilon_{mu})^2}{4} + \frac{0.80 \beta_1 f'_m}{\rho_f} E_f \varepsilon_{mu}} - 0.5 E_f \varepsilon_{mu}$$

$$a = \frac{A_f f_f}{0.80 f'_m b}$$

$$Mn = A_f f_f \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

- *FRP rupture if: $\rho_f < \rho_{fb}$*

$$c_b = \left(\frac{\varepsilon_{mu}}{\varepsilon_{mu} + \varepsilon_{fu}} \right) d$$

$$Mn = A_f f_{fu} \left(d - \frac{\beta_1 c_b}{2} \right)$$

Protocolo preliminar de diseño

■ Factor ϕ :

$$\phi Mn \geq Mu$$

Code / Guide	Controla tensión	Controla compresión
TMS 402 Mampostería reforzada con acero	$\phi = 0.9$ (Fluencia del acero)	Ninguno
ACI 440.1R Concreto nuevo reforzado con FRP	$\phi = 0.55$ (Ruptura del FRP)	$\phi = 0.65$ (Aplastamiento del concreto)

➤ *Ruptura del FRP:*

$$Mn = A_f f_{fu} \left(d - \frac{\beta_1 c_b}{2} \right)$$

$$\phi = 0.55 \text{ (Controla tensión)}$$

➤ *Aplastamiento de la mampostería:*

$$Mn = A_f f_f \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$\phi = 0.65 \text{ (Controla compresión)}$$

Conclusiones

- **En general, buena concordancia entre la capacidad a flexión teórica y experimental**
 - Basado en TMS 402 and ACI 440.1R-15
 - Aplastamiento de la mampostería, modo predominante de falla
- **Comparados con los muros reforzados con acero:**
 - Mayores deflexiones en servicio
 - Menores deflexiones residuales
 - Costos comparables de construcción (en especial para los muros reforzados con GFRP)

Comportamiento ante cargas cíclicas de uniones viga-columna de concreto reforzadas con barras y estribos de FRP.

Falla en uniones viga-columna

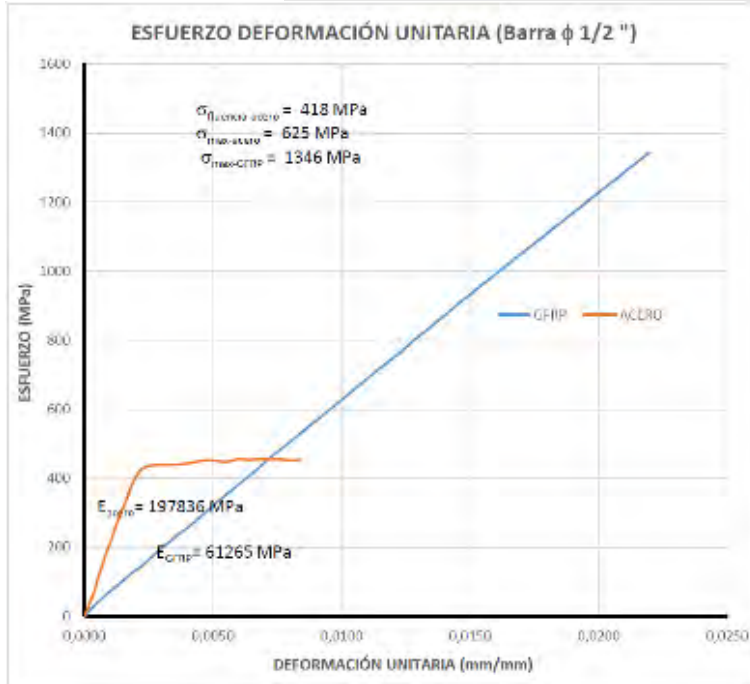


Objetivos

- Evaluar el comportamiento de uniones viga-columna reforzadas con barras y estribos de GFRP en diferentes cuantías
- Comparar el comportamiento con uniones viga columna reforzadas con acero y diseñadas de acuerdo a la NSR-10
- Desarrollar recomendaciones para el diseño de uniones viga columna reforzadas con barras de GFRP

Programa experimental

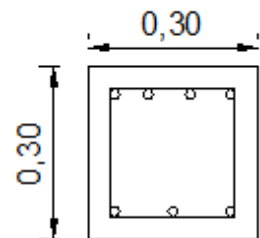
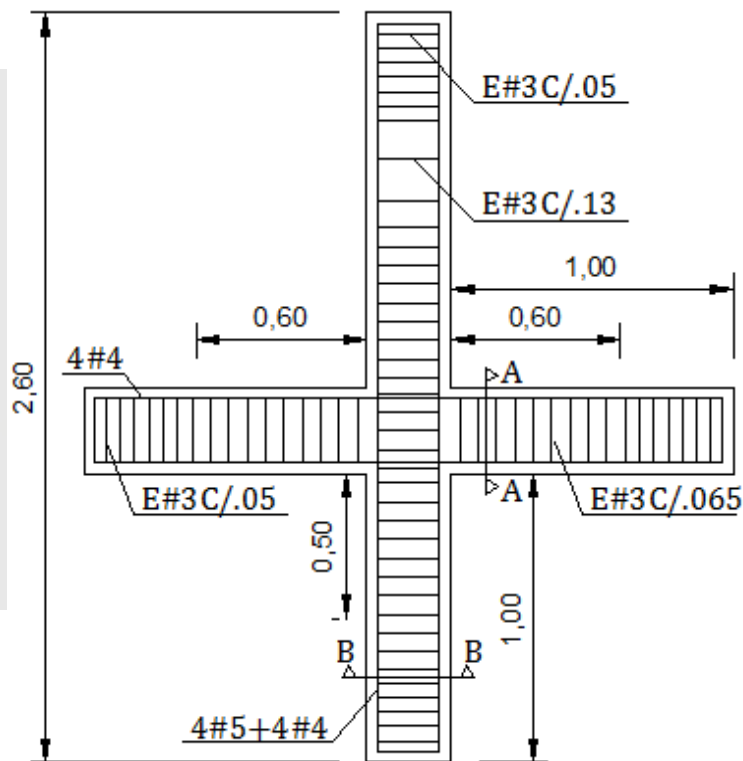
- Concreto $\rightarrow f'c=28$ MPa
- Barras de Acero $\rightarrow f_y=420$ MPa
- Barras GFRP $\rightarrow f_{GFRPu}=1340$ MPa



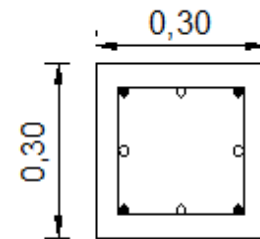
Espécimen	Nomenclatura	Tipo de detallado
E-1	NSR-10	Barras y estribos en acero
E-2	GFRP-1	Barras y estribos GFRP
E-3	GFRP-2	Barras y estribos GFRP
E-4	GFRP-3	Barras y estribos GFRP

E2-E3-E4, se definirán a medida que se ensayen y se comparen con el espécimen E-1 (NSR-10).

Esquema de refuerzo



Sección A-A

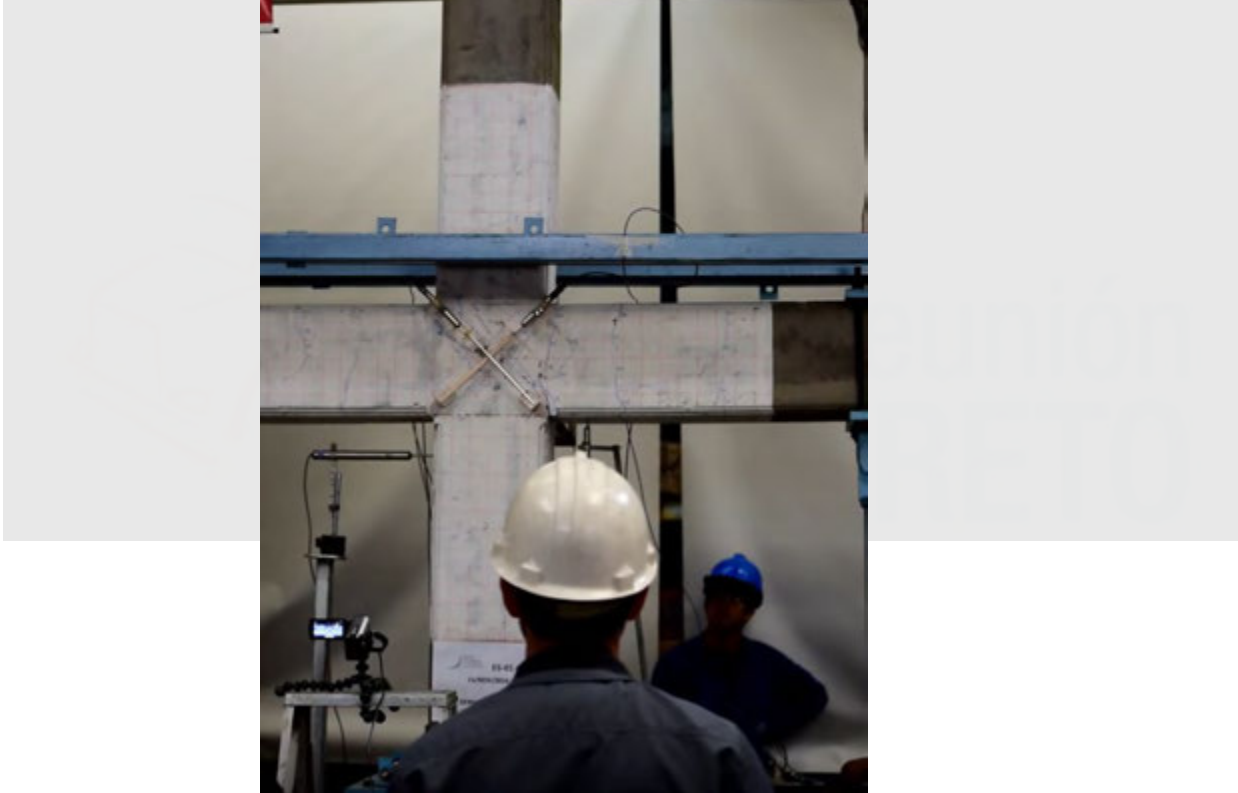


Sección B-B

Construcción de uniones



Ensayo de uniones



NORMA TÉCNICA
COLOMBIANA

NTC
6280

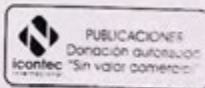
2016-07-01

ESPECIFICACIONES PARA POLÍMEROS REFORZADOS
CON FIBRAS

E. SPECIFICATION FOR FIBRE-REINFORCED POLYMERS

CORRESPONDENCIA: esta es una adopción idéntica respecto (IDT)
respecto a su documento de referencia la norma CSA S 807: 2010;
(reaffirmed 2015).

DESCRIPTORES: barra, polímero, construcción, refuerzo, materiales
compuestos



I.C.S.: \$1.100.40

Elaborada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC)
Aprobada 14237 Bogotá, D.C. - Tel. (571) 6078888 - Fax (571) 2221435

Prohibida su reproducción

Edición 2016-07-01

Lanzamiento:

Norma Técnica Colombiana 6280.

Especificaciones para polímeros reforzados con
fibras.

Barras FRP.

Based: CSA S 807, 2010.

Laboratorio de materiales Alejandro Sandino



Muro de reacción



Alto: 10 m
Espesor: 1,5 m
L (15,5 y 8,7 m) externos

MURO DE REACCIÓN



- **Escuela**

- Laboratorio de Estructuras de la Escuela Colombiana de Ingeniería - Operarios
- Alfonso Quintana, Daniel Otálora, David Calderón, Andrés Ramírez, Nicolás Correa, Angela Herrera

- **Asesores internacionales**

- Antonio Nanni, Universidad de Miami, Miami, FL
- Gustavo Tumialan, Simpson Gumpertz and Heger Inc., Boston, MA

- **Fabricantes de barras de FRP**

- Aritrec S.A – Quebec – Canadá
- Sireg – Milan, Italia

- **Ladrilleras**

- Ladrillera Kreato S.A., Bogotá, Colombia
- Ladrillera Santafé S.A., Bogotá, Colombia

Gracias!!

nancy.torres@escuelaing.edu.co

3. Comportamiento a flexión en vigas híbridas armadas con acero convencional y barras FRP (Fiber Reinforced Polymer)

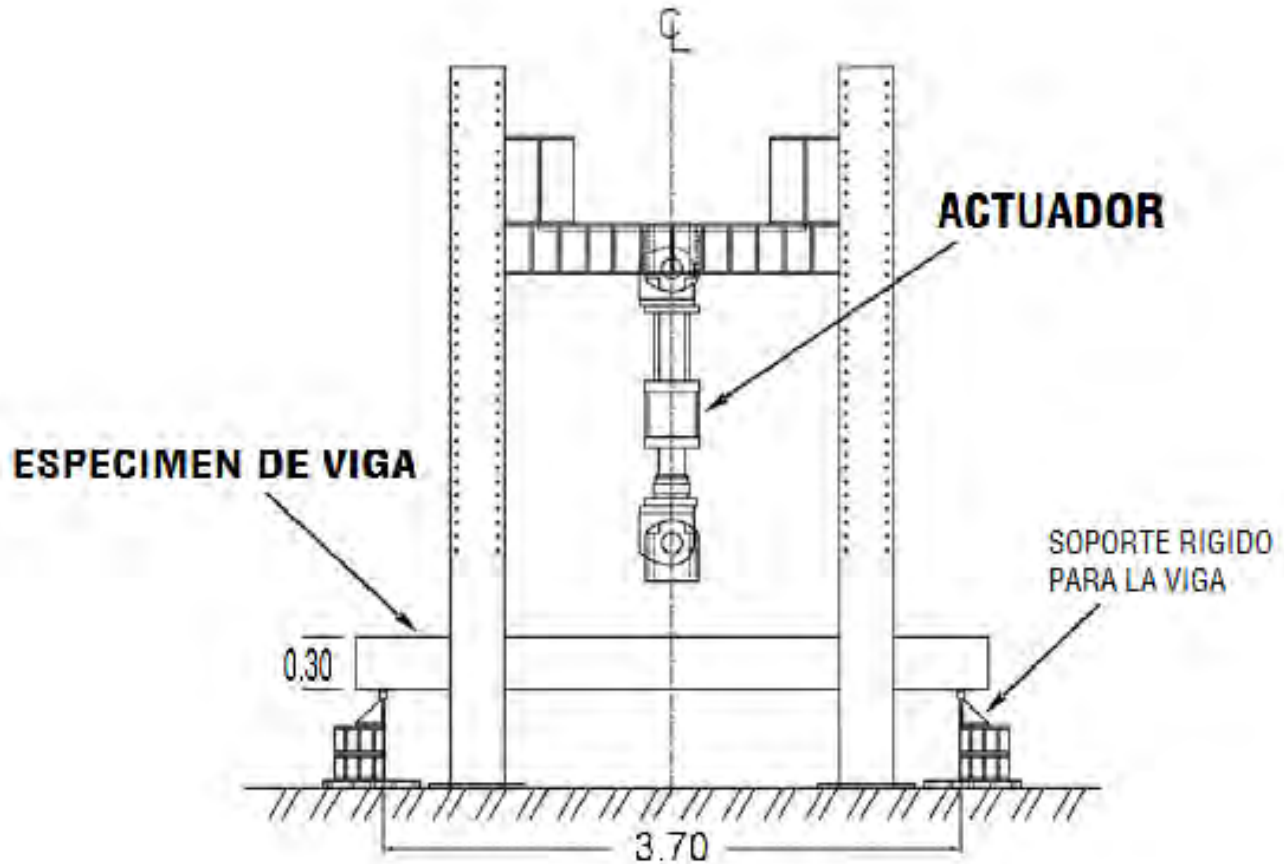
*Ing. Sergio González Laguna
Aritrec S.A.
Colombia*

Objetivo general

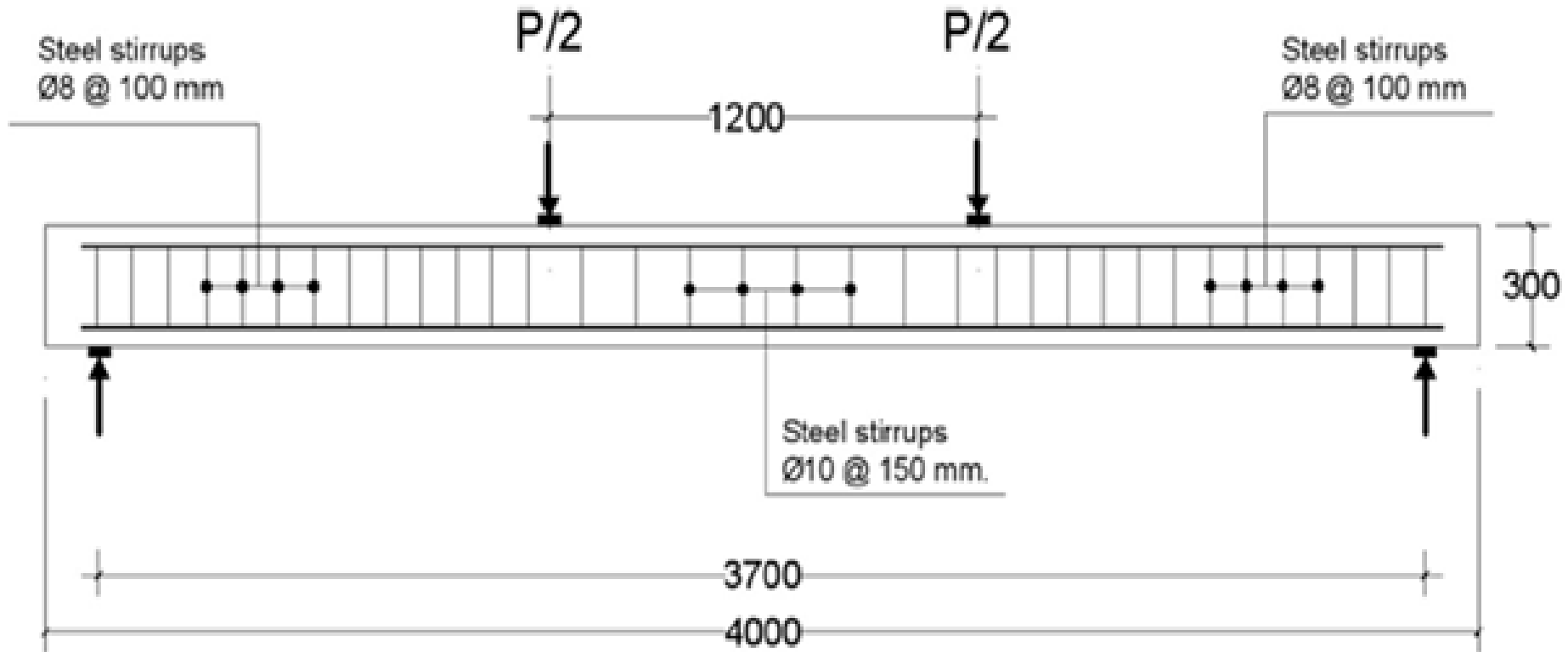
Formulación del comportamiento a flexión en la interface de vigas rectangulares híbridas armadas en tracción con varillas de acero convencional 420 mpa y barras GFRP – Glass Fiber Reinforced Polymer



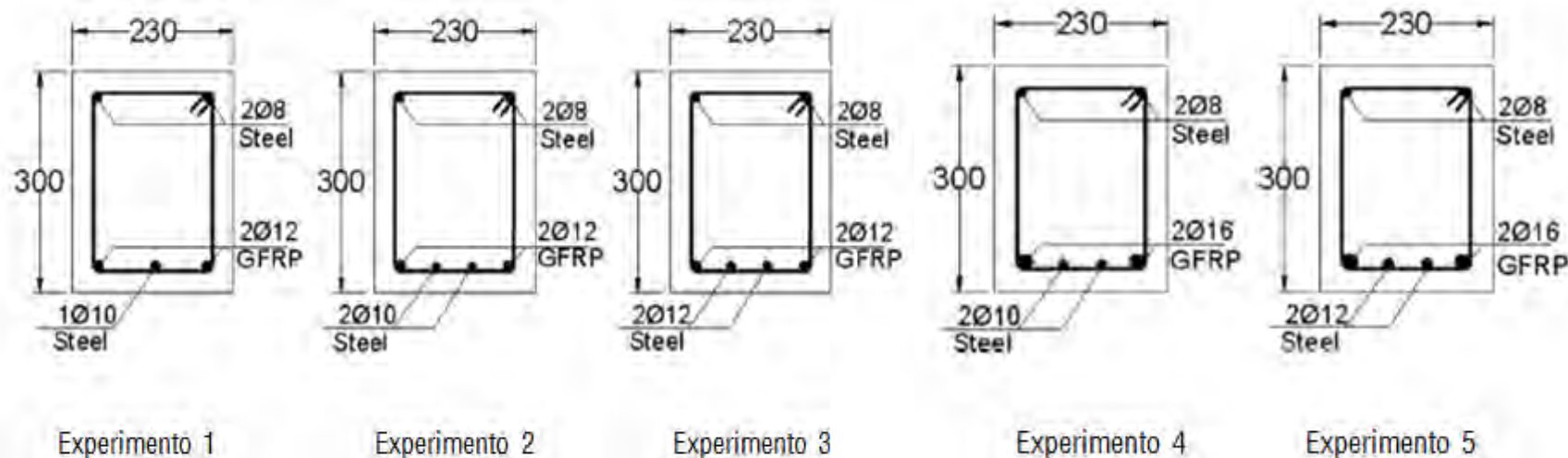
Metodología



Descripción de la prueba



Descripción de la prueba



Nota: Los valores a continuación del diámetro de las varillas, está en mm.

Descripción de la prueba



Viga de control propuesta

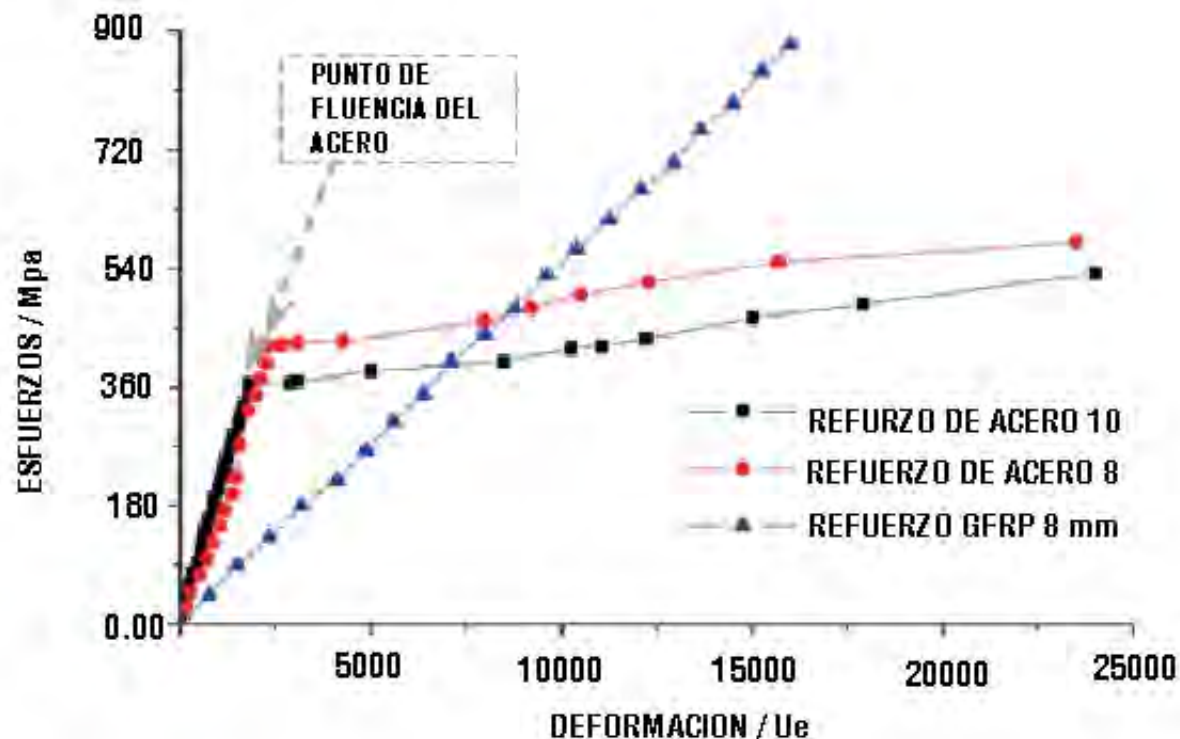
Experimento	As	A GFRP	$r = A_s / A_{GFRP}$	Concreto Mpa	Refuerzo Mpa
CONTROL	4 de 12 *			21	420

Procedimiento

La velocidad de carga durante la etapa de carga $0,5 \text{ kn} / \text{s}$, mientras que la tasa de desplazamiento durante el desplazamiento controlado etapa fue de $0,2 \text{ mm} / \text{s}$.

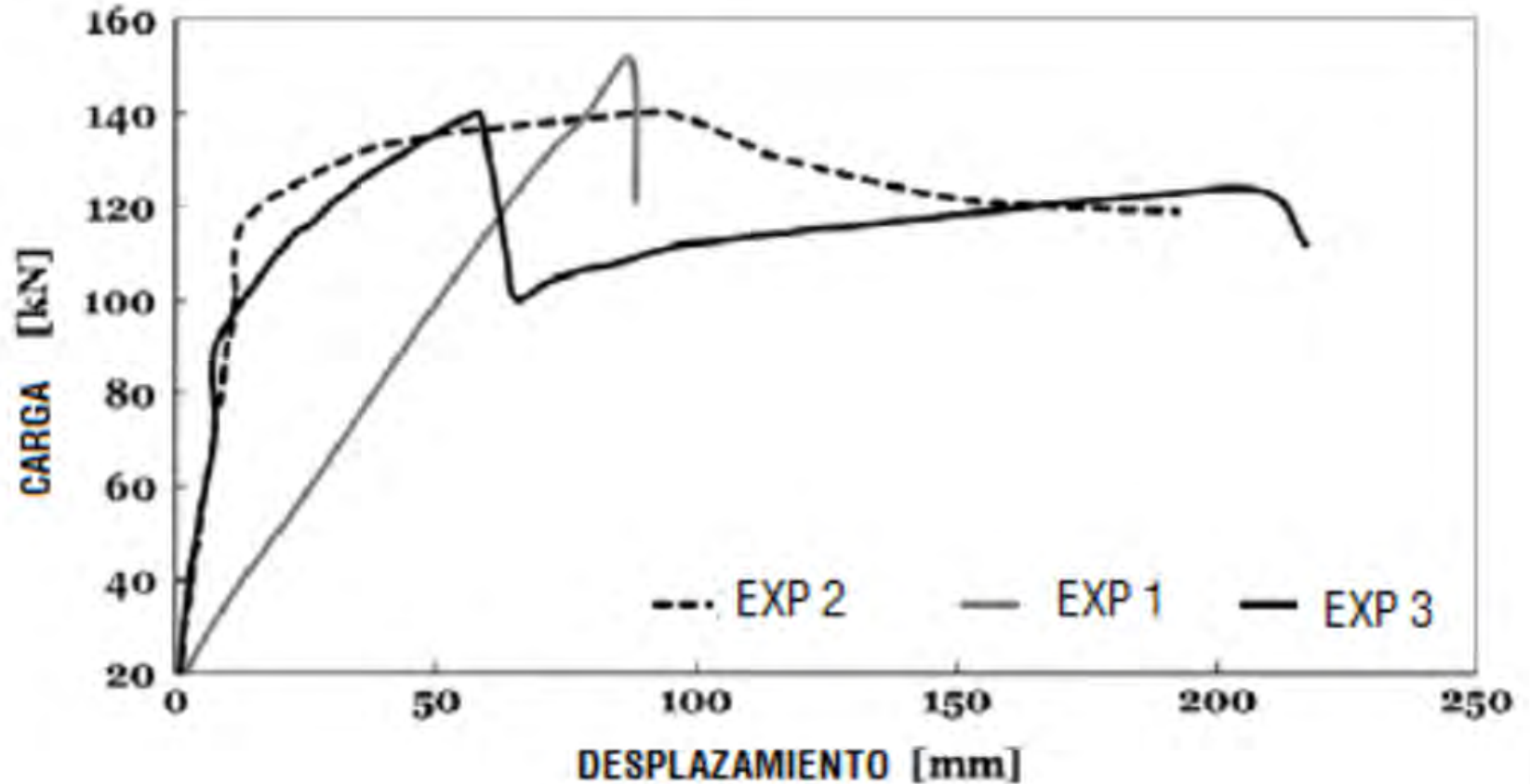
Para la etapa del desplazamiento controlado, se usó una variable adimensional, δ / l , para indicar la ductilidad de flexión de la muestra de ensayo, donde δ es la deflexión medida como desplazamiento en el centro del claro.

Comparación

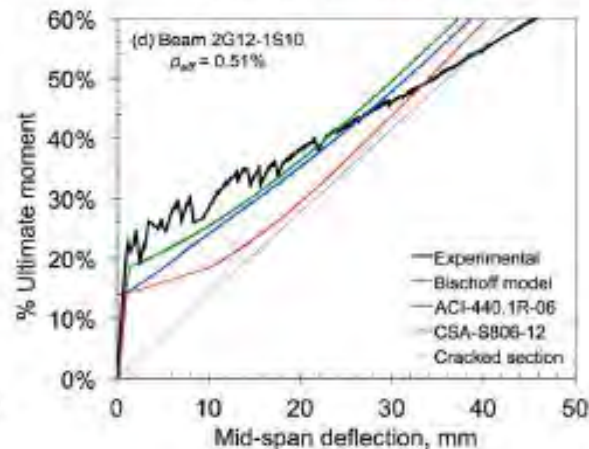
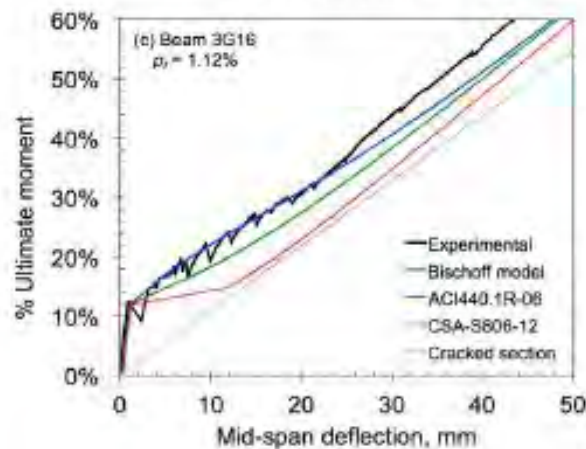
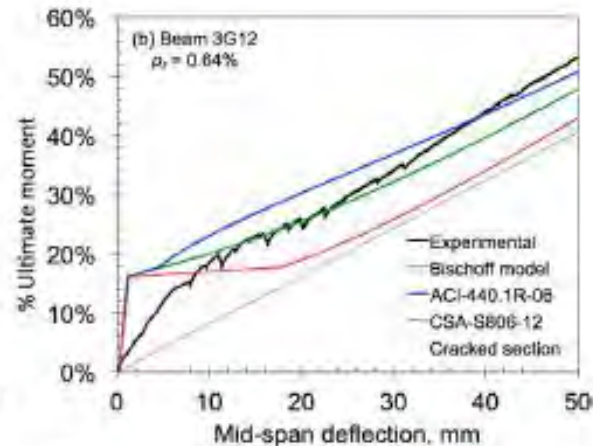
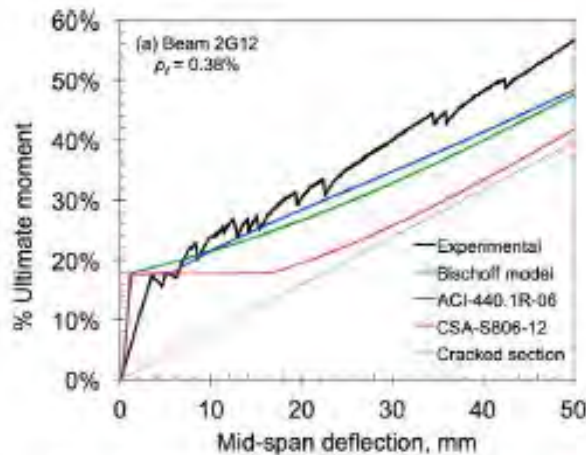


CURVAS ESFUERZO DEFORMACION PARA REFUERZO HIBRIDO

Comparación



Comparación



Resultados de la investigación



Resultados de la investigación



Resultados de la investigación



Conclusiones

1. Es posible implementar la utilización de vigas híbridas en zonas de la estructura que no hagan parte del sistema de resistencia sísmica.
2. Se deberá tener en cuenta que la falla puede suceder por aplastamiento del concreto.
3. Su deformabilidad es mayor que en vigas solamente armadas con refuerzo de acero convencional, por lo que sus deflexiones pueden llegar a ser críticas (condiciones de servicio).
4. El proceso industrial de la producción de barras en GFRP puede disminuir de manera ostensible el costo por metro lineal y el peso es 7 veces inferior al acero, valores agregados para tener en cuenta.