



REFORZAMIENTO SÍSMICO DE ESTRUCTURAS CON MATERIALES COMPUESTOS FRP, SISTEMA SIKA CARBODUR.

UNIÓN VIGA – COLUMNA CON FRP
PANTALLAS EN CONCRETO REFORZADO CON FRP
(Según el ACI 440.2R-17)

ING. JORGE RENDÓN
RENDON.JORGE@CO.SIKA.COM

CONSTRUYENDO CONFIANZA



Reparar o Reforzar?

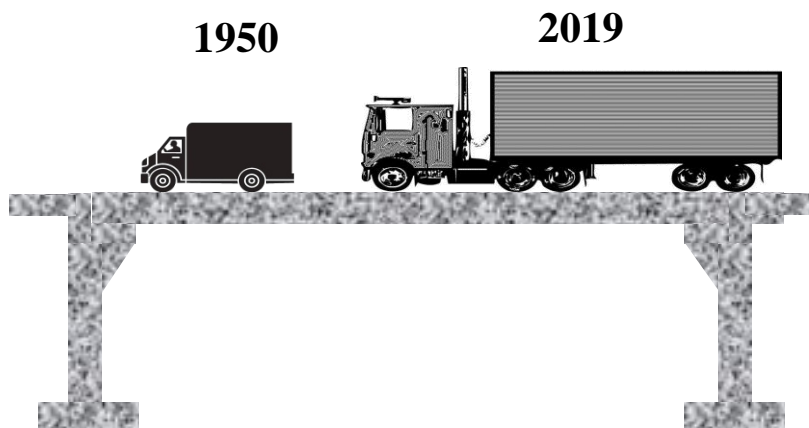


Reparar

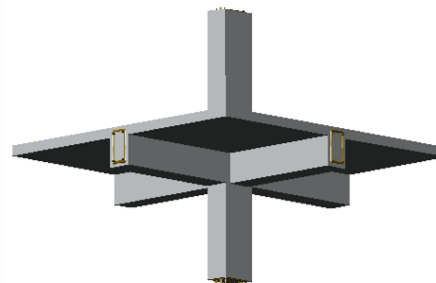


Reforzar

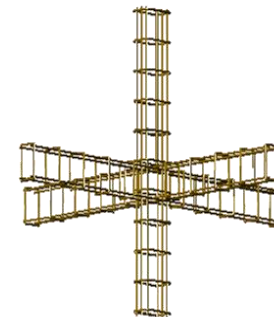
¿Por qué reforzar las estructuras?



Aumento de cargas verticales



Sección insuficiente de vigas y columnas



Acero de refuerzo insuficiente



Baja resistencia a compresión del concreto

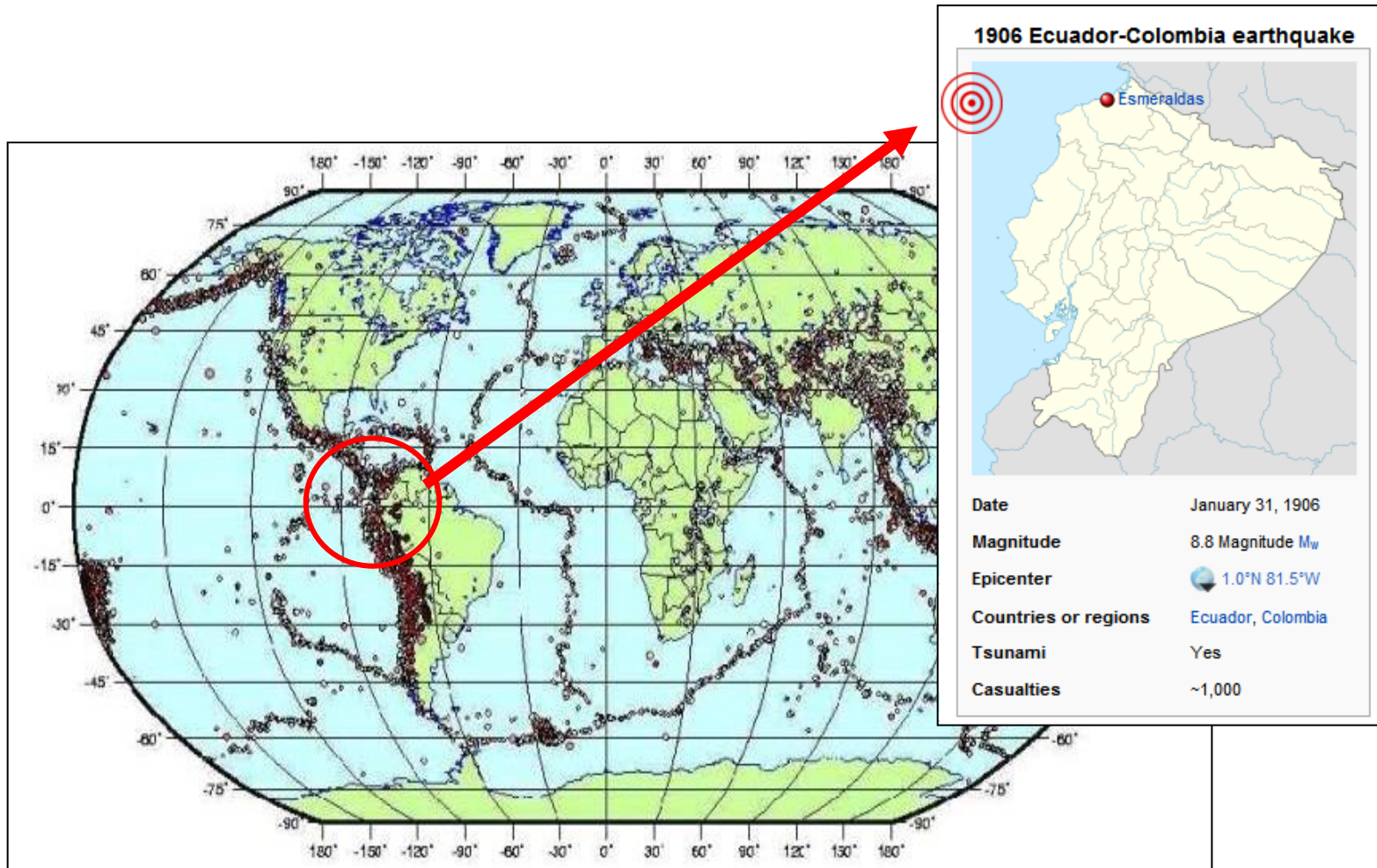


Deterioro en el tiempo, incendio, impacto, etc.



Actualización sísmica.

¿Por qué reforzar las estructuras?



Actualización Sísmica

¿Por qué reforzar las estructuras?



Sismo en Ecuador Abril 16 2016

¿Por qué reforzar las estructuras?

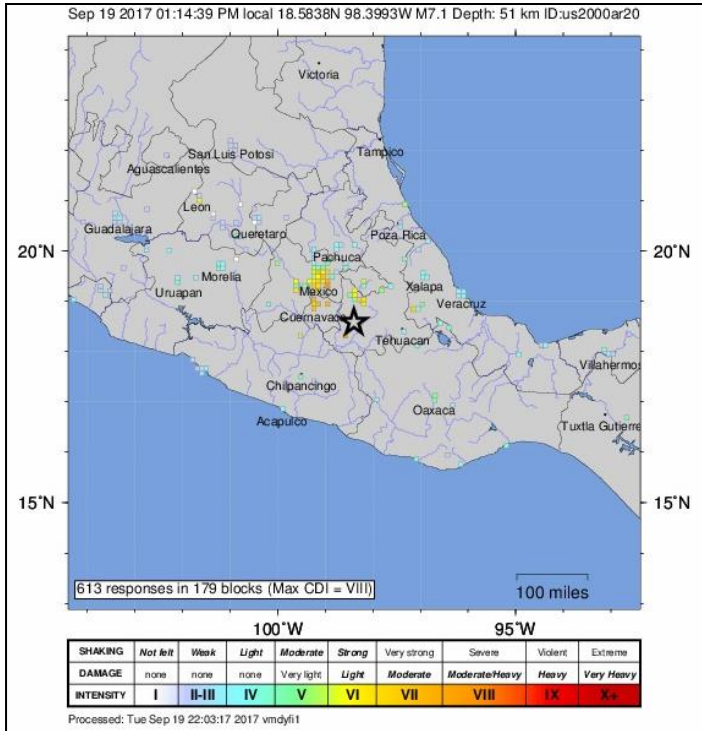


92 muertos



Sismo en México Septiembre 8 de 2017

¿Por qué reforzar las estructuras?



AL SUR DEL PAÍS

Al menos 80 muertos por el terremoto de 7,1 grados que ha sacudido México

Hay al menos 27 edificios derruidos, escapes de gas y heridos en la capital del país



Residente de Ciudad de México recoge la ruina de un edificio después del terremoto (AFP)

Más noticias



Dani Rovira: "Me da vergüenza ser español"



Al menos 53 muertos por el terremoto de 7,1 grados que ha vuelto a sacudir México



El increíble cambio



La Kafiwa, el nuevo

337 muertos

Sismo en México Septiembre 19 de 2017

Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

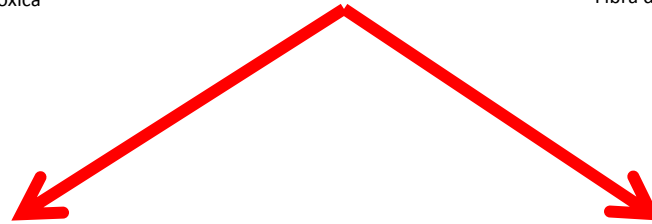
CFRP: Carbon Fiber reinforced Polymer



Resina epóxica



Fibra de carbono



Platina de fibra de carbono Sika
CarboDur S1012



Laminados prefabricados



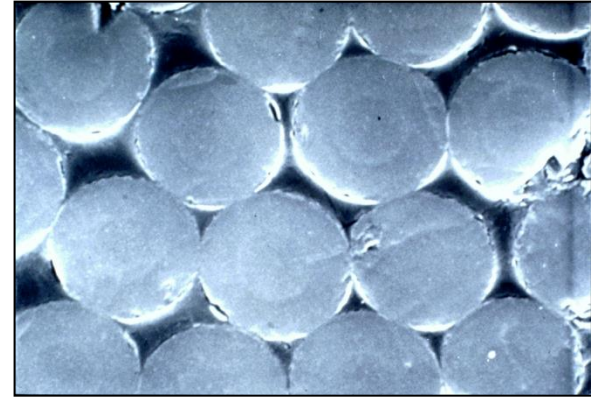
Tejido de fibra de carbono
SikaWrap 600C



Laminados manuales

Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

Platinas de fibra de carbono: Laminado prefabricado

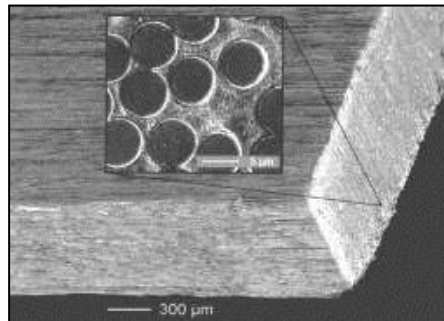
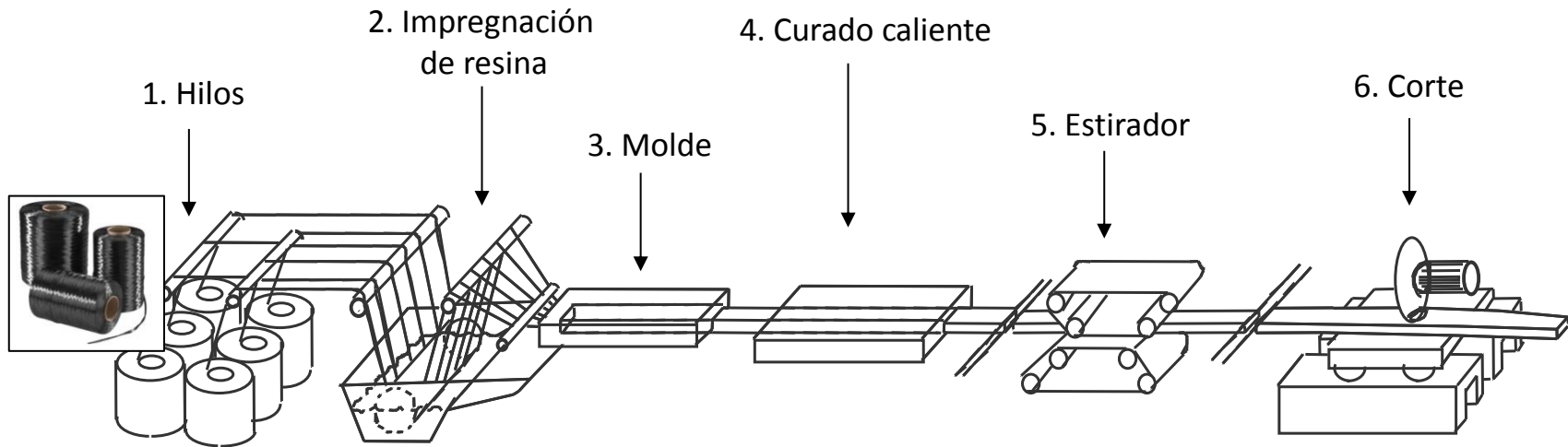


Vista en microscopio

Descripción: Platinas de fibra de carbono embebidas en una matriz endurecida de resina epóxica (70% fibra y 30% resina).

Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

Platinas de fibra de carbono: Fabricación



Vista microscópica de una platina de fibra de carbono

Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

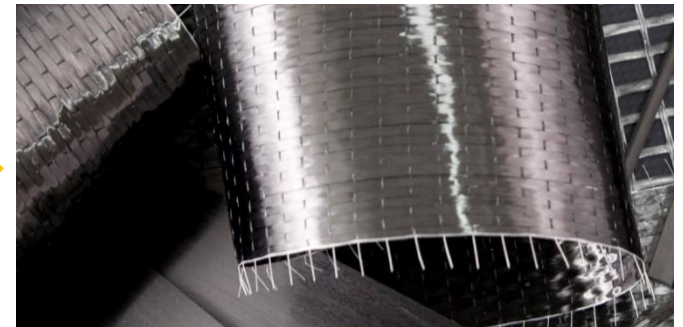
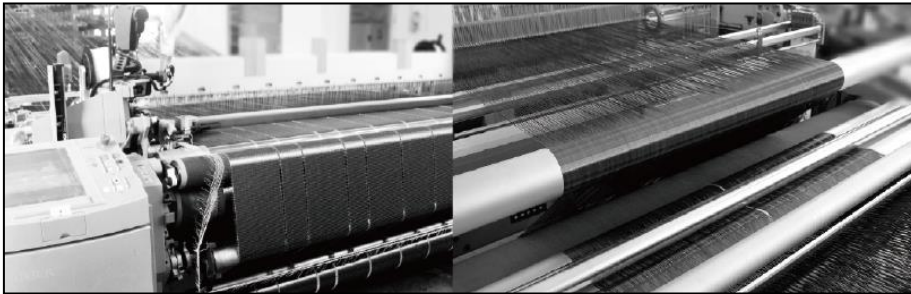
Tejido de fibra de carbono: Laminado manual



Descripción: Tejido de fibra de carbono (unidireccional o bidireccional) que al impregnarlo con un adhesivo epóxico forma el laminado

Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

Tejido de fibra de carbono: Fabricación



Tejiendo la trama del tejido de fibra de carbono

Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

Tejidos de fibra de carbono: Laminado manual



Mezclado del adhesivo epóxico
(**Sikadur 301**)



Impregnación del tejido de fibra de carbono con el adhesivo epóxico **Sikadur 301**



Imprimación de la superficie con el adhesivo epóxico **Sikadur 301**



Colocación del tejido de fibra de carbono **SikaWrap 600C**

Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

Sistema Sika CarboDur: Tipologías de sistemas CFRP

Laminados prefabricados

Sika CarboDur® CFRP
Sika CarboShear L
Sika CarboDur® (barras y platinas) para aplicaciones NSM
Sika CarboStress (sistema postensado)
Sikadur®, adhesivos estructurales

Laminados manuales

SikaWrap® (tejidos)
SikaWrap® FX (anclajes)
SikaWrap® Grid (mallas)
Sikadur®, adhesivos estructurales

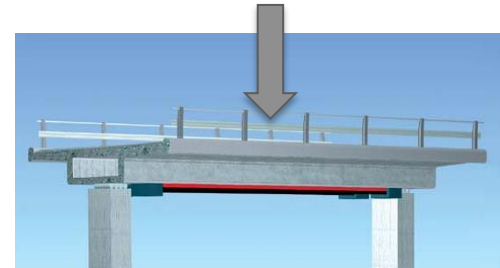


Los sistemas prefabricados representan aproximadamente el 80% de las aplicaciones en Europa, al ser considerados más seguros y ser más eficientes y sencillos de colocar en obra.

Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

Por qué usar el FRP:

1. Gran resistencia a la tensión



2. Bajo peso (Rápida y fácil instalación)



3. No se corroe



Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

Sika CarboDur S1012:



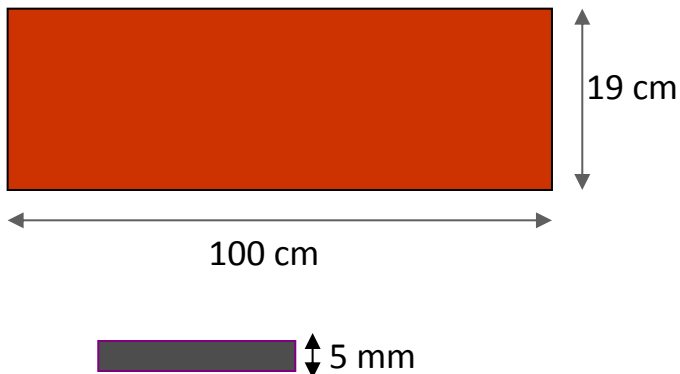
Resist. Tensión = 28.000 kg/cm²

Area = 120 mm²

Peso = 0.18 kg/m

No se corroe

Platina metálica:



Resist. Tensión = 3.500 kg/cm² (8)

Area = 950 mm² (8 veces más)

Peso = 7.5 kg/m (42 veces más)

Se corroe

SISTEMA SIKA CARBODUR



Tejidos SikaWrap



Platinas Sika CarboDur



Platinas tensionadas Sika CarboStress



SikaWrap FX-50C



Nudos

ACI 440.2R-17

Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

Guía de diseño norteamericana:

ACI 440.2R-17

Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures

Reported by ACI Committee 440

EXTERNALLY BONDED FRP SYSTEMS FOR STRENGTHENING CONCRETE STRUCTURES (ACI 440.2R-17)

10.1.1.1. Design of FRP reinforcement. The design of FRP reinforcement for concrete structures shall be in accordance with the provisions of this section. The design shall consider the ultimate limit state (ULS) and the service limit state (SLS). The design shall also consider the effects of creep and shrinkage.

Fig. 11.3—Column plastic hinge confinement

EXTERNALLY BONDED FRP SYSTEMS FOR STRENGTHENING CONCRETE STRUCTURES (ACI 440.2R-17)

11.3.1.1.1. Design of FRP reinforcement. The design of FRP reinforcement for concrete structures shall be in accordance with the provisions of this section. The design shall consider the ultimate limit state (ULS) and the service limit state (SLS). The design shall also consider the effects of creep and shrinkage.

Fig. 11.4—Concealed FRP strengthening deep steel

EXTERNALLY BONDED FRP SYSTEMS FOR STRENGTHENING CONCRETE STRUCTURES (ACI 440.2R-17)

13.1.1.1. Design of FRP reinforcement. The design of FRP reinforcement for concrete structures shall be in accordance with the provisions of this section. The design shall consider the ultimate limit state (ULS) and the service limit state (SLS). The design shall also consider the effects of creep and shrinkage.

Fig. 13.1—Shear strengthening

EXTERNALLY BONDED FRP SYSTEMS FOR STRENGTHENING CONCRETE STRUCTURES (ACI 440.2R-17)

16.1.1.1. Design of FRP reinforcement. The design of FRP reinforcement for concrete structures shall be in accordance with the provisions of this section. The design shall consider the ultimate limit state (ULS) and the service limit state (SLS). The design shall also consider the effects of creep and shrinkage.

Table 16.10a—Column material property

Property	Symbol
Concrete compressive strength	f_c'
Concrete tensile strength	f_t
Concrete modulus of elasticity	E_c
FRP tensile strength	f_f
FRP modulus of elasticity	E_f
FRP thickness	t_f
FRP width	b_f

Table 16.10b—Procedure for designing plastic hinge confinement for seismic strengthening

Step	Procedure
Step 1	Determine the seismic demand.
Step 2	Design the FRP system for seismic strengthening.
Step 3	Check the FRP system for seismic strengthening.
Step 4	Check the FRP system for seismic strengthening.
Step 5	Check the FRP system for seismic strengthening.

Table 16.10c—Column material property

Property	Symbol
Concrete compressive strength	f_c'
Concrete tensile strength	f_t
Concrete modulus of elasticity	E_c
FRP tensile strength	f_f
FRP modulus of elasticity	E_f
FRP thickness	t_f
FRP width	b_f

Table 16.10d—Column material property

Property	Symbol
Concrete compressive strength	f_c'
Concrete tensile strength	f_t
Concrete modulus of elasticity	E_c
FRP tensile strength	f_f
FRP modulus of elasticity	E_f
FRP thickness	t_f
FRP width	b_f

Table 16.10e—Column material property

Property	Symbol
Concrete compressive strength	f_c'
Concrete tensile strength	f_t
Concrete modulus of elasticity	E_c
FRP tensile strength	f_f
FRP modulus of elasticity	E_f
FRP thickness	t_f
FRP width	b_f

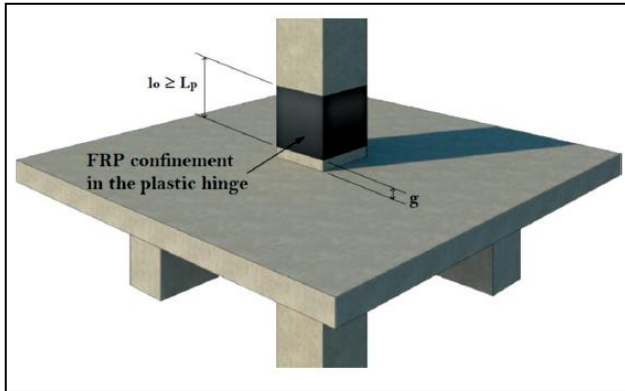
Table 16.10f—Column material property

Property	Symbol
Concrete compressive strength	f_c'
Concrete tensile strength	f_t
Concrete modulus of elasticity	E_c
FRP tensile strength	f_f
FRP modulus of elasticity	E_f
FRP thickness	t_f
FRP width	b_f

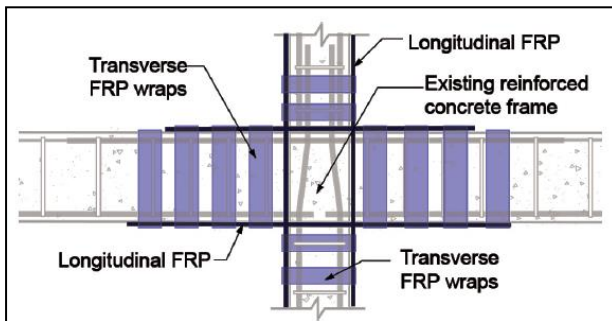
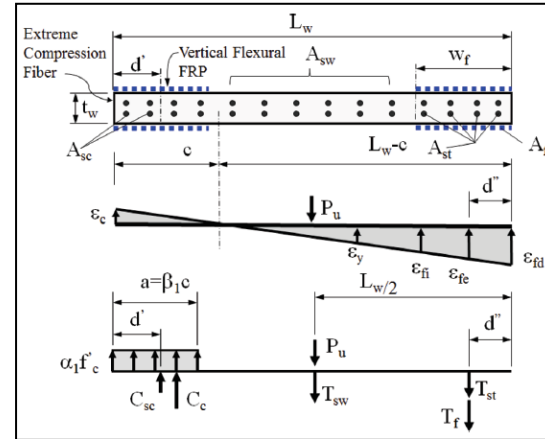
ACI 440.2R (2017)

Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

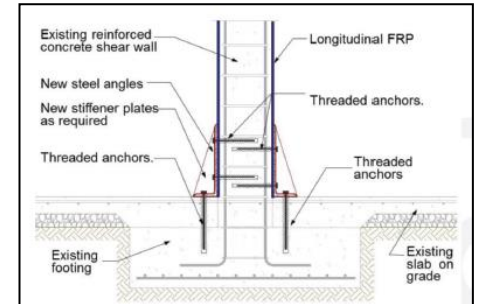
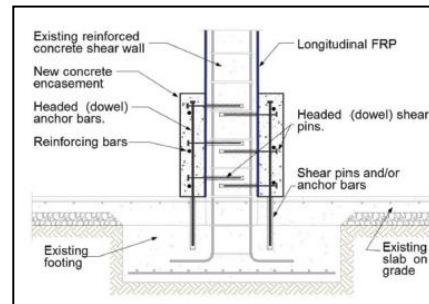
Reforzamiento sísmico (ACI 440.2R-17):



Confinamiento de la zona de rótula plástica en columnas



Unión viga – columna (Flexión y cortante)

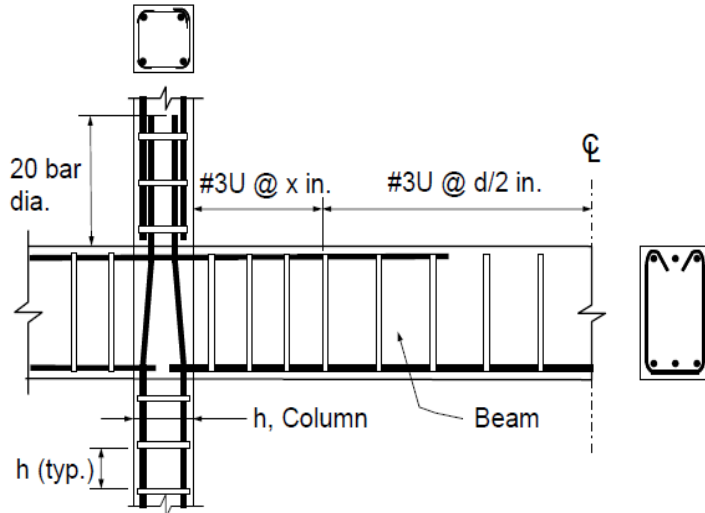


NUDOS

MUROS

Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

Daños en los nudos:



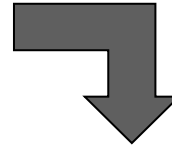
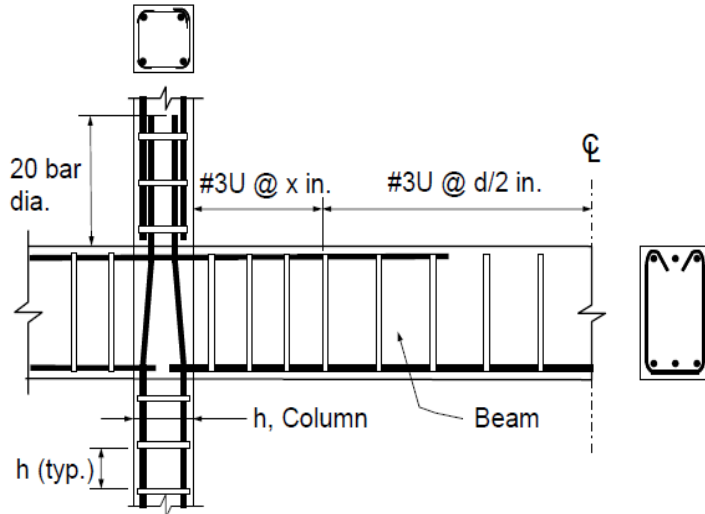
Disposición del acero de refuerzo en un nudo de un edificio de los años 70 o anterior.



Armenia - Colombia 1999

Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

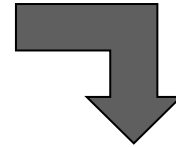
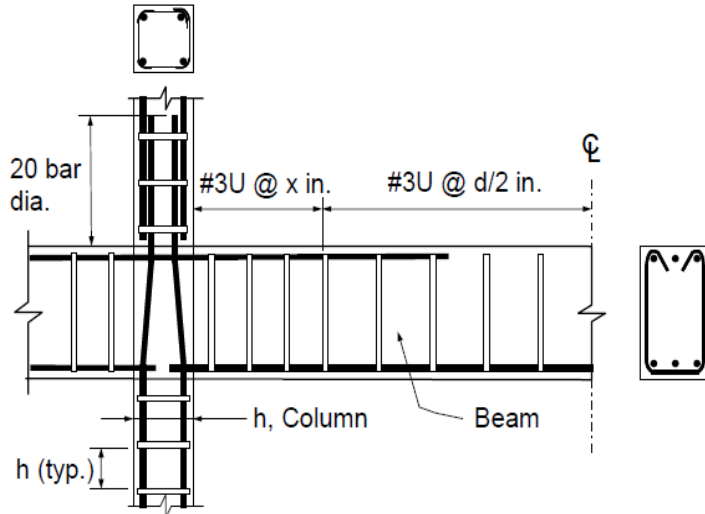
Daños en los nudos:



Chile 2010

Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

Daños en los nudos:



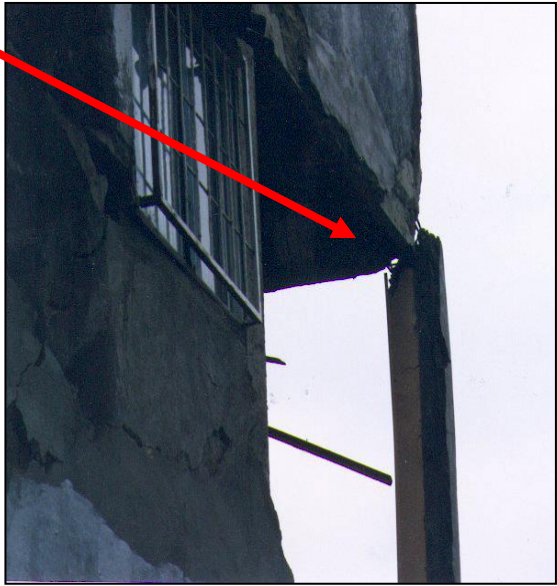
Chile 2010

Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

Daños en los nudos:



Armenia - Colombia 1999



Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

Daños en los nudos:

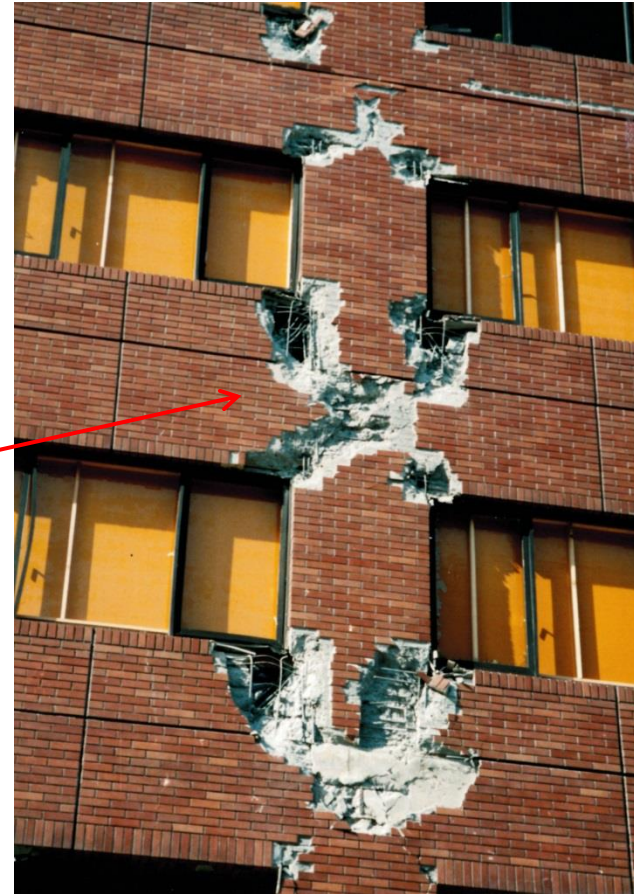


Kobe - Japón 1995



Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

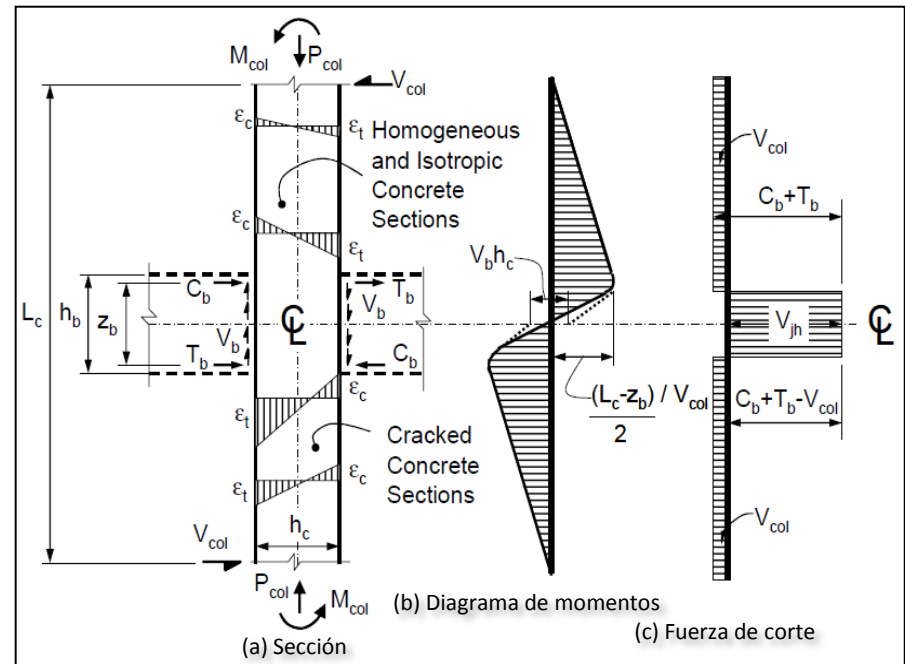
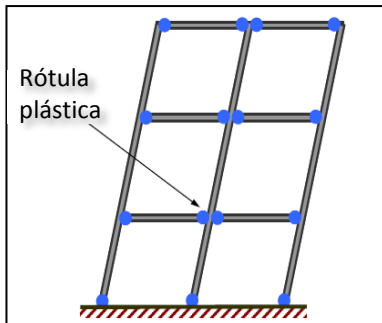
Daños en los nudos:



Kobe - Japón 1995

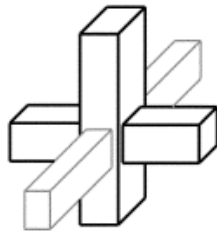
Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

Fuerzas en los nudos durante un sismo:

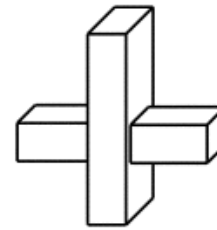


Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

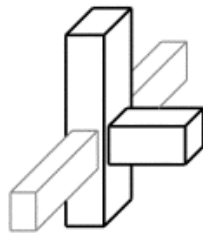
Reforzamiento sísmico (ACI 440.2R-17):



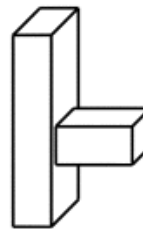
Nudo interior con vigas transversales



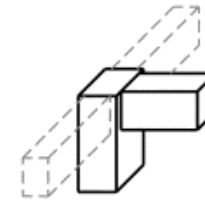
Nudo interior sin vigas transversales



Nudo exterior con vigas transversales



Nudo exterior sin vigas transversales

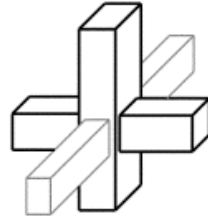


Nudo en L con/sin vigas transversales

CLASIFICACIÓN DE LOS NUDOS

Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

Reforzamiento sísmico (ACI 440.2R-17):



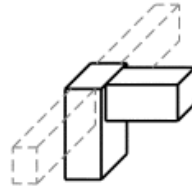
Nudo interior con vigas transversales



CLASIFICACIÓN DE LOS NUDOS

Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

Reforzamiento sísmico (ACI 440.2R-17):



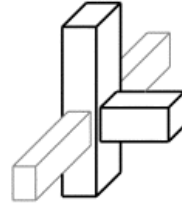
Nudo en L con/sin vigas transversales



CLASIFICACIÓN DE LOS NUDOS

Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

Reforzamiento sísmico (ACI 440.2R-17):



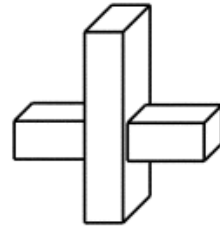
Nudo exterior con vigas transversales



CLASIFICACIÓN DE LOS NUDOS

Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

Reforzamiento sísmico (ACI 440.2R-17):



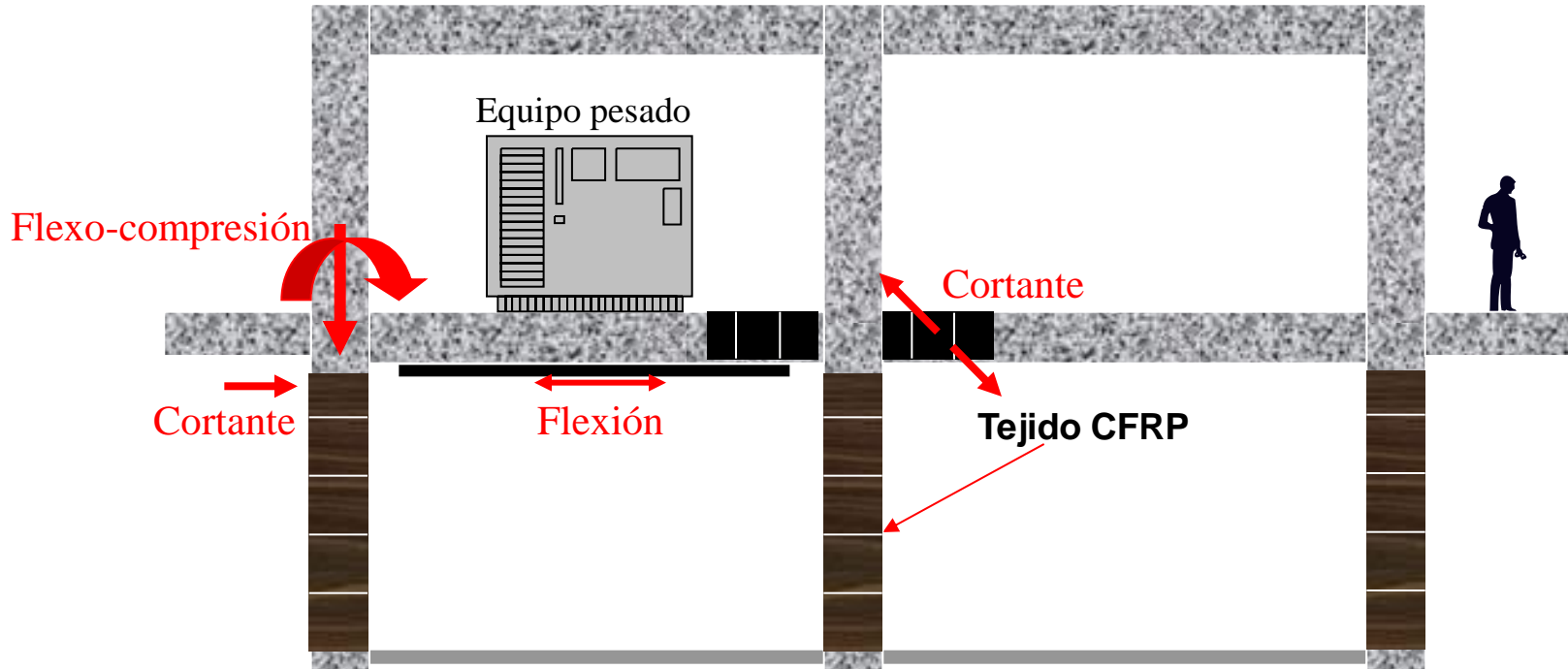
Nudo interior sin vigas transversales



CLASIFICACIÓN DE LOS NUDOS

Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

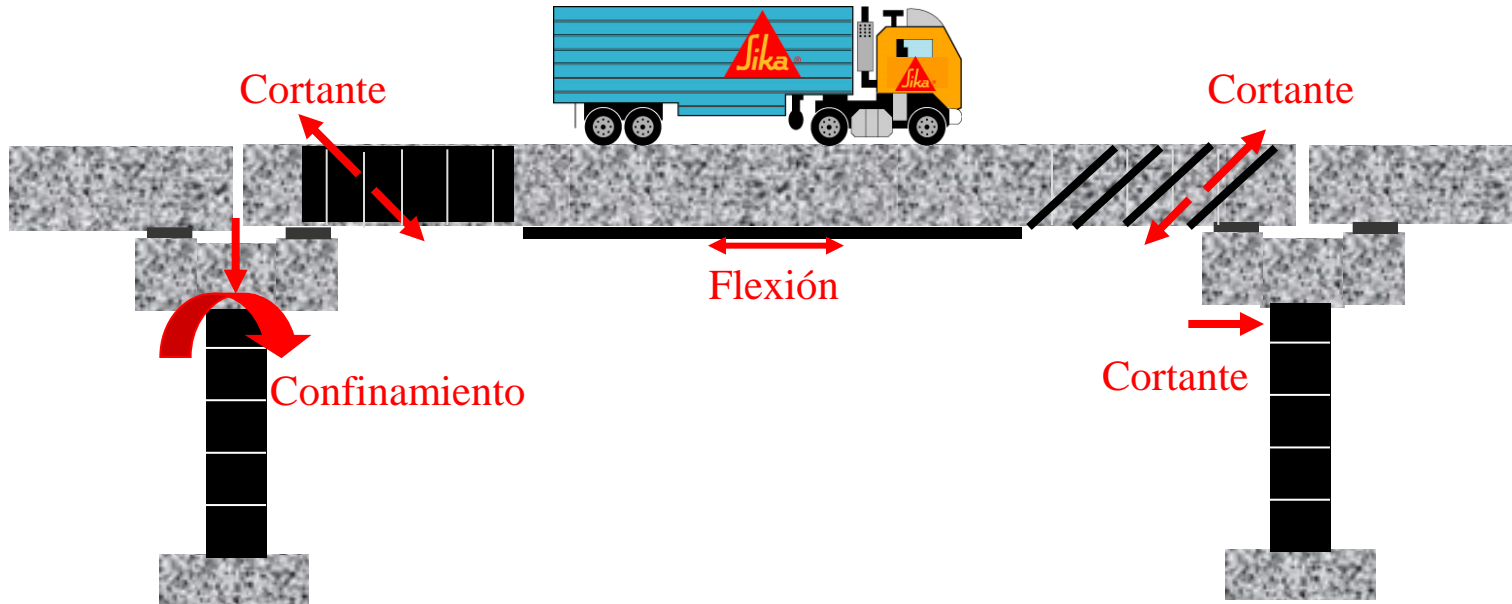
Sika CarboDur para:



Esfuerzos en una estructura sometida a cargas verticales

Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

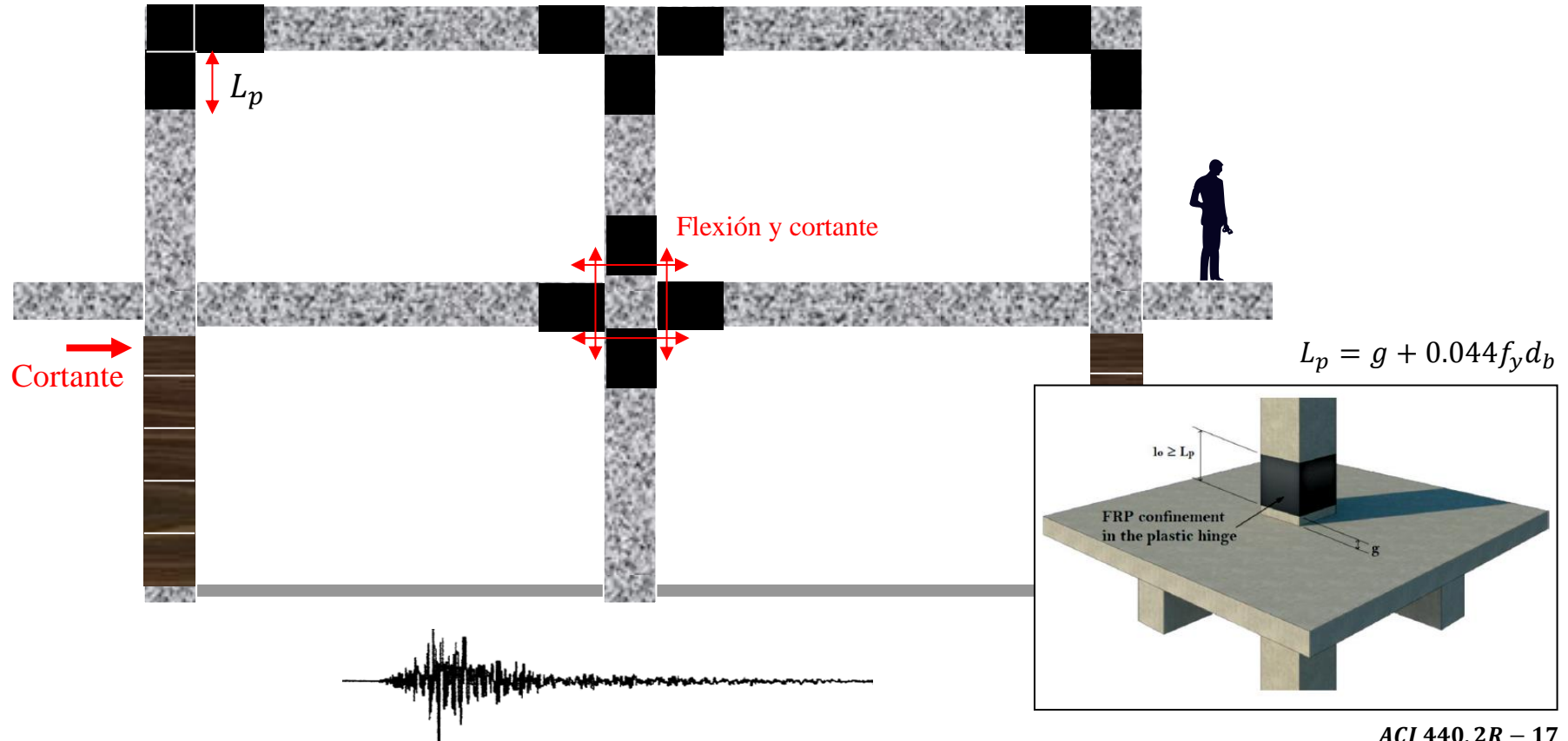
Sika CarboDur para:



Esfuerzos en una estructura sometida a cargas verticales

Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

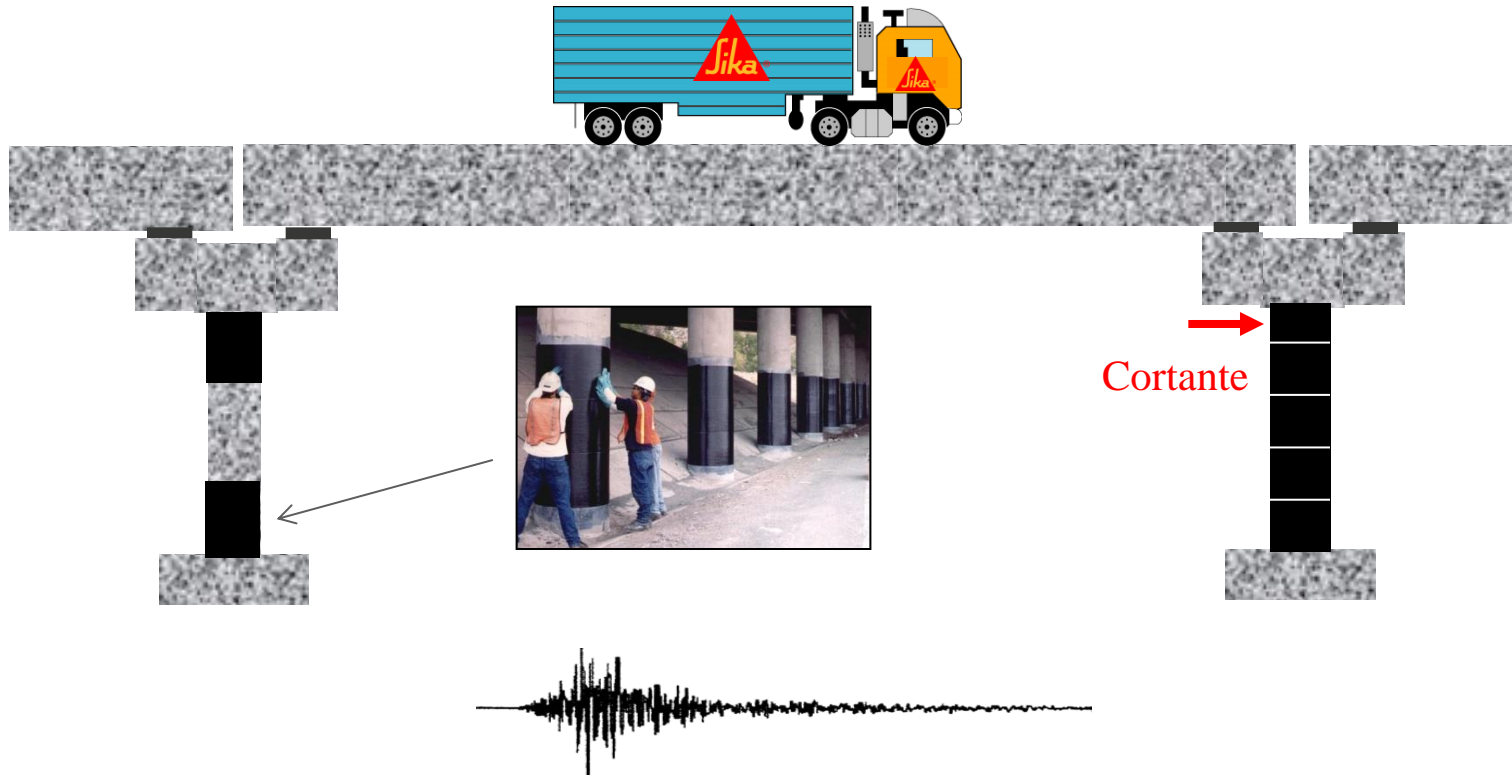
Sika CarboDur para:



Esfuerzos en una estructura sometida a cargas de sismo

Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

Sika CarboDur para:



Esfuerzos en una estructura sometida a cargas de sismo

Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

Reforzamiento de nudos:



Esto es complicado de hacer!

Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

Reforzamiento de nudos:



Alternativa con platinas metálicas



Esto es complicado de hacer!

ALGUNOS PROYECTOS INTERESANTES.....



Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

Residencias Galileo – Caracas (VENEZUELA)



HISTORIA

Edificio de apartamentos de 10 pisos construido en 1953, cuando no se tenían en cuenta las cargas de sismo en el diseño estructural.

En 2006 el dueño del edificio decide reforzar la estructura para que fuera capaz de soportar las cargas sísmicas generadas durante un terremoto.

La estructura tenía vigas en un solo sentido, no en ambos sentidos como debe ser para tener un desempeño adecuado antes cargas laterales de sismo. Se adicionaron las nuevas vigas de concreto reforzado y se reforzaron los nudos con un tejido de fibra de carbono.

Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)



Corte del tejido de fibra de carbono **SikaWrap 300C**



Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)



Imprimación de la superficie con el adhesivo **SikaDur 301**

Instalación del tejido de fibra de carbono **SikaWrap 300C**



Materialles Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)



Instalación del tejido de fibra de carbono **SikaWrap 300C**



Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)



Nudos reforzados con **SikaWrap 300C**



Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)



Nudos reforzados con **SikaWrap 300C**



Materialles Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

Premio al Mérito ICRI 2008: Reforzamiento al Edificio Galileo en Venezuela

Las residencias Galileo es un edificio de 10 pisos, construido en 1953 cuando no se tenían en cuenta las cargas de sismo en el diseño estructural. En la actualidad funcionan en su interior oficinas, locales comerciales, apartamentos y un nivel de parqueaderos en el sótano. En 2006 el dueño del edificio decide remodelar sus instalaciones y a su vez reforzar la estructura para que fuera capaz de soportar las cargas de sismo que se pudieran generar durante un terremoto. El proyecto incluyó los ensayos destructivos y no destructivos, análisis dinámico de la estructura y el diseño del reforzamiento estructural. Se detectaron deficiencias en la rigidez lateral, en la resistencia y ductilidad de los elementos estructurales. Los métodos de reforzamiento empleados fueron los encamisados en concreto reforzado de columnas y vigas, adición de nuevas vigas de concreto reforzado, y los encamisados de columnas y nudos con materiales compuestos FRP (tejido de fibra de carbono).



Propietario: Grupo Imalca (Caracas-Venezuela)
Contratista: B.R.S. Ingenieros, C.A. (Caracas)
Diseñador del Reforzamiento: Edisismo (Caracas)
Proveedor de productos: Sika Venezuela



Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

Edificio oficinas – Barranquilla (COLOMBIA)



HISTORIA

Edificio de apartamentos de 11 pisos construido en 2006, de acuerdo a la normativa sismo resistente colombiana NSR-98.

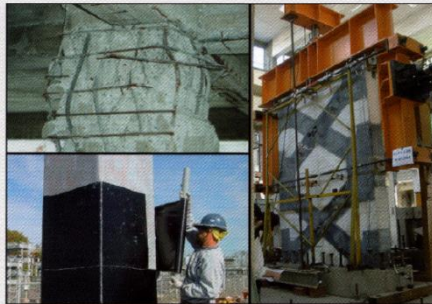
Deciden reforzar los nudos de una parte del edificio debido a que la resistencia a compresión del concreto en esos sitios quedó con un valor menor a lo especificado.

Se utilizó un tejido de fibra de carbono para el reforzamiento de los nudos.

Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

Guía de diseño europea:

bulletin 35



Retrofitting of concrete structures by externally bonded FRPs with emphasis on seismic applications

technical report

Seismic retrofitting of RC beam-column joints using FRP

Khalid M. Mosalam
University of California, Berkeley, USA

1 Introduction¹

Many existing precast 1970 codes, governing addition, beam bottom reinforcement. However, when subjected to moment at the joint to bond-slip of the beam the joint may experience significant deformation of reinforcement. Exterior beam-column joints are confined by beams attached. Accordingly, there are joints when subjected. However, the bond-slip seismic hazard, it is necessary to upgrade the shear reinforcement. This chapter focuses on recent earthquake column joint regions of detailed computational column joint regions in joints in static (pushout) deformation and/or by experimental studies discussed followed by

2 Observation

During recent earthquakes was observed that beams of many RC buildings building seismic design.

¹ Part of this chapter is based on Professor Ahmad Ghobarah, J.

JIB Bulletin 35: Retrofitting of

Fig. 15: Tests of external beam-column joints with shear

Fig. 16: Repair and retrofit of external beam-column joint

JIB Bulletin 35: Retrofitting of concrete structures by externally

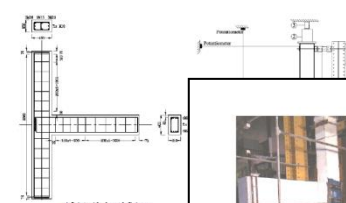


Fig. 15: Tests of external beam-column joints with shear

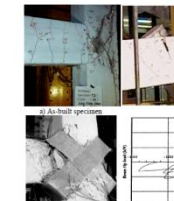


Fig. 16: Repair and retrofit of external beam-column joint

JIB Bulletin 35: Retrofitting of concrete structures by externally



Fig. 17: Tests of external beam-column joints with shear

Fig. 18: Comparison of FRP retrofitted and As-built specimens



Fig. 19: Comparison of FRP retrofitted and As-built specimens

JIB Bulletin 35: Retrofitting of concrete structures by externally

Column axial load, Internal joint steel reinforcements, Damage initiation, Type of composite system (carbon/epoxy vs. E-glass/epoxy and wet lay-up vs. precast composite systems), and Effect of the existence of transverse beams. Although several tests were conducted on exterior beam-column joints retrofitted with FRP, very limited tests are available on interior beam-column joints retrofitted with FRP. One of such rare studies is the one conducted by Mosalam (2000) where he used composite overlays to strengthen single models of interior beam-column joints and recorded increases in the strength, the stiffness, and the ductility of the repaired as well as the retrofitted specimens compared with the as-built specimens. However, these specimens were not representative of true shear-critical behaviour, but they behaved more like column-type elements subjected to bending without axial force.

5 Design of FRP retrofit system of RC beam-column joints

The design approach is based on providing FRP reinforcement to replace the deficiency in the required joint shear reinforcement or the inadequately anchored steel reinforcement. This section describes a two-step design for flexure and shear. The exposition is based on the proposed design procedure of retrofitting external beam-column joints with GFRP laminates discussed in [El-Amoury and Ghobarah, 2002].

5.1 Flexure

The FRP composites are used to replace the inadequately anchored bottom steel bars of the beam. In this design, the composite laminates are provided to develop the same moment capacity of a beam section that is reinforced with well-anchored longitudinal bars. This moment limit is imposed on the flexural strengthening system to avoid creating a beam that is stronger than the column.

5.1.1 The beam flexural moment

The moment capacity of the beam section is determined taking into account the over-strength of the reinforcing steel. The tensile force in the steel is calculated using the actual yield strength as follows:

$$T_s = 1.25 f_y A_s \quad (20)$$

where T_s is the tension force in the bottom steel bars, f_y is the nominal yield strength of the steel, and A_s is the cross-sectional area of the tension steel reinforcing bars.

The concrete compression block depth, a , can be calculated using the well-known force equilibrium expression:

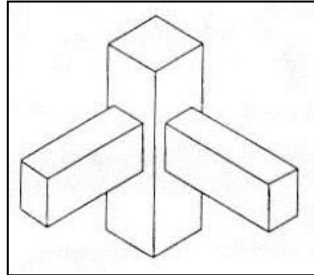
$$T_s = C_c + C_s = \alpha_1 f'_c b \lambda a + A_s E_s \epsilon_s' \quad (21)$$

where C_c is the compression force in concrete, C_s is the compression force in the compression reinforcement, $\alpha_1 = 0.85 - 0.0015 f'_c \leq 0.87$ is equivalent compression block reduction factor (according to [CSA, 1994]), f'_c is the concrete compressive strength, b is

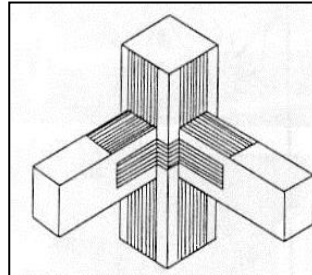
FIB 35 (2006)



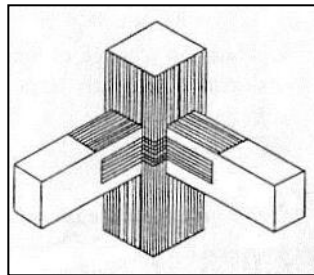
Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)



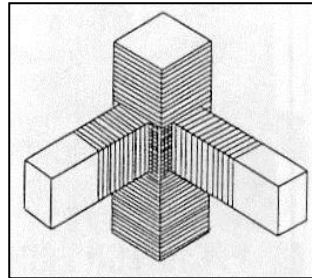
1. Unión viga – columna típica



2. CFRP en forma de L en todas las caras



3. CFRP vertical en las esquinas



4. CFRP envolviendo vigas y columnas



Structural Journal de la India (1999)

Materialles Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)



Colocación del SikaWrap 103C

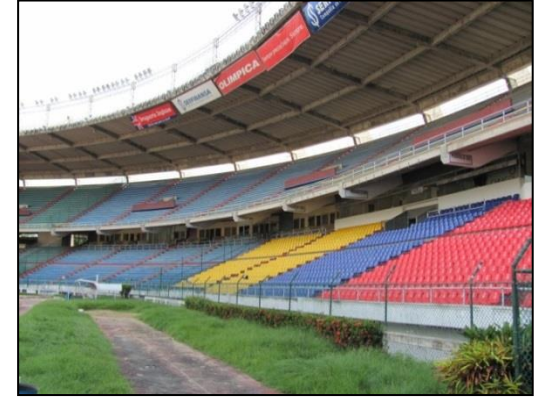
Materialles Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)



Colocación del SikaWrap 103C

Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

Estadio Metropolitano – Barranquilla (COLOMBIA)



Capacidad: 50.000 espectadores

HISTORIA

Inaugurado en 1986, el estadio Metropolitano ha sido desde entonces uno de los estadios de fútbol más importantes de Colombia. Ha sido la sede donde jugó como local la Selección de Colombia en las eliminatorias de los campeonatos mundiales de Italia 1990, Estados Unidos 1994, Francia 1998, Alemania 2006, Brasil 2014 Y Rusia 2018.

En 2011 el estadio Metropolitano fue la subsede de la Copa Mundial Sub-20 donde se realizó la inauguración del evento.

Los 56 codos aguja se reforzaron en 2010, debido a unas fisuras que habían aparecido desde que se inauguró la estructura.

Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)



Fisuras en los 56 codos aguja

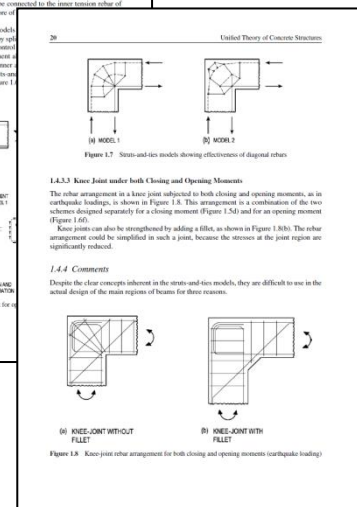
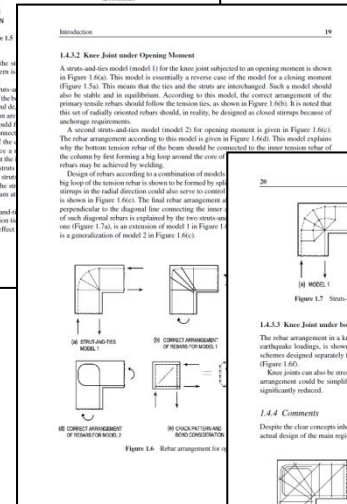
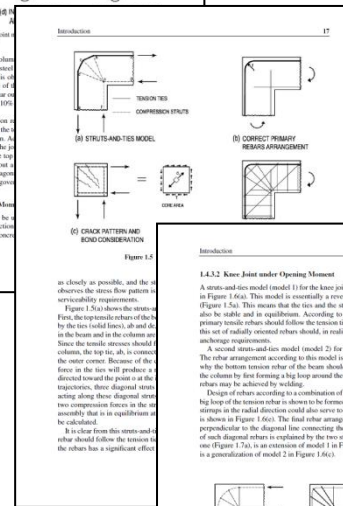
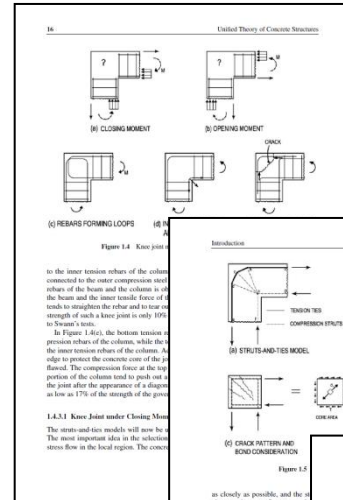
Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

Se consultaron estos libros:

UNIFIED THEORY OF CONCRETE STRUCTURES

Thomas T. C. Hsu and Y. L. Mo
University of Houston, USA

 **WILEY**
A John Wiley and Sons, Ltd., Publication



CONSTRUYENDO CONFIANZA



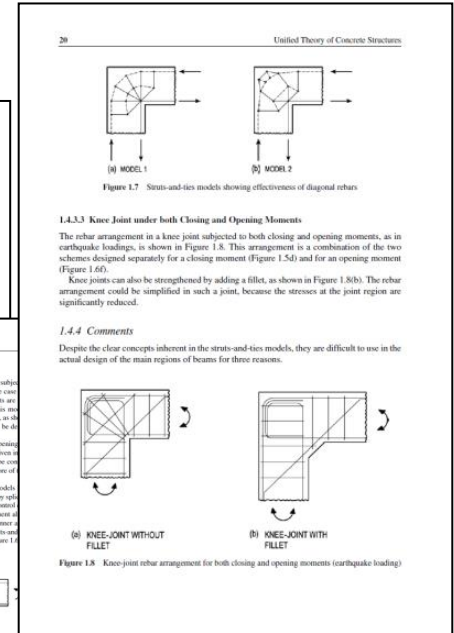
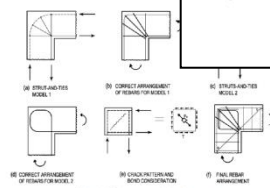
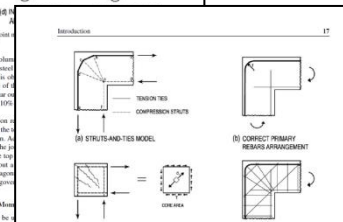
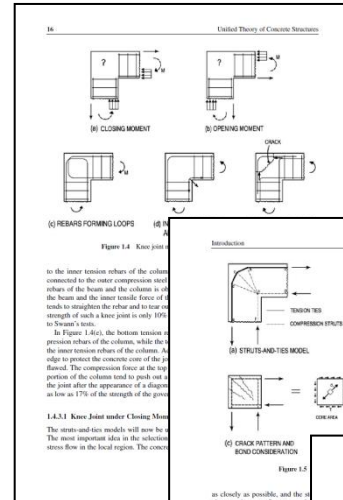
Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

Se consultaron estos libros:

UNIFIED THEORY OF CONCRETE STRUCTURES

Thomas T. C. Hsu and Y. L. Mo
University of Houston, USA

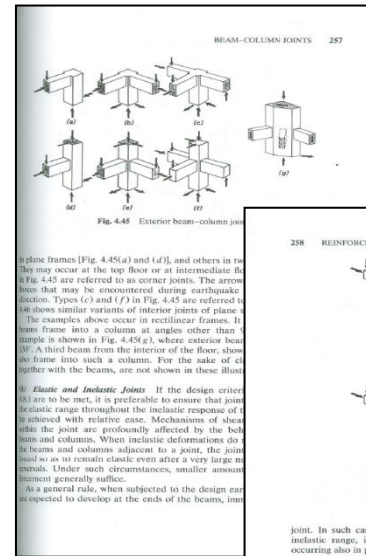
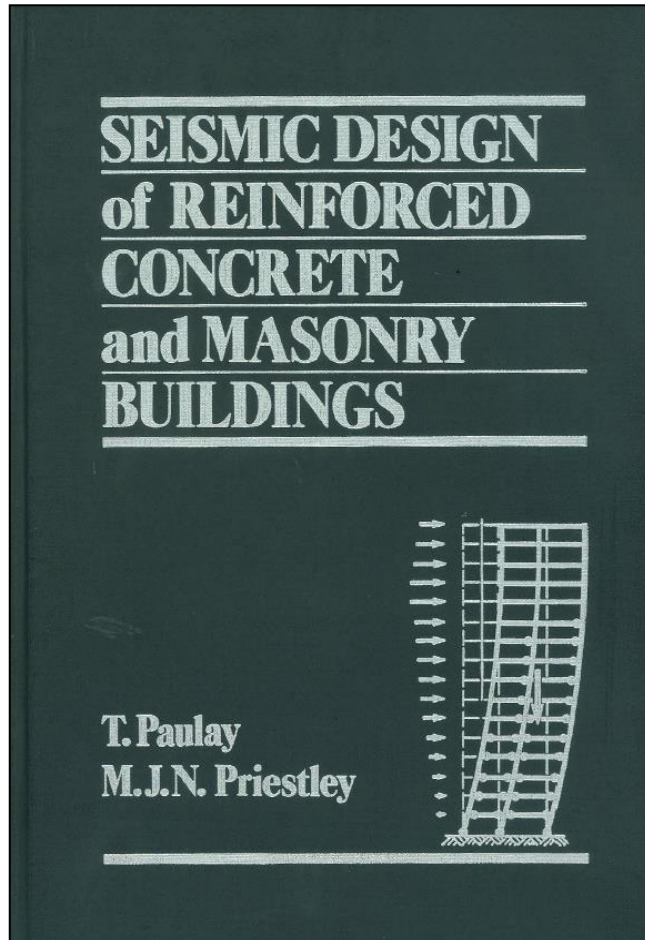
 WILEY
A John Wiley and Sons, Ltd., Publication



CONSTRUYENDO CONFIANZA

Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

Se consultaron estos libros:

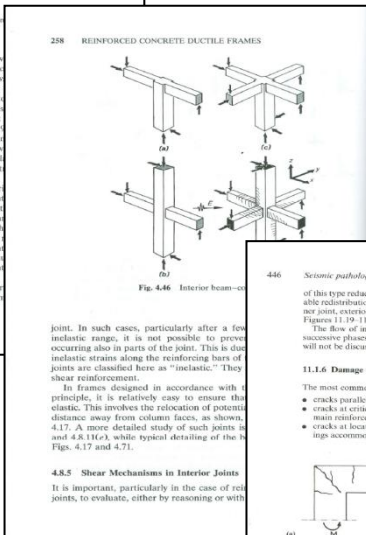


in plane frames [Fig. 4.45(a) and (d)], and others in which they may occur at the top floor or at intermediate floors. Types (a) and (d) in Fig. 4.45 are referred to as corner joints. The arrow forces that may be encountered during earthquake excitation. Types (c) and (f) in Fig. 4.45 are referred to as exterior joints. Fig. 4.45 shows similar variants of interior joints of plane frames. The examples above occur in rectilinear frames. It is also possible to have a beam frame into a column at angles other than 90°. A sample is shown in Fig. 4.45(g), where exterior beam-column joints are also shown. For the sake of clarity, the beams and columns adjacent to a joint, are not shown in these illustrations.

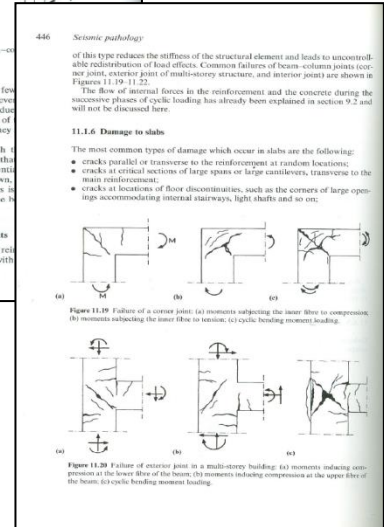
4.8.5 Elastic and Inelastic Joints If the design criteria are to be met, it is preferable to ensure that joints remain elastic throughout the inelastic response of the frame. This is achieved with relative ease. Mechanisms of shear failure in joints are profoundly affected by the beams and columns. When inelastic deformations do occur, the beams and columns adjacent to a joint, the joint itself, so as to remain elastic even after a very large inelastic displacement. Under such circumstances, smaller amounts of reinforcement generally suffice. As a general rule, when subjected to the design end moments, the design end moments are expected to develop at the ends of the beams, interior joints.

In such cases, particularly after a few cycles of inelastic range, it is not possible to prevent occurring also in parts of the joint. This is due to inelastic strains along the reinforcing bars of joints are classified here as "inelastic." They are shear reinforcement.

In frames designed in accordance with the principle, it is relatively easy to ensure that joints remain elastic. This involves the relocation of potential plastic hinges away from column faces, as shown in Fig. 4.17. A more detailed study of such joints is given in 4.8.11(c), while typical detailing of the joints is shown in Figs. 4.17 and 4.71.



4.8.5 Shear Mechanisms in Interior Joints It is important, particularly in the case of reinforced concrete, to evaluate, either by reasoning or with



Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)



Limpieza de los codos aguja



Inyección de las fisuras con una resina epóxica de baja viscosidad **Sikadur 35 Hi Mod LV**



Demarcación de las tiras de fibra de carbono

Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)



Andamios en los 56 codos aguja



Colocación del SikaWrap 600C

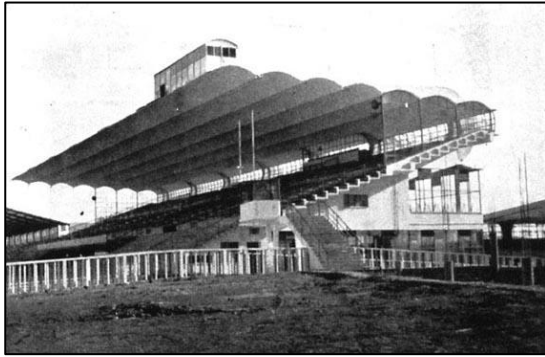
Materialles Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)



Colocación del SikaWrap 600C

Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

Estadio de Techo – Bogotá (COLOMBIA)



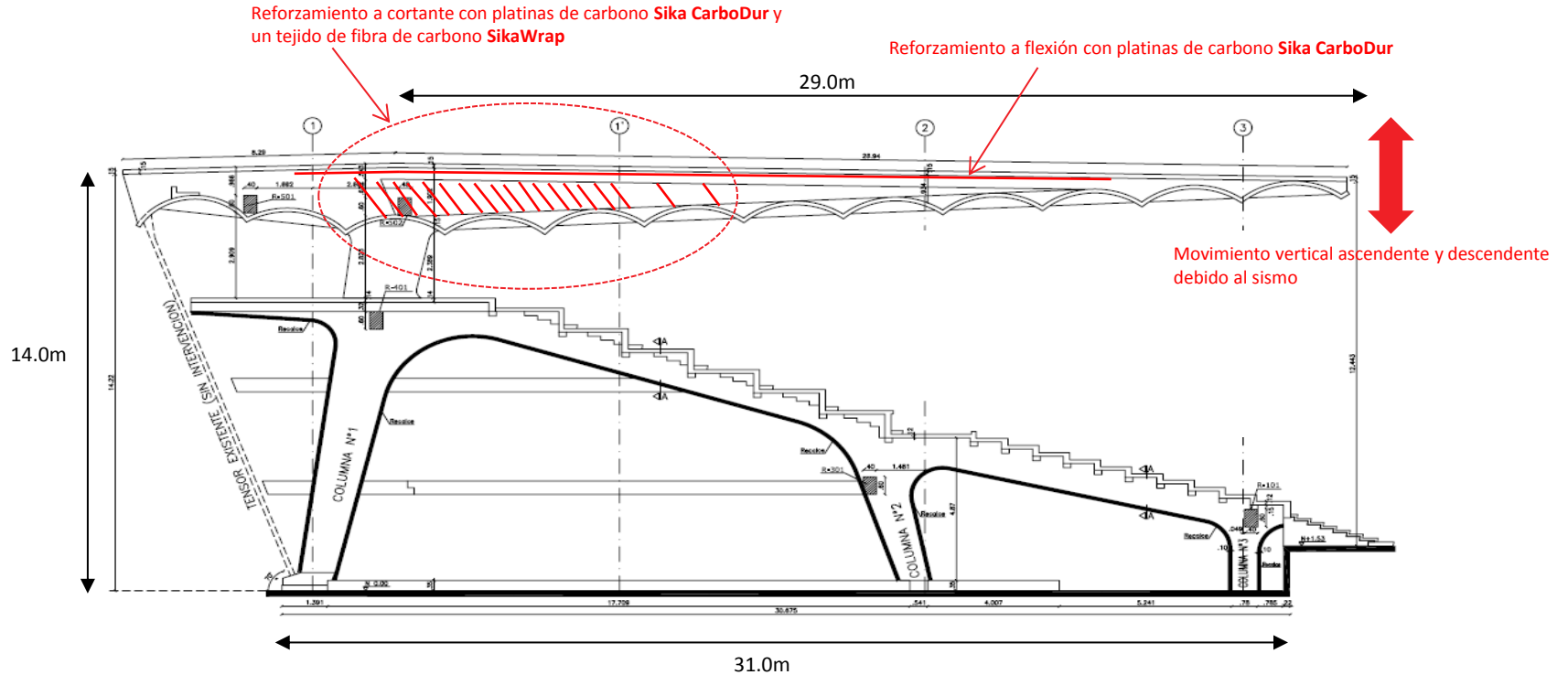
HISTORIA

Construido en 1959, con el nombre de Club Hípico de Hipotecho, ha sido un patrimonio arquitectónico de la ciudad de Bogotá.

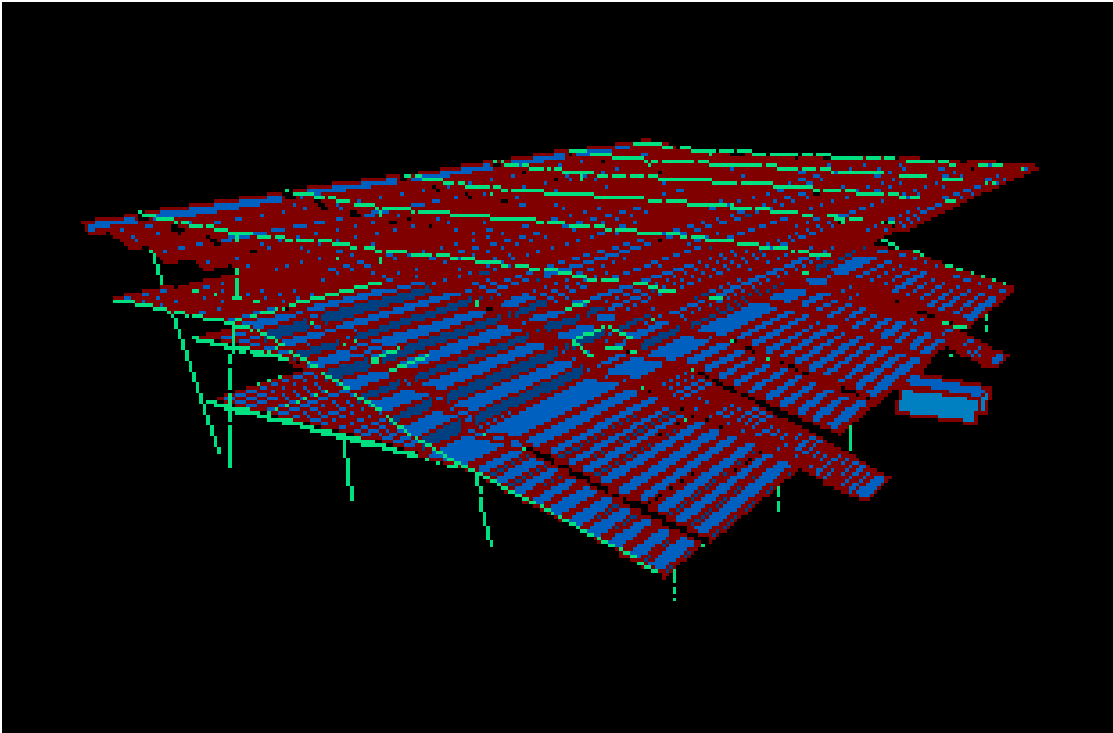
Los ingenieros diseñadores fueron Guillermo González Zuleta y Doménico Parma , muy conocidos por sus proyectos.

Entre 2009 y 2010 fue reforzado para cumplir con la normativa sismo resistente de Colombia. Las vigas del techo de la estructura (postensadas de concreto reforzado) fueron reforzadas con platinas y tejidos de fibra de carbono.

Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)



Materialles Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)



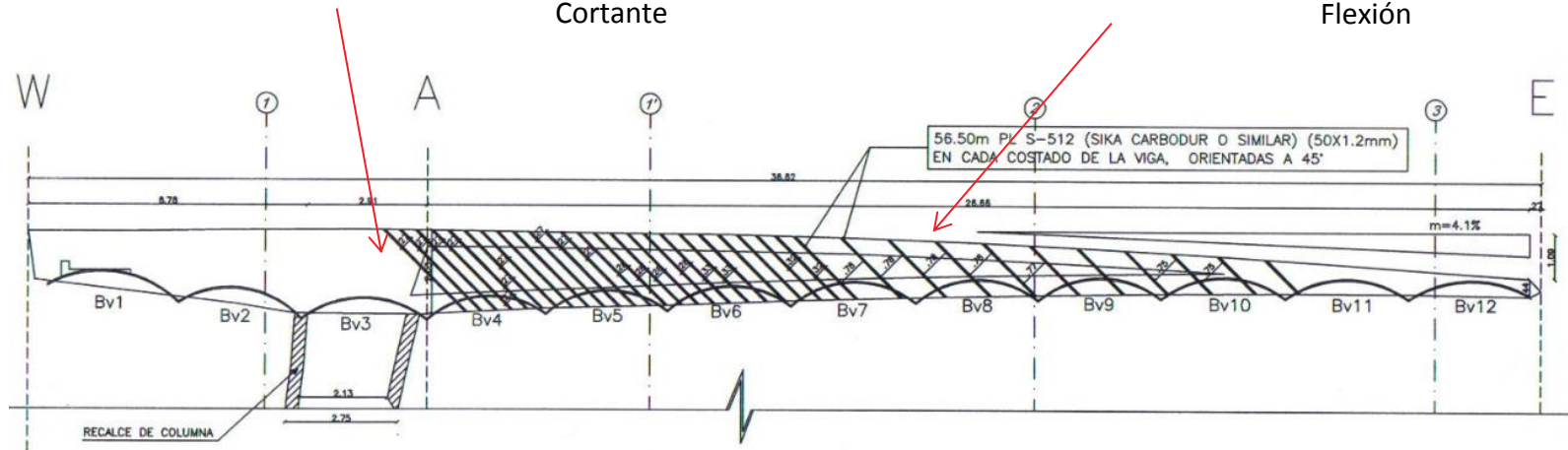
Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)



Cortante



Flexión



Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

Reforzamiento a flexión:



Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

Reforzamiento a cortante:



Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

Reforzamiento a cortante:



Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

Reforzamiento a cortante:



Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

Reforzamiento a cortante:



Materialles Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)



Reforzamiento terminado

Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

Interstate 80 - Salt Lake City (USA)



HISTORIA

En el año 2000, el Departamento de Transportes de Utah empezó un programa de reparación y reforzamiento sísmico de puentes construidos en los años 60. Un total de 25 puentes requerían de una intervención urgente debido al deterioro de sus estructuras debido a la corrosión por sales de deshielo.

Uno de los objetivos del proyecto era tener reforzados los puentes para el año 2002, para los Juegos Olímpicos de Invierno.

Se usaron tejidos de fibra de carbono para reforzar las pilas y las vigas cabezales de los puentes.

Material Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)



Colocación del SikaWrap Hex 103C

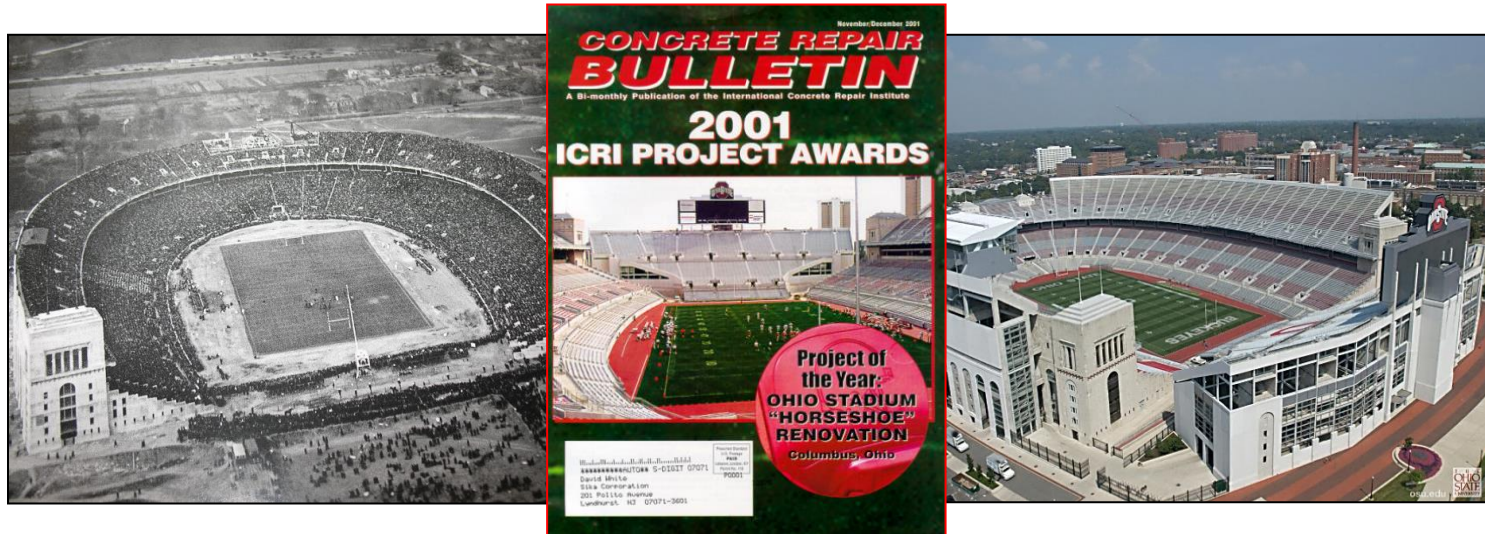
Materialles Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)



Colocación del SikaWrap Hex 103C

Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

Horseshoe Stadium - Ohio (USA)



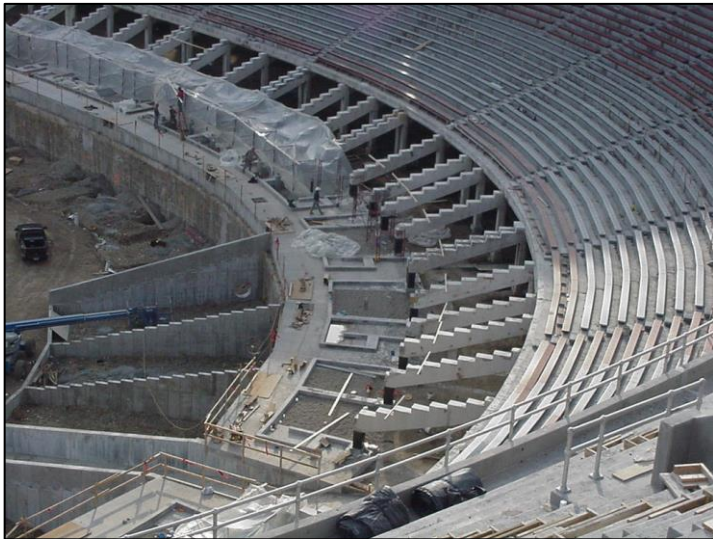
HISTORIA

Construido en 1922, el estadio Horseshoe en Ohio – USA es un ícono para los fans del fútbol americano universitario en ese Estado.

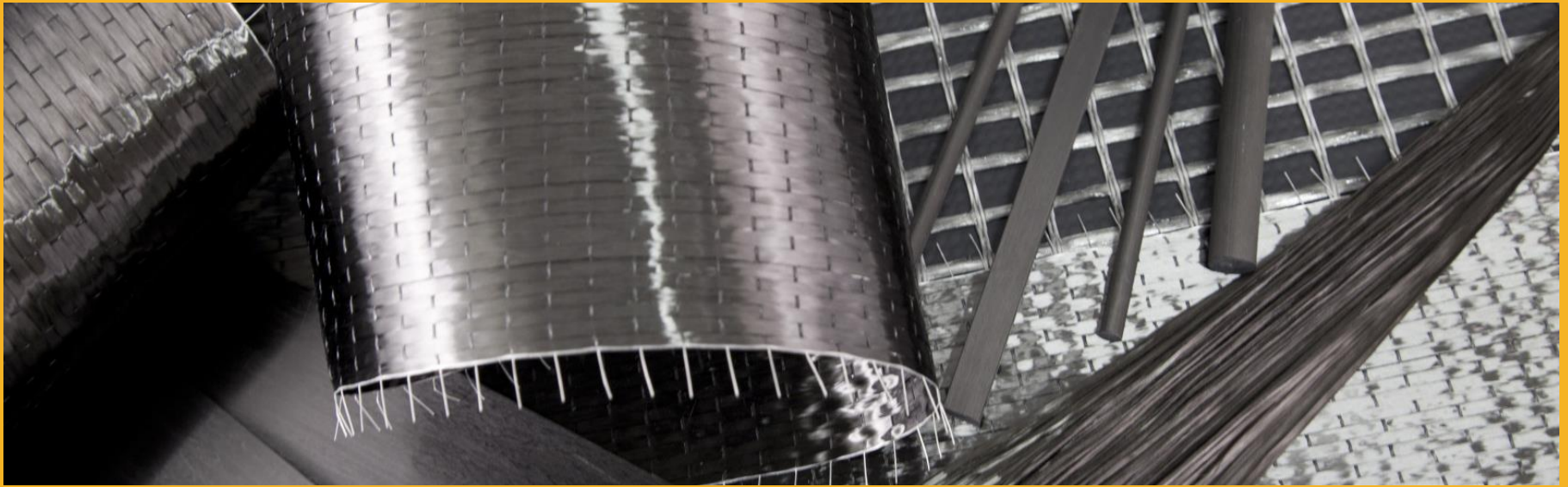
Los diseñadores deciden modernizar y ampliar el tamaño de sus graderías bajando el nivel de la cancha 4.5m, mejorando la visibilidad, aumentando el número de asientos, baños, salones y la instalación de 6 nuevos ascensores.

Se usaron tejidos de fibra de carbono para reforzar las viejas columnas del estadio, que tenían menos acero del requerido por los códigos actuales.

Materialos Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

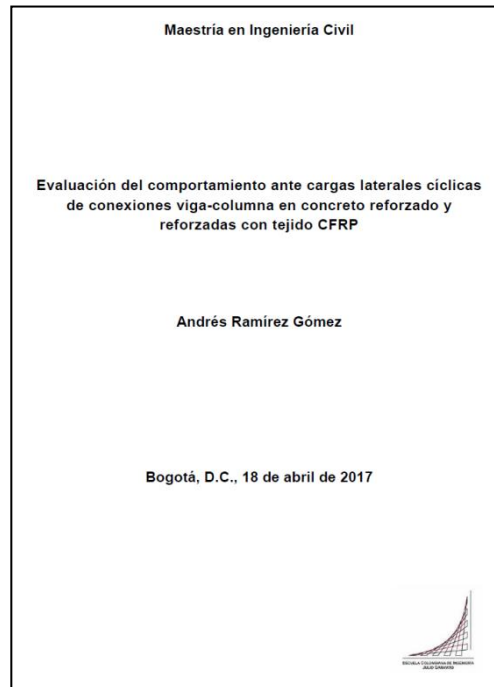


Colocación del SikaWrap Hex 103C



TESIS SOBRE REFORZAMIENTO DE NUDOS CON FRP.....

Tesis de reforzamientos de nudos con FRP



Tesis: Ing. Andrés Ramírez Gómez. Escuela Colombiana de Ingeniería. 2017

DESCRIPCIÓN

Reforzamiento de un nudo en concreto reforzado con un tejido de fibra de carbono, a escala de real, típico de un edificio de concreto reforzado construido antes de 1984 cuando no había normativa de diseño sismo resistente en Colombia.

El nudo reforzado con un tejido de fibra de carbono se comportó como un nudo diseñado con la actual normativa sismo resistente colombiana NSR-10, al ser sometido a una carga cíclica que simula el sismo, mostrando la efectividad de los materiales compuestos FRP.

Tesis de reforzamientos de nudos con FRP

Maestría en Ingeniería Civil

Evaluación del comportamiento ante cargas laterales cíclicas de conexiones viga-columna en concreto reforzado y reforzadas con tejido CFRP

Andrés Ramírez Gómez

Bogotá, D.C., 18 de abril de 2017



Agradecimientos

A la Doctora Nancy Torres, quien además de ser mi directora de tesis, fue mi profesora durante los estudios de maestría, por su orientación y consejo.
Al Doctor Gustavo Tumialán, miembro del comité ACI 440, por su acertada asesoría durante el desarrollo de este trabajo de investigación.

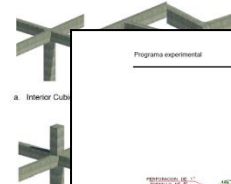
Al Ingeniero Jorge Rendón de investigación y la donación del laboratorio de materiales de Ingeniería, por facilitar los ensayos.

A mis profesores de la quienes recibí los mejores conocimientos en la Universidad Santo Tomás de Bogotá, por su apoyo y asesoría satisfactoriamente.

A mis colegas y amigos de la Universidad Santo Tomás de Bogotá, por su apoyo y asesoría satisfactoriamente.

34 Evaluación del comportamiento de conexiones viga-columna en concreto reforzado ante cargas laterales cíclicas y reforzadas con tejido CFRP

En un nudo externo el confinamiento se da en tres caras dejando sin confinar la cara externa, lo cual reduce la capacidad del concreto a cortante. En los nudos de esquina se presenta la menor resistencia al cortante debido a que solo tiene dos caras adyacentes confinadas.



a. Interior Cubo

d. Interior

Una conexión interior se refiere a una conexión de viga-columna cuando el ancho de la viga es menor que el ancho de la columna. En este caso, el nudo se clasifica como de esquina.

Programa experimental 123



Programa experimental 129



Figura 4-4

Figura 4-4 Refuerzo especial

Para el espécimen E2-02-00 (Nudo longitudinal tipo PDR-60 ($f_y = 60 \text{ MPa}$)) en las partes medias y 4 $\phi 12$ utilizaron varillas de $\phi 12$ distribuidas longitudinalmente. Es importante mencionar que para el espécimen E3-01-00 en viga se utilizó varilla $\phi 12$ con $l = 12 \text{ cm}$, en una longitud de confinamiento para las vigas (ver Figura 4-5).

Programa experimental 139

rodillos en las partes superior e inferior del gato hueco colocado en la parte superior de la columna y contra el marco de prueba.



(a) E3-01-00 (b) E2-02-00



(c) E4-01-01

Figura 4-22. Montaje de especímenes. Fuente: El autor.

Tesis de reforzamientos de nudos con FRP



Tesis de reforzamientos de nudos con FRP



Tesis de reforzamientos de nudos con FRP



Tesis de reforzamientos de nudos con FRP

2 Doble cordón de SikaWrap FX-50C



1 1 capa de SikaWrap 300C



3 3 capas de SikaWrap 300C



4 3 capas de SikaWrap 300C



Tesis de reforzamientos de nudos con FRP



Nudo pre-1984



Nudo según NSR-10

Se hicieron 4 ensayos:

1. Testigo.
2. Nudo pre-1984.
3. Nudo según NSR-10.
4. Nudo con FRP.



Nudo con FRP

Tesis de reforzamientos de nudos con FRP

Recent Developments in Seismic Strengthening of RC Beam-Column Joints with FRP Materials

U. Akguzel
PhD, Structural Engineer at BECA, Christchurch, New Zealand
email: umain@beca.co.nz / umut.akguzel@beca.com

S. Pampanin
Associate Professor (Reader), University of Canterbury, Christchurch, New Zealand
email: stefano.pampanin@canterbury.ac.nz

15 WCEE
LISBOA 2012



SUMMARY

In this contribution, the latest research findings into the effects of multiaxial loading on the seismic performance of as-built and FRP retrofitted three-dimensional (3D) beam-column joints with and without floor slabs are presented. For this purpose, the experimental results of four 2/3 scale, deficient RC beam-column joints are presented and conclusions are drawn on the basis of observed global and local performance. Special emphasis is given to the feasibility and efficiency of a retrofitting intervention using glass fibre reinforced polymer (GFRP) composites. A performance-based retrofit approach is adopted with attention given to the targeted specific limit states or design objectives. In addition, a numerical study is presented to calibrate and develop versatile finite element (FE) model, based on microplane concrete, to simulate the response of the 3D corner as-built joint under bidirectional loading with concurrent varying axial load and compared with the experimental results.

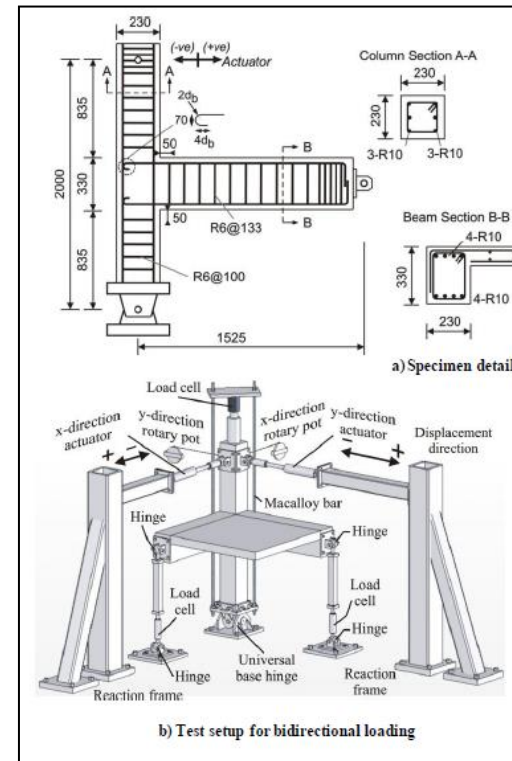
Keywords: Reinforced concrete, beam-column joint, seismic retrofit, biaxial tests, finite element

1. INTRODUCTION

Many examples of damage are found in recent earthquakes (Japan, 1978; Algeria, 1980; Italy, 1980; Greece, 1981; Mexico, 1985; Taiwan, 1999; Turkey, 1999 and 2002; Italy, 2009; New Zealand, 2011) which can only be interpreted by the complex three-dimensional (3D) behaviour of frames subjected to multi-dimensional earthquake excitations. The partial or complete collapse of reinforced concrete (RC) buildings have demonstrated the vulnerability and need for retrofitting of RC corner columns and beam-column joints built without seismic considerations, in order to withstand the multidirectional nature of seismic excitations and response. As a consequence, either for well-designed and older designed structures, the problem of designing or assessing/retrofitting these structural components which are subjected to bidirectional loading, imposes a great challenge to structural engineers. If these effects are not taken into account properly, particularly in the assessment and retrofitting of older and poorly detailed reinforced concrete structures, disastrous results for the overall stability of the system may occur. (Pampanin et al., 2007; Akguzel, 2011a)

The behaviour of beam-column joints in plane frames under seismic loading has been extensively investigated by experimental testing since the 1960's. Most of these studies were undertaken with the aim of verifying the design of new space frame joints, whilst there has been far less experimental investigation into the behaviour of under-designed (e.g. following older code of practice when compared to current one and prior to capacity design principles were introduced) beam column joints in space frames either in as-built or retrofitted configurations (Hertanto, 2006; Chen, 2006; Akguzel et al., 2010b; Engenderiz, 2008).

Several experimental tests have been conducted to investigate the behaviour of deficient full-scale RC buildings strengthened with FRPs using uni-directional (Balsamo et al., 2005) and bi-directional pseudo-dynamic (Ludovico et al., 2008) or quasi-static lateral load tests (Della et al., 2006). Garcia et al. (2010) also reported the experimental results of uni-directional shake table tests performed on a full-scale RC frame with poor detailing in the beam-column joints in as-built and CFRP retrofitted configuration.



DESCRIPCIÓN

Reforzamiento de nudos de esquina, en concreto reforzado usando un tejido de fibra de vidrio, sometidos a cargas multi-direccionales (2011).

Se demuestra la mejora en el desempeño sísmico de los nudos reforzados con FRP.

Tesis de reforzamientos de nudos con FRP

Recent Developments in Seismic Strengthening of RC Beam-Column Joints with FRP Materials

U. Akguzel

PhD, Structural Engineer at BECA, Christchurch, New Zealand.
email: umutakguzel@gmail.com; umut.akguzel@beca.com

S. Pampanin

Associate Professor (Reader), University of Canterbury, Christchurch, New Zealand.
email: stefano.pampanin@canterbury.ac.nz



SUMMARY

In this contribution, the latest research findings into the effects of multiaxial loading on the seismic performance of as-built and FRP retrofitted three-dimensional (3D) beam-column joints with and without floor slabs are presented. For this purpose, the experimental results of four 2/3 scale, deficient RC beam-column joints are presented and conclusions are drawn on the basis of observed global and local performance. Special emphasis is given to the feasibility and efficiency of a retrofitting intervention using glass fibre reinforced polymer (GFRP) composites. A performance-based retrofit approach is adopted with attention given to the targeted specific limit states or design objectives. In addition, a numerical study is presented to calibrate and develop versatile finite element (FE) model, based on microplane concrete, to simulate the response of the 3D corner as-built joint under bidirectional loading with concurrent varying axial load and compared with the experimental results.

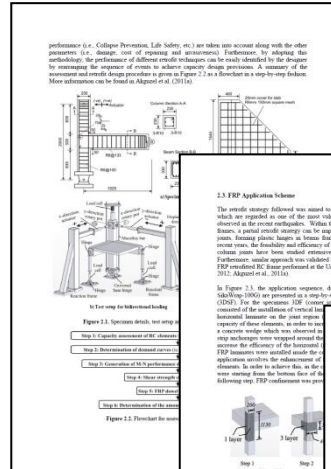
Keywords: Reinforced concrete, beam-column joint, seismic retrofit, biaxial tests, finite element

1. INTRODUCTION

Many examples of damage are found in recent earthquakes (Japan, 1978; Algeria, 1980; Italy, 1980; Greece, 1981; Mexico, 1985; Taiwan, 1999; Turkey, 1999 and 2002; Italy, 2009; New Zealand, 2011) which can only be interpreted by the complex three-dimensional (3D) behaviour of frames subjected to multi-dimensional earthquake excitations. The partial or complete collapse of reinforced concrete (RC) buildings have demonstrated the vulnerability and need for retrofitting of RC corner columns and beam-column joints built without seismic considerations, in order to withstand the multidirectional nature of seismic excitations and response. As a consequence, either for well-designed and older designed structures, the problem of designing or assessing/retrofitting these structural components which are subjected to bidirectional loading, imposes a great challenge to structural engineers. If these effects are not taken into account properly, particularly in the assessment and retrofitting of older and poorly detailed reinforced concrete structures, disastrous results for the overall stability of the system may occur. (Pampanin et al., 2007; Akguzel, 2011a)

The behaviour of beam-column joints in plane frames under seismic loading has been extensively investigated by experimental testing since the 1960's. Most of these studies were undertaken with the aim of verifying the design of new space frame joints, whilst there has been far less experimental investigation into the behaviour of under-designed (e.g. following older code of practice when compared to current one and prior to capacity design principles were introduced) beam column joints in space frames either in as-built or retrofitted configurations (Hertanto, 2006; Chen, 2006; Akguzel et al., 2010b; Engendim, 2008).

Several experimental tests have been conducted to investigate the behaviour of deficient full-scale RC buildings strengthened with FRPs using uni-directional (Balsamo et al., 2005) and bi-directional pseudo-dynamic (Ludovico et al., 2008) or quasi-static lateral load tests (Della et al., 2006). Garcia et al. (2010) also reported the experimental results of uni-directional shake table tests performed on a full-scale RC frame with poor detailing in the beam-column joints in as-built and CFRP retrofitted configuration.



2.3 FRP Application Scheme

The retrofit strategy followed was aimed to protect the beam-column joint regions in a RC frame, which are regarded as one of the most vulnerable and critical structural elements in an RC frame, as observed in the recent earthquakes. Within the same frame of approach, for the existing deficient RC frame, a partial retrofit strategy was implemented which consists of protecting only the exterior joints. Existing plastic hinges in beam-column joints were retained (Pampanin et al., 2011). In recent years, the feasibility and efficiency of the proposed FRP retrofit strategy for the existing beam-column joints have been studied extensively by the authors (Akguzel et al., 2010a and 2011). Performance-based retrofit approach was validated successfully in the uni-directional side-sway testing of a FRP retrofitted RC frame performed at the University of Canterbury (Quaranta-Gallo et al., 2011a and 2011; Akguzel et al., 2011a).

In Figure 2.3, the application sequence, dimensions of uni-directional glass fibre sheets (GFRP sheets) (S100) are presented as a step-by-step fashion for corner 3D beam-column joints with 100% (100%) FRP. For the specimens J2B (corner joint, without floor slab) and J20B (flat top joint, with floor slab) the application sequence, dimensions of uni-directional glass fibre sheets (GFRP sheets) (S100) are presented as a step-by-step fashion for corner 3D beam-column joints with 100% (100%) FRP. For the specimens J2B (corner joint, without floor slab) and J20B (flat top joint, with floor slab) the application sequence, dimensions of uni-directional glass fibre sheets (GFRP sheets) (S100) are presented as a step-by-step fashion for corner 3D beam-column joints with 100% (100%) FRP.

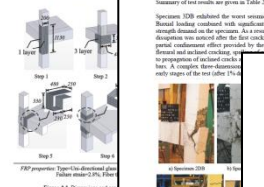


Figure 2.2. Dimensions and test setup

along a building's principal axes is deemed to be a potentially inadequate and non-conservative method because it ignores the significant increase in deflections and stress demand associated to the three dimensional response.

3. FINITE ELEMENT MODELLING OF SPECIMEN J2B

3.1. FE Model and Discretization

The FE code, ABAQUS, developed at the Institute of Construction Materials (ICM) of the University of Canterbury (Chen, 2005) was used in the study. In the code the concrete is modelled according to a non-linear elastic model and the shear-stress slip model is used for the modelling of the cracking of the concrete. A special finite element mesh, boundary conditions and loading pattern are shown in Figure 3.1. The same geometry and dimensions are employed in the FE model in the test specimens. The special discretization of concrete is performed by:

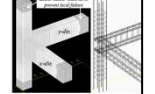


Figure 3.1. FE model of joint J2B discretization

A complete and realistic bi-directional lateral load-referenced response was generated. Each loading cycle the lateral loading is performed in the test.

3.2. Results of Analysis and Comparison with Exp.

Due to stability problems, mainly because of the results of FE analysis in 7% drift level, no push loops in a direction were a similar level of strength. The maximum lateral stiffness ratio of the push and pull peak loadings, respectively. These experimental values, as seen in Figure 3.1, FE in loading up to 7% drift and in pull direction up to 1% the pull direction (downward) and load direction.

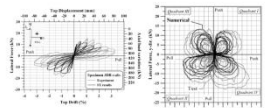


Figure 3.2. Comparison of load-displacement response. FE versus test results

In spite of the good simulation of the displacement demand pattern by the FE model, the observed cracking in the beam and column observed in the test up to a 1% drift level could not be reproduced by the FE analysis. Nevertheless, as shown in Figure 3.3, some FE snapshots are presented as an example of the good prediction of cracking pattern.



Figure 3.3. Comparison of concrete cracked pattern after 7% drift. Specimen J2B

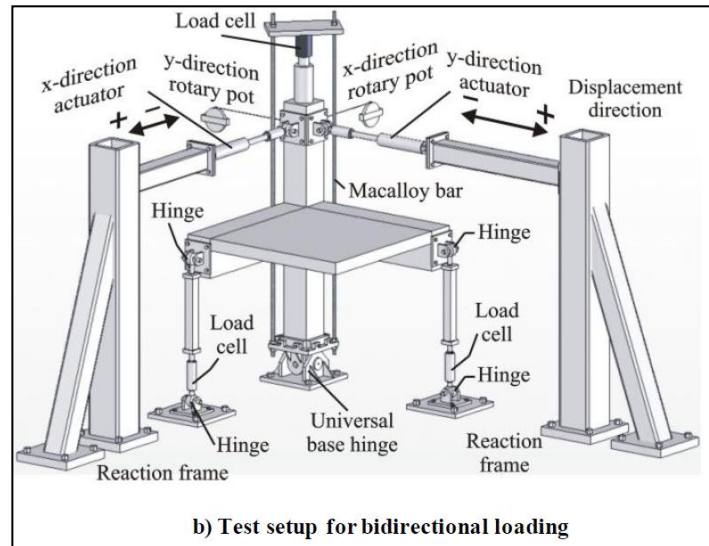
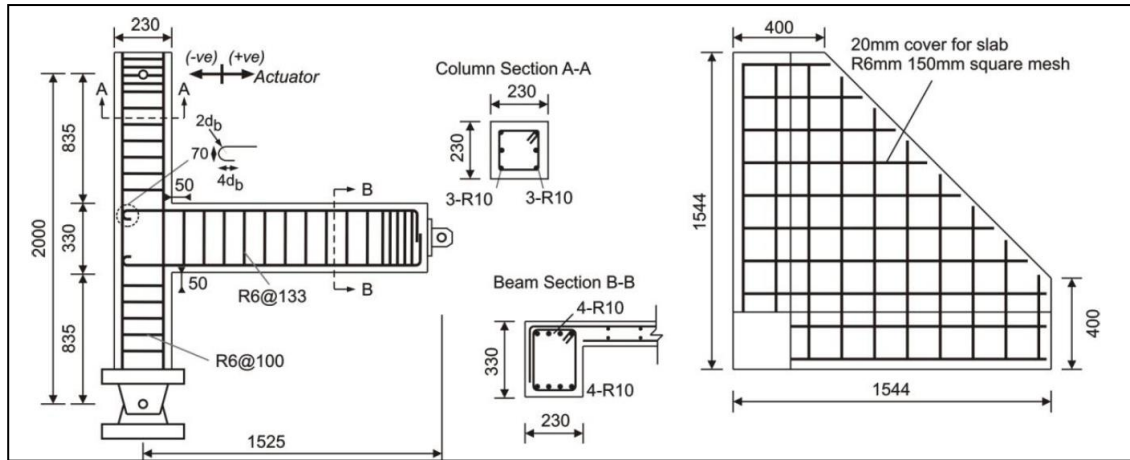
4. CONCLUSIONS

In this contribution the question of efficiency of FRP retrofitting technique used to strengthen under design corner beam-column joints with and without floor slabs subjected to nonuniform loading conditions is addressed. An assessment by experimental and finite element analysis methods, microplane based, i.e. multi-directional loading, can significantly change the nature of the seismic response of structures from that which would be predicted using a standard von-Drucker and concrete shear flow theory, as shown in the design, the results obtained presented in this study have been proven to provide satisfactory representations in the seismic performance of the specimens. The analysis of the 3D corner beam-column joint showed that the FE model reproduced the overall hysteretic behavior and cracking pattern of the test set with sufficient accuracy.

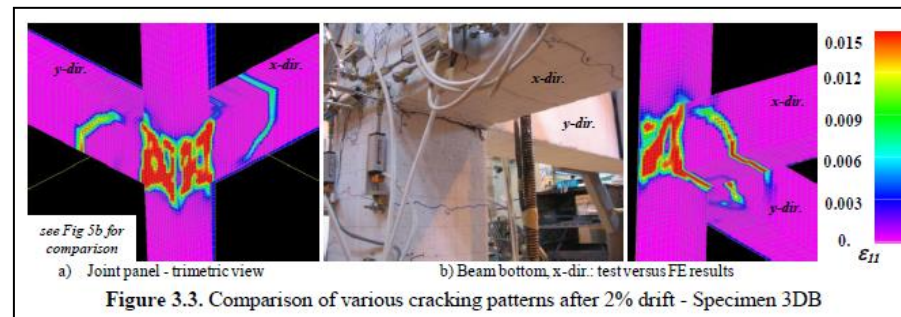
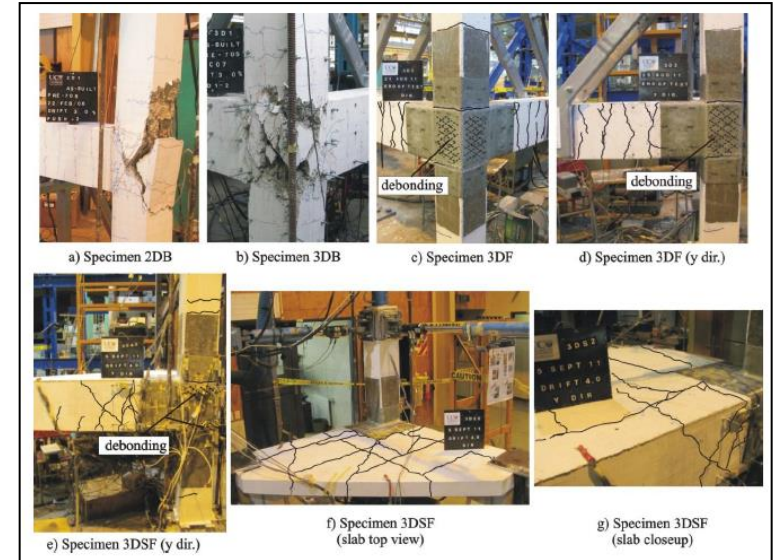
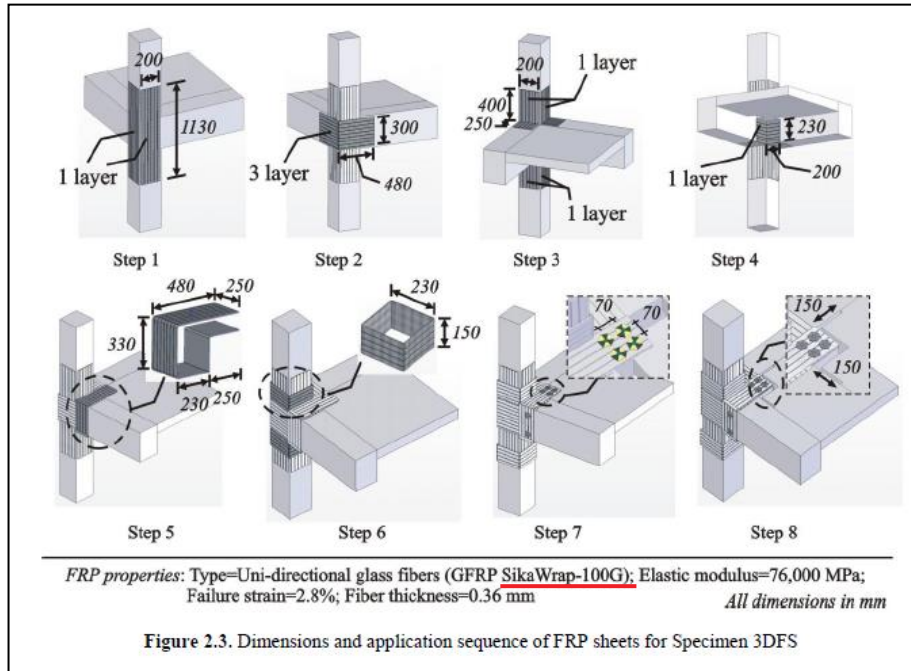
ACKNOWLEDGEMENTS
The research project is funded by the NZ Foundation for Research, Science and Technology (FRST) through the 'New Zealand Research Platform Project' (NZRPP) and by the Ministry of Science and Innovation through the 'New Zealand Research Platform Project' (NZRPP). The authors would like to acknowledge the financial support and technical assistance provided by Sika and FRP-Canterbury are also highly appreciated. Special thanks to the relevant support of the research studies are given to the University of Stuttgart research group 'Steel Structures, Prof. Hans-Joachim Grosse (HJG) and Dr. Ina Conrath-Grothmann.



Tesis de reforzamientos de nudos con FRP



Tesis de reforzamientos de nudos con FRP



Tesis de reforzamientos de nudos con FRP

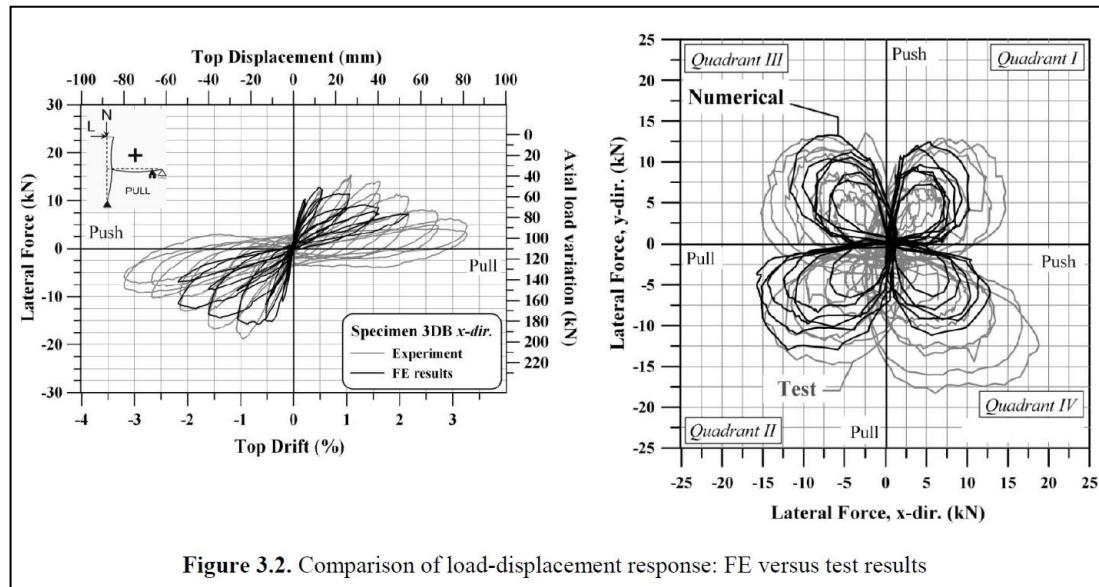


Figure 3.2. Comparison of load-displacement response: FE versus test results

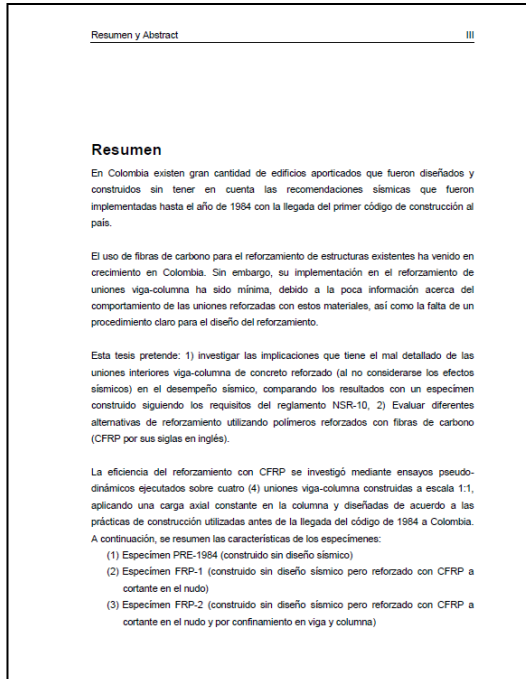
4. CONCLUSIONS

In this contribution the question of efficiency of FRP retrofitting technique used to strengthen under-design corner beam-column joints with and without floor slabs subjected to multiaxial loading conditions is addressed. As demonstrated by experimental and Finite Element analysis studies, simultaneous multiaxial (i.e. multi-directional) loading can significantly change the nature of the seismic response of structures from what would be predicted using a uniaxial view. If bidirectional and varying axial load effects are taken into account in the design, the retrofit solutions proposed in this study have been proven to provide satisfactory improvements in the seismic performance of the specimens. The analysis of the 3D corner beam-column joint showed that the FE model reproduced the overall hysteretic behaviour and cracking pattern of the test unit with sufficient accuracy.

ACKNOWLEDGEMENTS

The financial support provided by the NZ Foundation for Research, Science and Technology (FRST) through the Research Programs "Retrofit Solutions for NZ" and by the Minister and Science and Innovation through the Natural Hazard Research Platform Project "SAFER Concrete Technologies" is gratefully acknowledged. The material support and technical assistance provided by Sika and BBR-Contech are also kindly appreciated. Special thanks for the technical support on the numerical studies are given to the University of Stuttgart research group: Prof. Rolf Eligehausen, Prof. Josko Ozbolt (author of MASA) and Dr. Ing. Giovacchino Genesio.

Tesis de reforzamientos de nudos con FRP



Tesis: Ing. Nicolás Correa. Escuela Colombiana de Ingeniería. 2017

DESCRIPCIÓN

Reforzamiento de 3 nudos en concreto reforzado con un tejido de fibra de carbono, a escala de real, típico de un edificio de concreto reforzado construido antes de 1984 cuando no había normativa de diseño sísmico resistente en Colombia.

Se estudió la efectividad del reforzamiento de los nudos con las 3 configuraciones de colocación del tejido de fibra de carbono.

Tesis de reforzamientos de nudos con FRP

Resumen y Abstract III

Resumen

En Colombia existen gran cantidad de edificios aporricados que fueron diseñados y construidos sin tener en cuenta las recomendaciones sísmicas que fueron implementadas hasta el año de 1984 con la llegada del primer código de construcción al país.

El uso de fibras de carbono para el reforzamiento de estructuras existentes ha venido en crecimiento en Colombia. Sin embargo, su implementación en el reforzamiento de uniones viga-columna ha sido mínima, debido a la poca información acerca del comportamiento de las uniones reforzadas con estos materiales, así como la falta de un procedimiento claro para el diseño del reforzamiento.

Esta tesis pretende: 1) investigar las implicaciones que tiene el mal detallado de las uniones interiores viga-columna de concreto reforzado (al no considerarse los efectos sísmicos) en el desempeño sísmico, comparando los resultados con un espécimen construido siguiendo los requisitos del reglamento NSR-10, 2) Evaluar diferentes alternativas de reforzamiento utilizando polímeros reforzados con fibras de carbono (CFRP por sus siglas en inglés).

La eficiencia del reforzamiento con CFRP se investigó mediante ensayos pseudo-dinámicos ejecutados sobre cuatro (4) uniones viga-columna construidas a escala 1:1, aplicando una carga axial constante en la columna y diseñadas de acuerdo a las prácticas de construcción utilizadas antes de la llegada del código de 1984 a Colombia. A continuación, se resumen las características de los especímenes:

- (1) Especimen PRE-1984 (construido sin diseño sísmico)
- (2) Especimen FRP-1 (construido sin diseño sísmico pero reforzado con CFRP a cortante en el nudo)
- (3) Especimen FRP-2 (construido sin diseño sísmico pero reforzado con CFRP a cortante en el nudo y por confinamiento en viga y columna)

Capítulo 2. Programa Experimental 9

Figura 2-1 Montaje para el ensayo de los especímenes

Capítulo 2. Programa Experimental 11

Figura 2-2: Modelo Estructural del Edificio de cinco niveles en SAP 2000 (Ramírez, 2017)

Unión Viga-Columna T

12 Comportamiento ante cargas cíclicas del reforzamiento de uniones viga-columna de concreto reforzado construidas antes del código de 1984 utilizando CFRP

Figura 2-3 Características de las uniones típicas PRE-1984

2.1 Programa

El programa experimental consistió en cuatro (4) ensayos de cuatro (4) 1:1, las cuales se detallan a continuación:

2.2.1 Características de los especímenes

El detalle del reforzamiento de las uniones interiores viga-columna de concreto reforzado se realizó de acuerdo a las recomendaciones de la práctica de construcción, en el momento de la construcción, en el momento de la construcción, en el momento de la construcción.

- Se utilizó refuerzo de acero en las columnas.
- No se colocó refuerzo de acero en las vigas.
- No se confinó las columnas. Es decir, no se cumplió con los requisitos del código de 1984.

2.2.2 Características de los especímenes

Para realizar un comparativo de los resultados de los especímenes, se construyeron dos (2) especímenes de acuerdo a las recomendaciones de la práctica de construcción de 1984. A su vez, se utilizó acero como refuerzo de las uniones interiores viga-columna de concreto reforzado, tal como se utiliza en la actualidad. El detalle del reforzamiento de las uniones interiores viga-columna de concreto reforzado se realizó de acuerdo a las recomendaciones de la práctica de construcción, en el momento de la construcción, en el momento de la construcción, en el momento de la construcción.

16 Comportamiento ante cargas cíclicas del reforzamiento de uniones viga-columna de concreto reforzado construidas antes del código de 1984 utilizando CFRP

Figura 2-4: Esquema de Reforzamiento No. 2 – Reforzamiento a Cortante en el Nudo y enchuchetamiento de viga y columna.

20 Comportamiento ante cargas cíclicas del reforzamiento de uniones viga-columna de concreto reforzado construidas antes del código de 1984 utilizando CFRP

La secuencia con que se colocó el CFRP en los especímenes fue la siguiente:

1. Colocación de primera capa de CFRP en la columna.
2. Colocación de primera capa de CFRP en la viga.
3. Colocación de segunda capa de CFRP en la columna.
4. Colocación de segunda capa de CFRP en la viga.
5. Colocación de las primeras fibras de CFRP en la columna.
6. Colocación de las segundas fibras de CFRP en la columna.
7. Colocación de las terceras fibras de CFRP en la columna.

2.4.3 Esquema de Reforzamiento

El esquema de reforzamiento No. 2 consistió en el confinamiento por flexión de la viga y la columna. Este reforzamiento fue calculado de acuerdo a las recomendaciones del código de 1984, tal como se indica en el código de 1984. Este reforzamiento fue calculado de acuerdo a las recomendaciones del código de 1984, tal como se indica en el código de 1984. Este reforzamiento fue calculado de acuerdo a las recomendaciones del código de 1984, tal como se indica en el código de 1984.

c) Colocación de las fibras

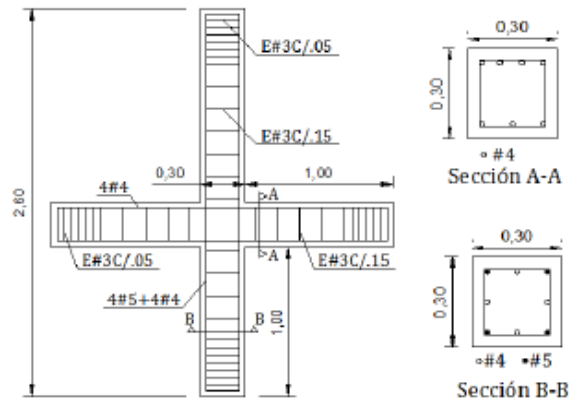
c) Colocación de los cordones

Tesis: Ing. Nicolás Correa. Escuela Colombiana de Ingeniería. 2017

Tesis de reforzamientos de nudos con FRP

12 Comportamiento ante cargas cíclicas del reforzamiento de uniones viga-columna de concreto reforzado construidas antes del código de 1984 utilizando CFRP

Figura 2-3 Características de las uniones típicas PRE-1984



Capítulo 2. Programa Experimental

Figura 2-4 Características de la unión NSR-10

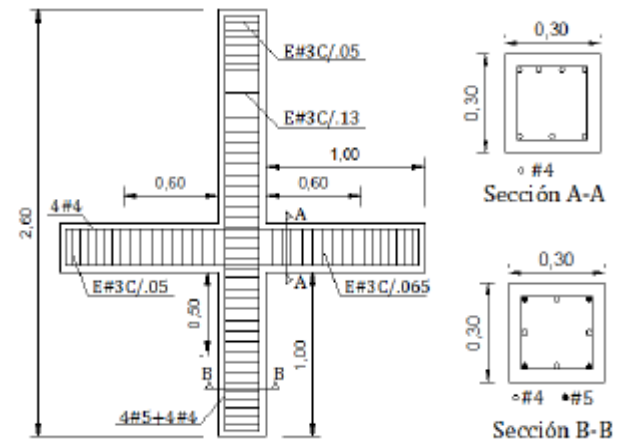
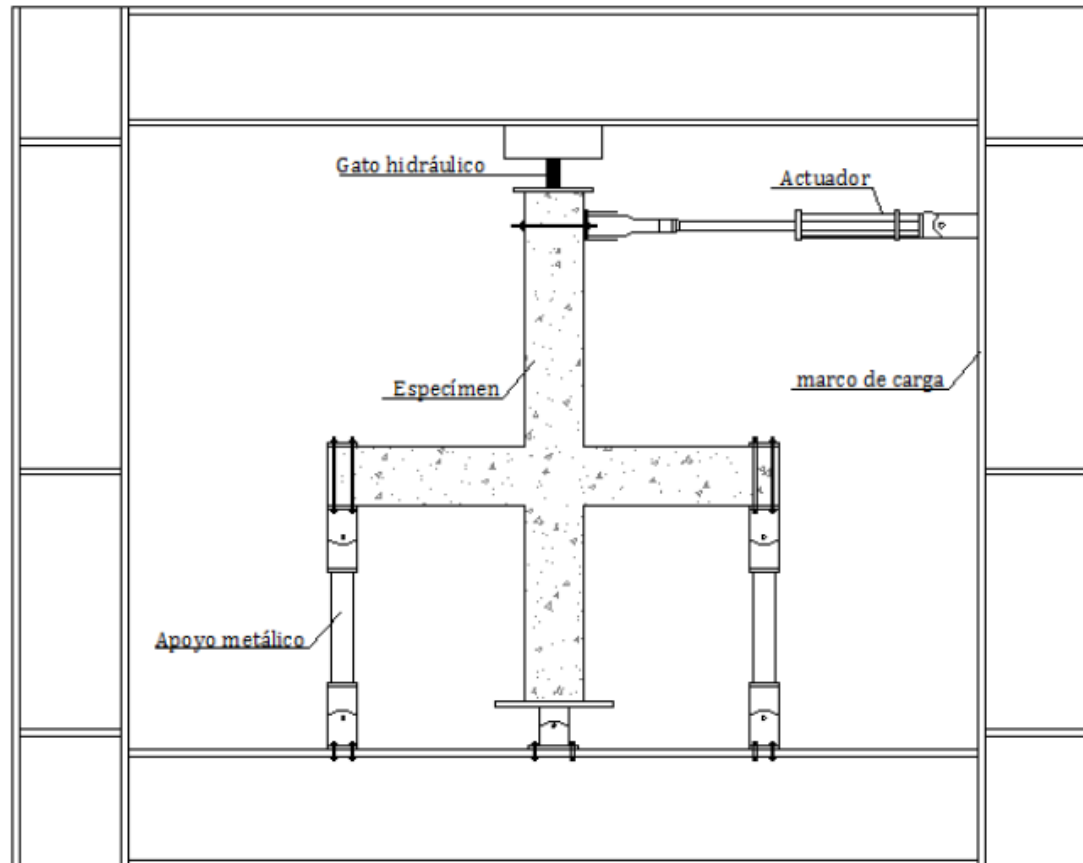


Tabla 2-1 Resumen de especímenes ensayados

Especímen	Nomenclatura	Tipo de Detallado	Tipo de Reforzamiento con CFRP			
			Cortante en el nudo	Confinamiento de rótulas plásticas	Flexión en viga	Flexión en columna
E5-01-01	PRE-1984	PRE 1984	NO	NO	NO	NO
E8-01-02	FRP-1	PRE 1984	SI	NO	NO	NO
E4-01-00	FRP-2	PRE 1984	SI	SI	NO	NO
E7-01-03	FRP-3	PRE 1984	SI	SI	SI	SI

Tesis de reforzamientos de nudos con FRP

Figura 2-1 Montaje para el ensayo de los especímenes



Tesis de reforzamientos de nudos con FRP

Figura 2-5: Esquema de Reforzamiento No. 1 – Reforzamiento a Cortante en el Nudo

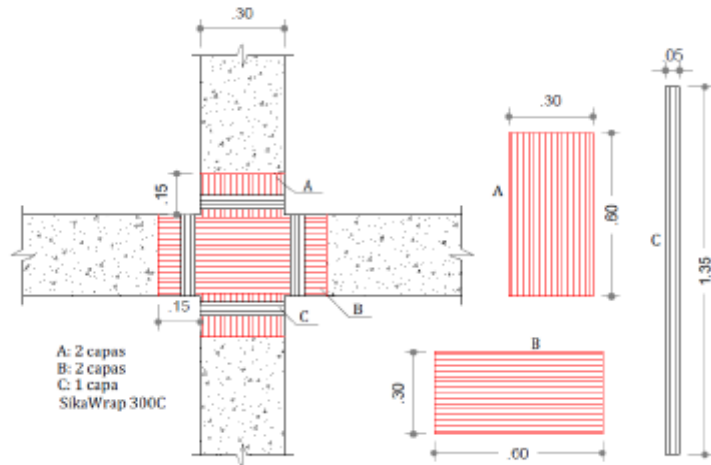


Figura 2-6: Esquema de Reforzamiento No. 2 – Reforzamiento a Cortante en el Nudo y enchaquetamiento de viga y columna.

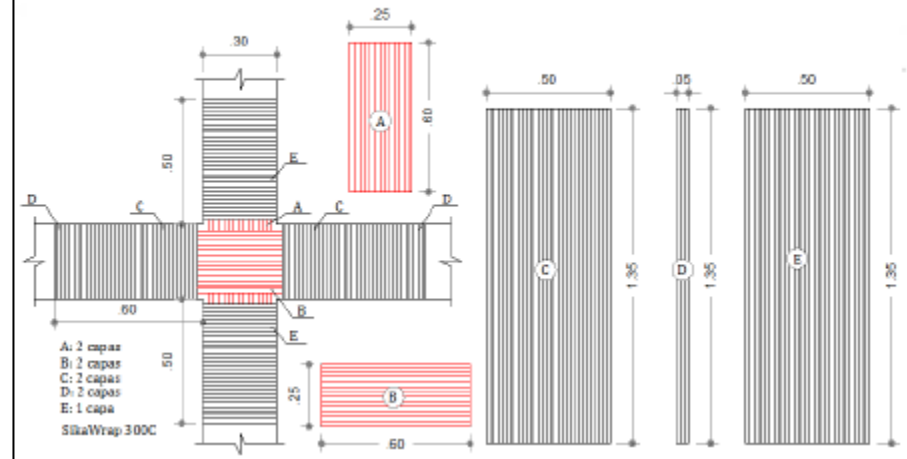
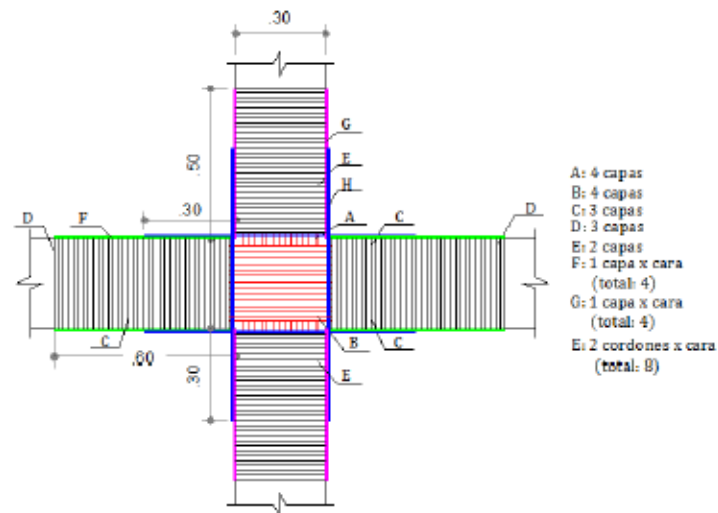


Figura 2-7 Esquema de Reforzamiento No. 3 – Reforzamiento a Cortante en el Nudo y enchaquetamiento de viga y columna y reforzamiento a flexión



Tesis de reforzamientos de nudos con FRP

Figura 2-8: Procedimiento para la Aplicación del Reforzamiento



a) Impregnación de la superficie

b) Impregnación de la fibra



c) Colocación de las fibras



d) Colocación de los cordones

Tesis de reforzamientos de nudos con FRP

Figura 3-2: Estado del espécimen PRE-1984 a una deriva del 2.5%

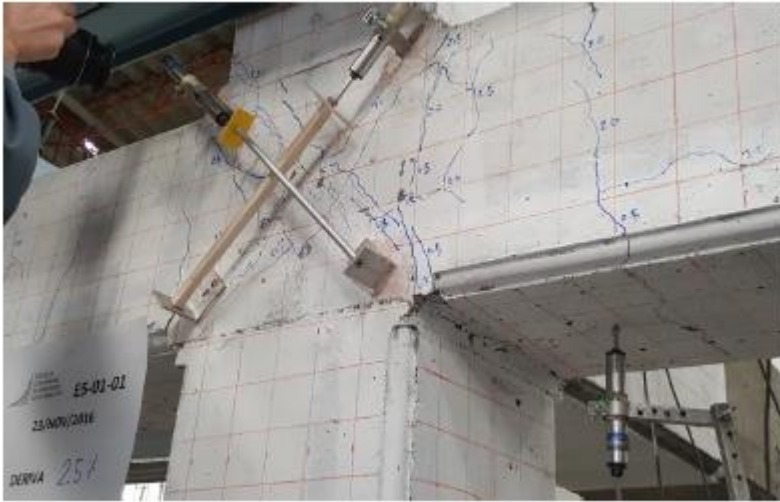


Figura 3-3: Estado del espécimen PRE-1984 a una deriva del 3.5%

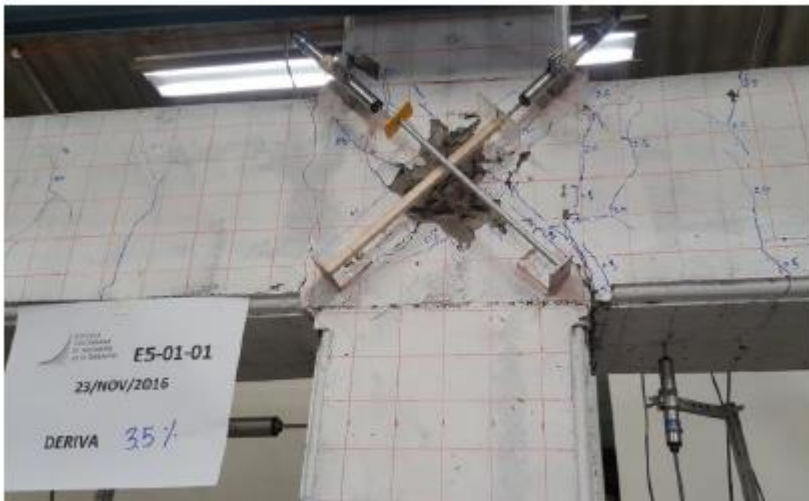


Figura 3-6: Falla localizada en ambos lados de la viga – Especimen E6-01-02



Figura 3-7: Estado final del espécimen FRP-2



Tesis de reforzamientos de nudos con FRP

Figura 3-8: Falla localizada en viga y gran deterioro en zona del nudo (FRP-2)

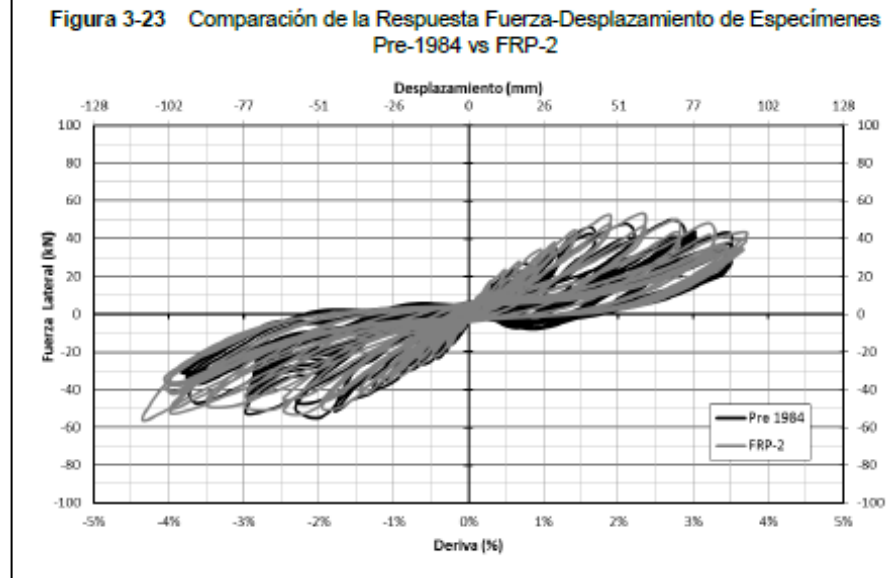
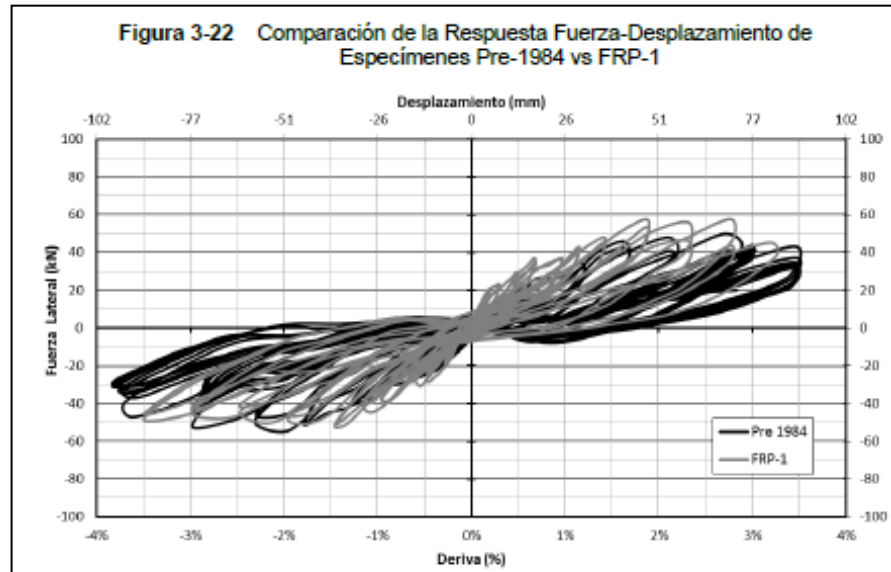


La ocurrencia de un mayor daño en la zona del nudo para este espécimen puede atribuirse a que, al ser reforzada la viga (manteniendo el mismo refuerzo a cortante), el nudo se vio sujeto a una mayor demanda de capacidad, la cual no fue capaz de soportar de manera adecuada. Es por ello que, en comparación con el espécimen FRP-1, la falla del espécimen se trasladó de la viga al nudo.

Figura 3-11: Falla localizada en la base de la columna



Tesis de reforzamientos de nudos con FRP



Tesis de reforzamientos de nudos con FRP

50 Comportamiento ante cargas cíclicas del reforzamiento de uniones viga-columna de concreto reforzado construidas antes del código de 1984 utilizando CFRP

Figura 3-24 Comparación de la Respuesta Fuerza-Desplazamiento de Especímenes Pre-1984 vs FRP-3

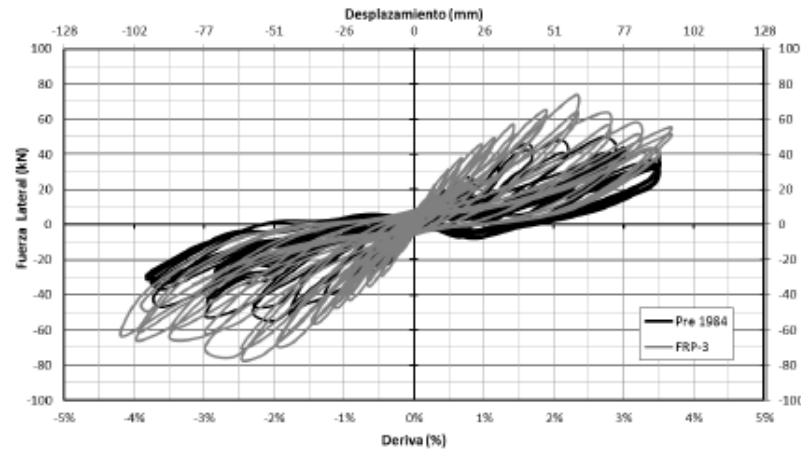
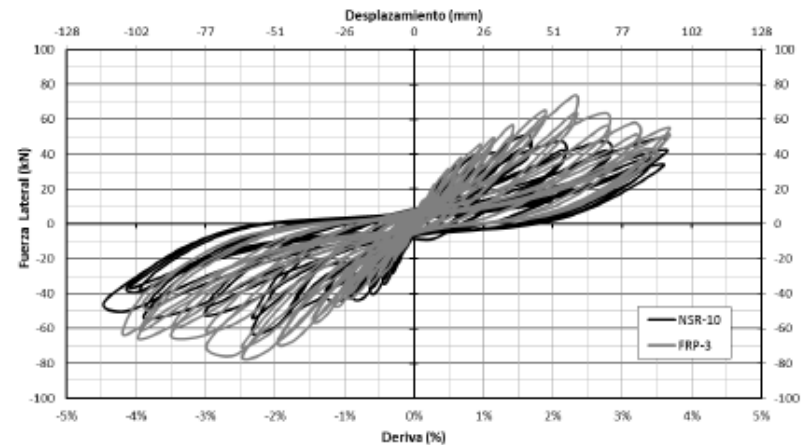


Figura 3-25 Comparación de la Respuesta Fuerza-Desplazamiento de Especímenes NSR-10 vs FRP-3



Tesis de reforzamientos de nudos con FRP

Tabla 3-1 Resumen de los Resultados de los Ensayos

Especímen	Dirección	Fuerza (kN)	Ductilidad $\mu = \Delta u^* / \Delta y^{**}$	Energía disipada (kNmm)	Modo de Falla
PRE-1984	Hala (+)	49.92	4.01	5075	Flexión en viga y Cortante en el nodo
	Empuja (-)	-54.72	5.41		
FRP 1 (E6-01-02)	Hala (+)	57.51	4.66	5678	Rótula plástica en viga
	Empuja (-)	-51.61	5.40		
FRP 2 (E4-01-00)	Hala (+)	53.32	5.11	6797	Cortante en el nodo
	Empuja (-)	-56.03	7.11		
FRP 3 (E7-01-03)	Hala (+)	73.83	6.10	8508	Aplastamiento en la base de la columna
	Empuja (-)	-75.96	6.80		
NSR-10 (Ramírez)	Hala (+)	51.04	6.13	7602	Fluencia en viga
	Empuja (-)	-61.71	8.59		

* Desplazamiento último corresponde al desplazamiento donde la fuerza se reduce un 20%;

** El desplazamiento de fluencia se determinó como el desplazamiento del sistema elasto-plástico equivalente que posee la misma disipación de energía que el sistema real.

Tesis de reforzamientos de nudos con FRP

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones

4.1.1 Resistencia

- La carga lateral máxima soportada por los especímenes PRE-1984, FRP-1, FRP-2 y NSR-10 fue similar, debido a que la resistencia a flexión de todos estos especímenes era la misma (el acero de refuerzo era el mismo).
- El espécimen FRP-3 experimentó una carga lateral máxima de 73.8 kN (+) y 75.9 kN (-), alcanzando así un aumento del 46% (+) y 40% (-) con respecto al espécimen PRE-1984.

4.1.5 Disipación de Energía

- La capacidad de disipación de energía del espécimen FRP-1 aumentó un 12% con respecto al espécimen PRE-1984.
- El espécimen FRP-2 logró un aumento del 28% con respecto al espécimen PRE-1984 y del 20% con respecto al espécimen FRP-1, demostrando que el confinamiento en vigas y columnas mediante CFRP mejora la capacidad de disipación de energía.
- El espécimen NSR-10 obtuvo una capacidad de disipación de energía 38% mayor a la del espécimen PRE-1984.
- El espécimen FRP-3 obtuvo el mayor valor de disipación de energía, 55% mayor al del espécimen PRE-1984.

DISEÑO DE REFORZAMIENTOS DE NUDOS CON FRP....

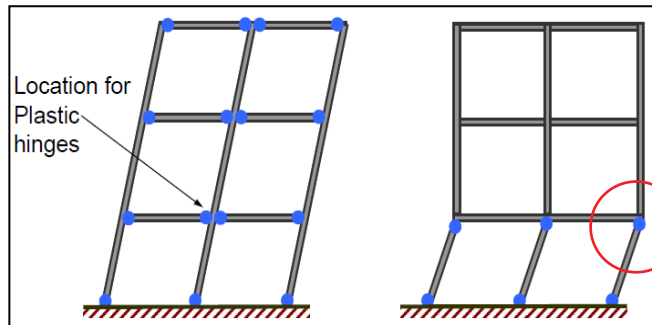
Según el ACI 440.2R-17

Diseño de reforzamientos de nudos con FRP

Reforzamiento de nudos con FRP:

FRP para aumentar:

1. Confinamiento de la zona de rótulas plásticas
2. Cortante en la zona de rótulas plásticas
3. Flexión en zona de rótulas plásticas

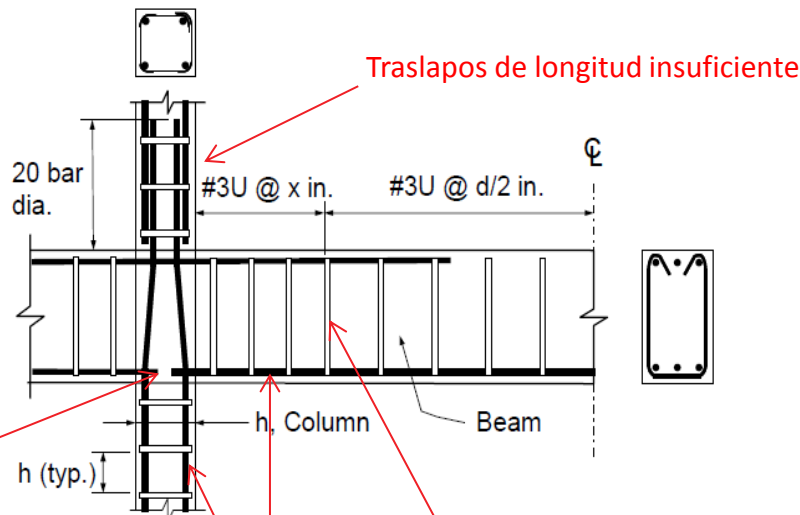


Diseño de reforzamientos de nudos con FRP

Reforzamiento de nudos con FRP:

FRP para aumentar:

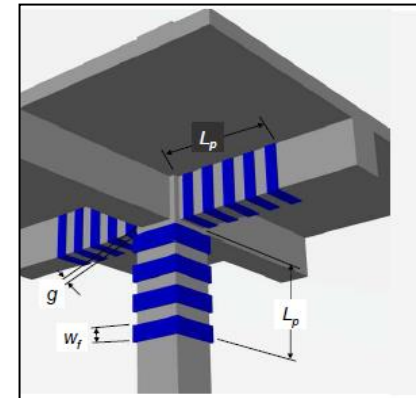
1. Confinamiento de la zona de rótulas plásticas



Discontinuidad en el acero de refuerzo

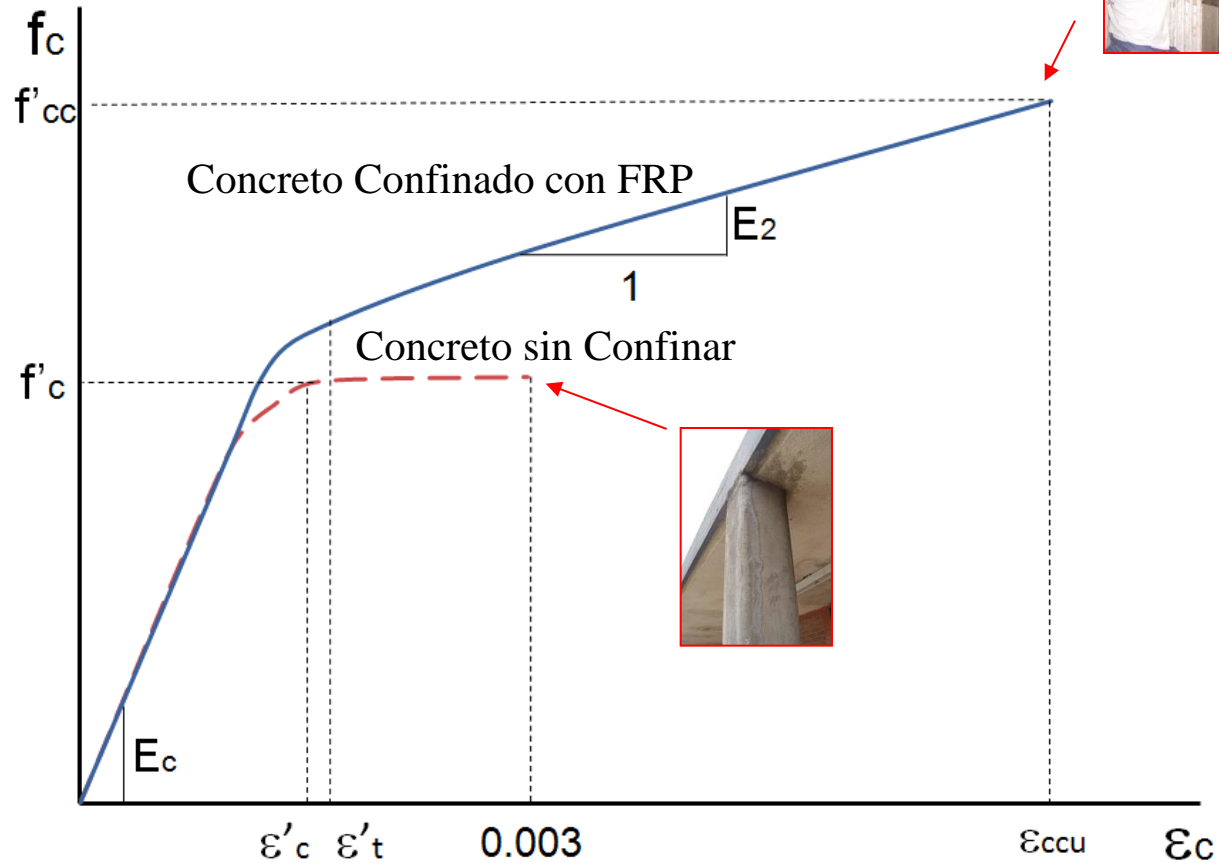
Estribos muy espaciados, o sin ganchos

El refuerzo longitudinal puede doblarse, debido al espaciamento grande de los estribos



Diseño de reforzamientos de nudos con FRP

Confinamiento de la zona de rótula plástica:



Modelo Esfuerzo-Deformación para concreto confinado con FRP (Lam y Teng, 2003)

Diseño de reforzamientos de nudos con FRP

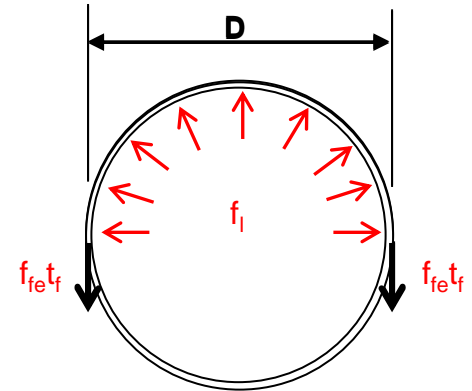
Confinamiento de la zona de rótula plástica:

$$L_p = g + 0.044f_y d_{bl}$$



1 $f'_{cc} = f'_c + \psi_f 3.3k_a f_l$

2 $f_l = \frac{2E_f n t_f \varepsilon_{fe}}{D}$



3 $\varepsilon_{ccu} = \varepsilon'_c \left[1.5 + 12k_b \frac{f_l}{f'_c} \left(\frac{\varepsilon_{fe}}{\varepsilon_c} \right)^{0.45} \right] \leq 0.01$

Diseño de reforzamientos de nudos con FRP

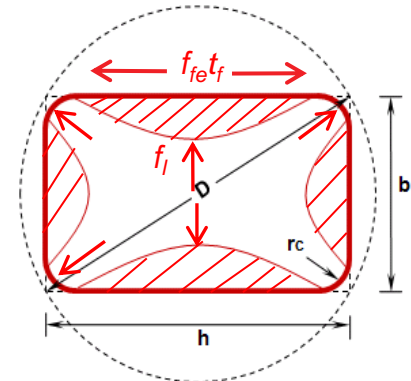
Confinamiento de la zona de rótula plástica:

$$L_p = g + 0.044f_y d_{bl}$$



1 $f'_{cc} = f'_c + \psi_f 3.3k_a f_l$

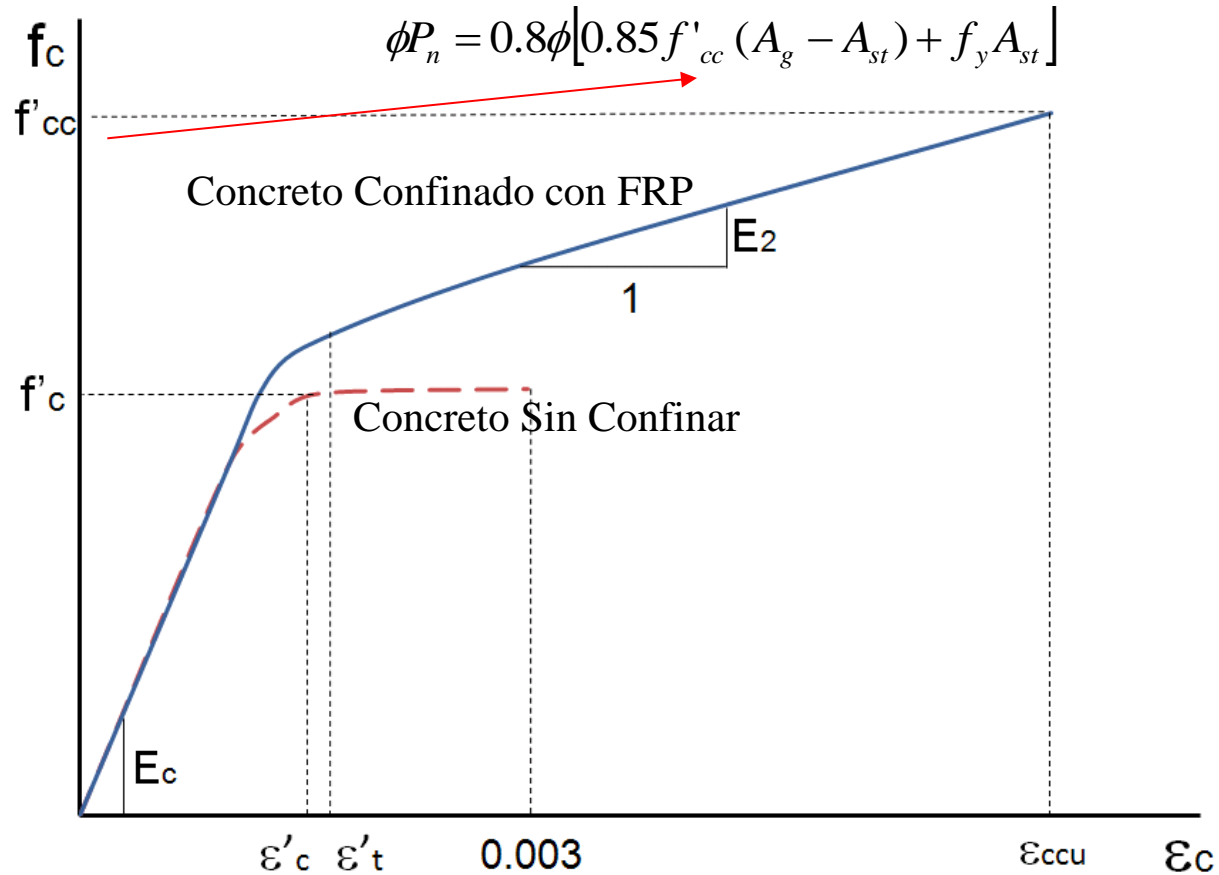
2 $f_l = \frac{2E_f n t_f \varepsilon_{fe}}{D}$



3 $\varepsilon_{ccu} = \varepsilon'_c \left[1.5 + 12k_b \frac{f_l}{f'_c} \left(\frac{\varepsilon_{fe}}{\varepsilon_c} \right)^{0.45} \right] \leq 0.01$

Diseño de reforzamientos de nudos con FRP

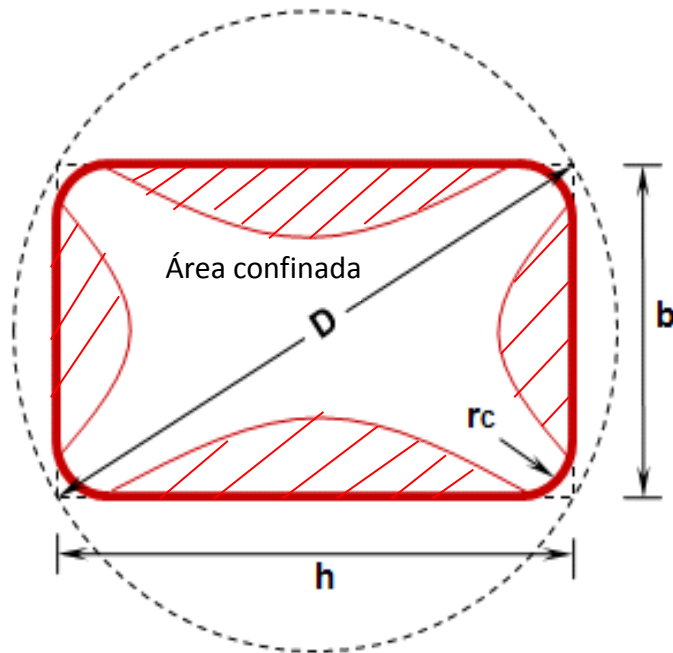
Confinamiento de la zona de rótula plástica:



$$\varepsilon_{ccu} = \varepsilon'_c \left[1.5 + 12k_b \frac{f_l}{f'_c} \left(\frac{\varepsilon_{fe}}{\varepsilon_c} \right)^{0.45} \right] \leq 0.01$$

Diseño de reforzamientos de nudos con FRP

Confinamiento de la zona de rótula plástica:



IMPORTANTE:

$$b, h < 90\text{cm}$$

$$h/b < 1.5$$

Límites en las dimensiones de las columnas rectangulares

Diseño de reforzamientos de nudos con FRP

Confinamiento de la zona de rótula plástica:

RESUMEN

1. Factor de reducción ambiental:

$$f_{fu} = C_E f_{fu}^* \quad \varepsilon_{fu} = C_E \varepsilon_{fu}^*$$

CONDICIONES DE EXPOSICIÓN	TIPO DE FIBRA	C_E
Exposición interior	Carbono	0.95
	Vidrio	0.75
Exposición al exterior (Puentes, áreas de parking descubiertas...)	Carbono	0.85
	Vidrio	0.65
Ambiente agresivo (Plantas químicas, plantas de tratamiento de aguas...)	Carbono	0.85
	Vidrio	0.50

2. Deformación efectiva del FRP:

$$\varepsilon_{fe} = 0.004 \leq k_\varepsilon \varepsilon_{fu} \quad k_\varepsilon = 0.55$$
$$\varepsilon_{fu} = C_E \varepsilon_{fu}^*$$

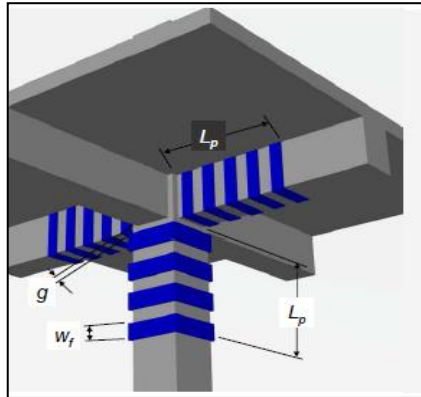
Diseño de reforzamientos de nudos con FRP

Confinamiento de la zona de rótula plástica:

CONT. RESUMEN

3. Longitud de la zona de rótula plástica:

$$L_p = g + 0.044f_y d_b$$



4. Variables del confinamiento del concreto:

$$f_l = \frac{2E_f n t_f \varepsilon_{fe}}{D}$$

Presión de confinamiento

$$f'_{cc} = f'_c + \psi_f 3.3k_a f_l$$

Esfuerzo a compresión del
concreto confinado

$$\varepsilon_{ccu} = \varepsilon'_c \left[1.5 + 12k_b \frac{f_l}{f'_c} \left(\frac{\varepsilon_{fe}}{\varepsilon_c} \right)^{0.45} \right] \leq 0.01$$

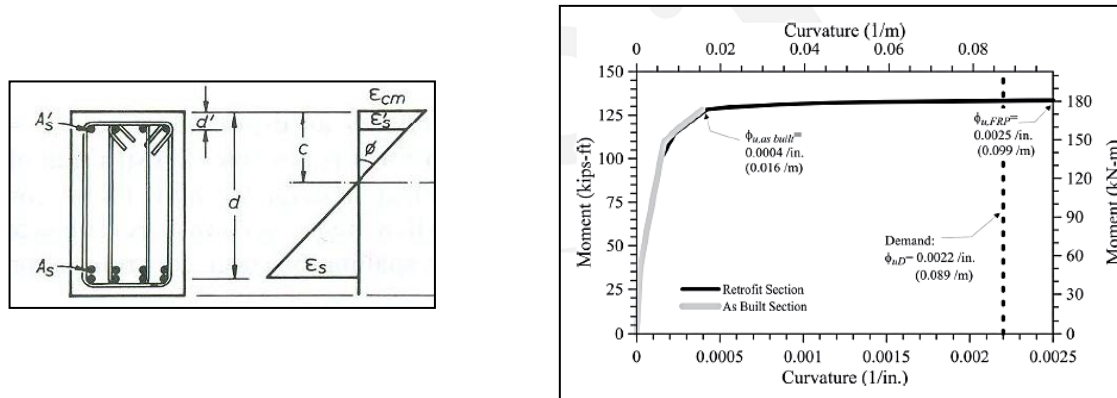
Deformación unitaria a compresión
del concreto confinado

Diseño de reforzamientos de nudos con FRP

Confinamiento de la zona de rótula plástica:

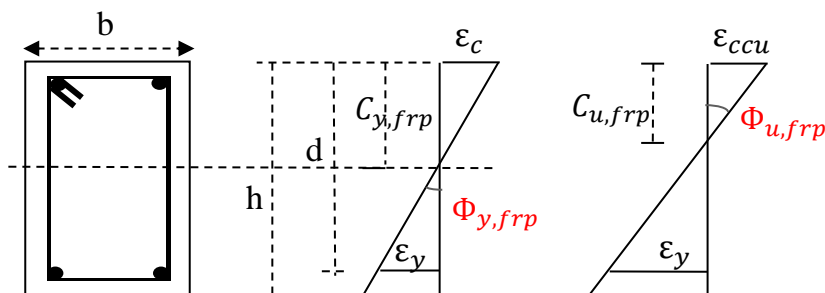
CONT. RESUMEN

5. Diagrama momento-curvatura de la sección:



ACI 440.2R - 17

6. Del análisis M- Φ obtener:



$$\Phi_{y,frp} = \frac{\epsilon_y}{d - C_{y,frp}}$$

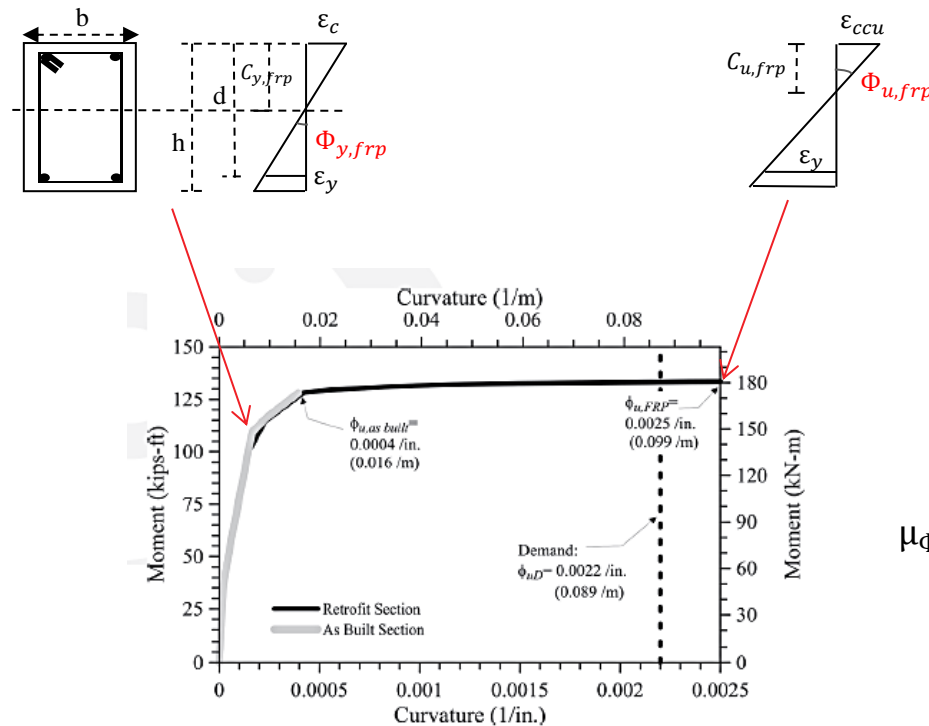
$$\Phi_{u,frp} = \frac{\epsilon_{ccu}}{C_{u,frp}}$$

Diseño de reforzamientos de nudos con FRP

Confinamiento de la zona de rótula plástica:

CONT. RESUMEN

6. Diagrama momento-curvatura de la sección:



$$\mu_{\Phi} = \frac{\Phi_{u,frp}}{\Phi_{y,frp}}$$

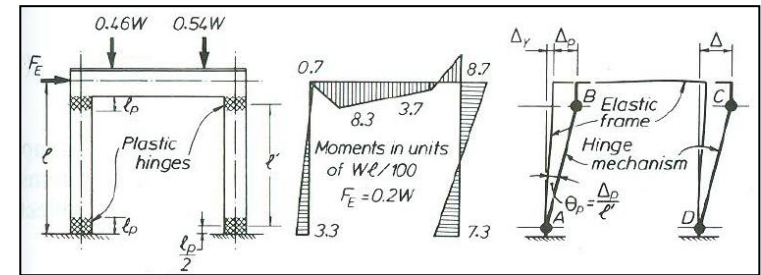
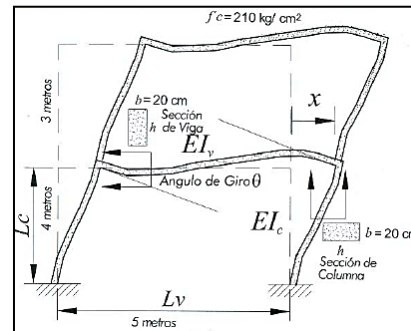
Diseño de reforzamientos de nudos con FRP

Confinamiento de la zona de rótula plástica:

CONT. RESUMEN

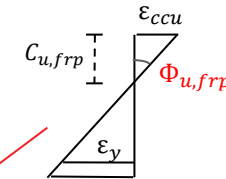
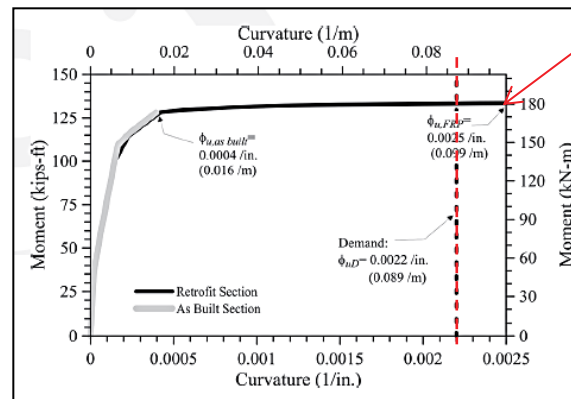
7. Demanda de la curvatura última:

$$\Phi_D = \frac{\theta_p}{L_p} + \Phi_{y,frp}$$



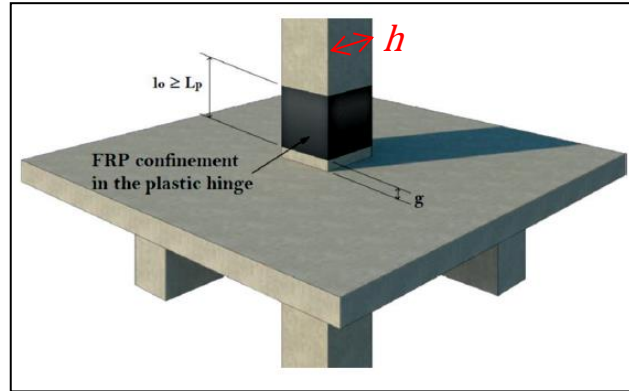
7. Verificar el diseño:

$$\Phi_D < \Phi_{u,frp}$$



Diseño de reforzamientos de nudos con FRP

Confinamiento de la zona de rótula plástica:



Confinamiento de la zona de rótula plástica en columnas

$$L_p = g + 0.044f_y d_b$$

$$l_o \geq L_p$$

$$l_o \geq \begin{cases} h \\ \frac{L_c}{6} \\ 457\text{mm (18")} \end{cases}$$



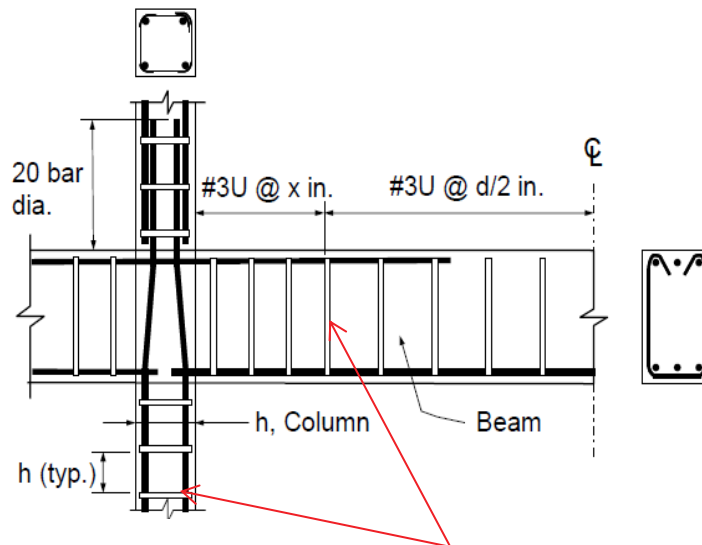
Colocación de un tejido de fibra de carbono

Diseño de reforzamientos de nudos con FRP

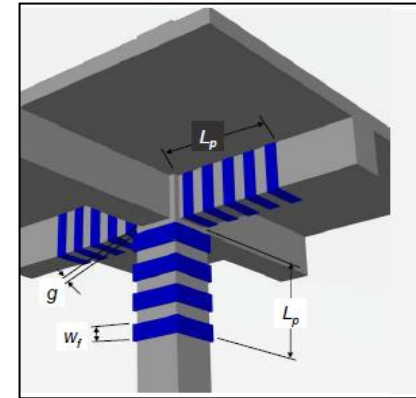
Reforzamiento de nudos con FRP:

FRP para aumentar:

2. Cortante en la zona de rótula plástica

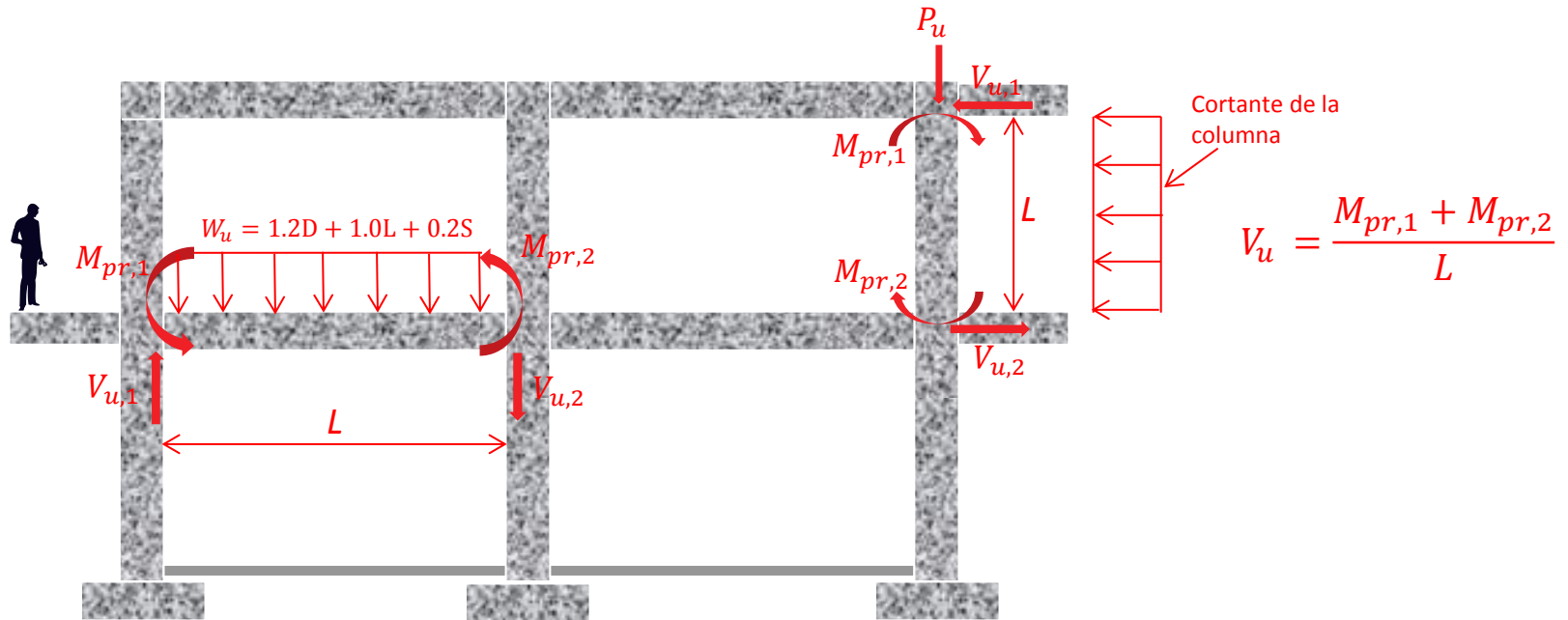


Estribos muy espaciados, o sin ganchos

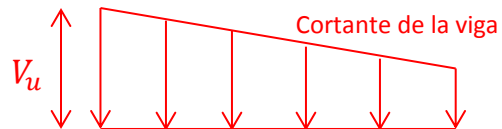


Diseño de reforzamientos de nudos con FRP

Cortante último de diseño V_u :



$$V_u = \frac{M_{pr,1} + M_{pr,2}}{L}$$



$$V_u = \frac{M_{pr,1} + M_{pr,2}}{L} + \frac{W_u L}{2}$$

Diseño de reforzamientos de nudos con FRP

Cortante en la zona de rótula plástica:

RESUMEN

1. Factor de reducción ambiental:

$$f_{fu} = C_E f_{fu}^* \quad \varepsilon_{fu} = C_E \varepsilon_{fu}^*$$

CONDICIONES DE EXPOSICIÓN	TIPO DE FIBRA	C_E
Exposición interior	Carbono	0.95
	Vidrio	0.75
Exposición al exterior (Puentes, áreas de parking descubiertas...)	Carbono	0.85
	Vidrio	0.65
Ambiente agresivo (Plantas químicas, plantas de tratamiento de aguas...)	Carbono	0.85
	Vidrio	0.50

2. Deformación efectiva del FRP:

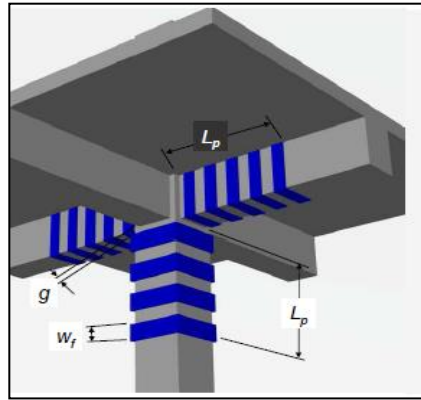
$$\varepsilon_{fe} = 0.004 \leq 0.75 \varepsilon_{fu} \quad \varepsilon_{fu} = C_E \varepsilon_{fu}^*$$

Diseño de reforzamientos de nudos con FRP

Cortante en la zona de rótula plástica:

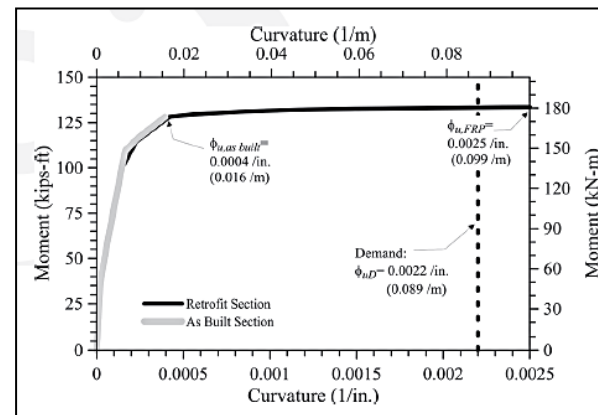
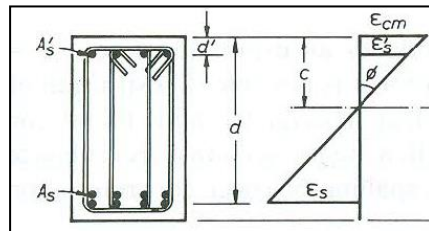
CONT. RESUMEN

3. Longitud de la zona de rótula plástica:



$$L_p = g + 0.044f_y d_b$$

4. Diagrama momento-curvatura de la sección:

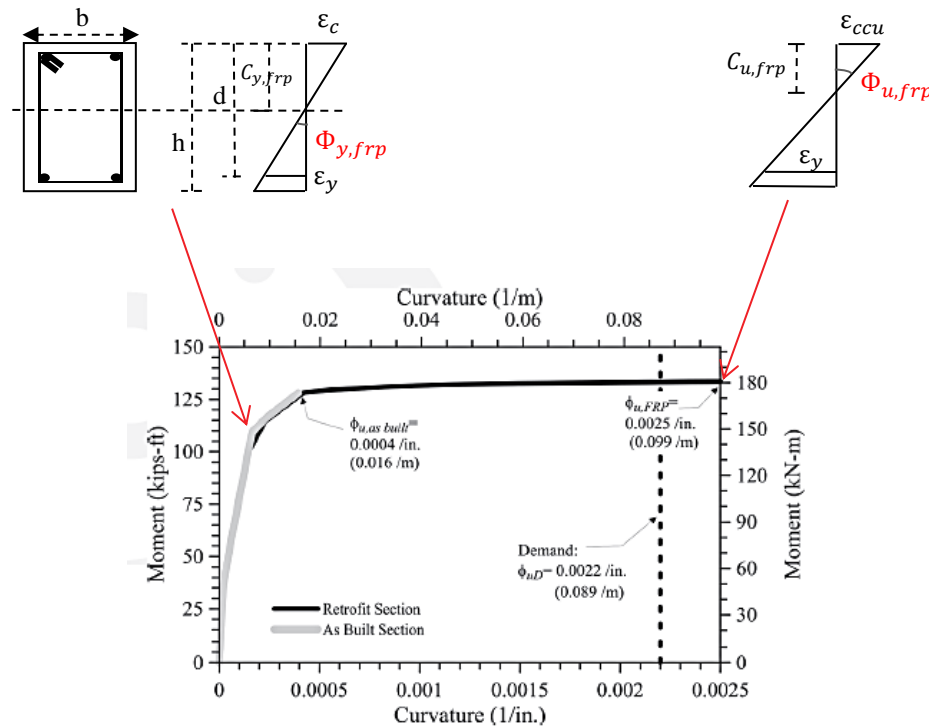


Diseño de reforzamientos de nudos con FRP

Cortante en la zona de rótula plástica:

CONT. RESUMEN

4. Diagrama momento-curvatura de la sección:

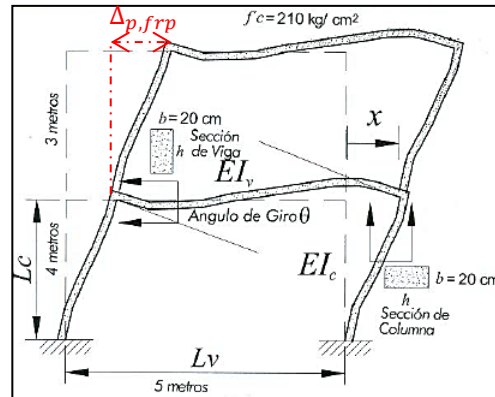


Diseño de reforzamientos de nudos con FRP

Cortante en la zona de rótula plástica:

CONT. RESUMEN

5. Ductilidad de desplazamiento y factor de reducción k :



Deflexión de fluencia:

$$\Delta_{y,frp} = \frac{\Phi_{y,frp}(L_{eff})^2}{3}$$

Deflexión plástica:

$$\Delta_{p,frp} = (\Phi_u - \Phi_y)L_p \left[L_{eff} - \frac{L_p}{2} \right]$$

Ductilidad de desplazamiento:

$$\mu_{\Delta} = 1 + \frac{\Delta_p}{\Delta_y}$$

$$\begin{cases} \mu_{\Delta} \leq 2; & k = 1.0 \\ 2 \leq \mu_{\Delta} \leq 6; & k = 0.7 + \frac{0.3(6 - \mu_{\Delta})}{4} \\ \mu_{\Delta} > 6; & k = 0.7 \end{cases}$$

Diseño de reforzamientos de nudos con FRP

Cortante en la zona de rótula plástica:

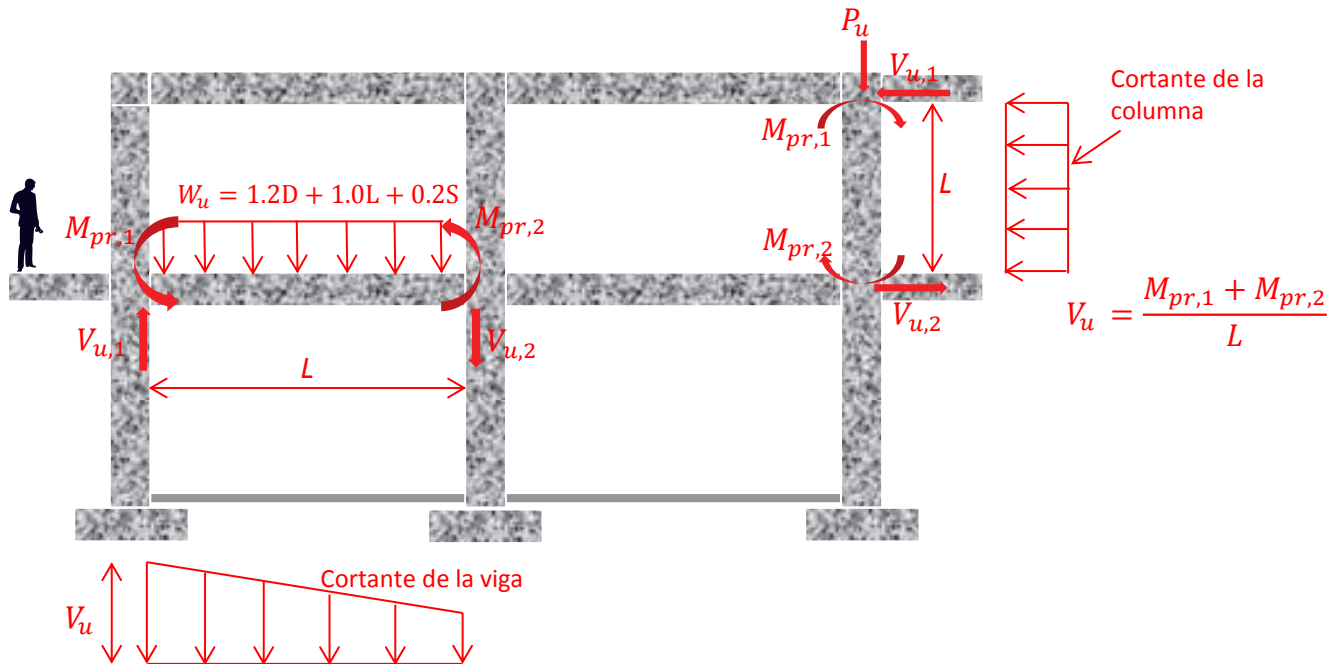
CONT. RESUMEN

6. Fuerza cortante requerida por el FRP:

$$V_{f,R} = \frac{\frac{V_u}{\Phi} - k(V_c + V_s)}{\psi_f}$$

$$\Phi = 1$$

$$\Psi = 0.95$$



$$V_u = \frac{M_{pr,1} + M_{pr,2}}{L} + \frac{W_u L}{2}$$

Diseño de reforzamientos de nudos con FRP

Cortante en la zona de rótula plástica:

CONT. RESUMEN

7. Esfuerzo efectivo del FRP:

$$f_{fe} = \varepsilon_{fe} E_f$$

$$\varepsilon_{fe} = 0.004 \leq 0.75 \varepsilon_{fu}$$

$$\varepsilon_{fu} = C_E \varepsilon_{fu}^*$$

$$C_E = 0.95$$

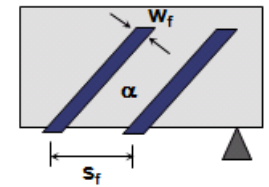
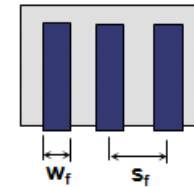
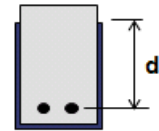
8. Número de capas de FRP:

$$V_f = A_{fv} f_{fe} \frac{(\operatorname{sen} \alpha + \operatorname{cos} \alpha) d_f}{S_f}$$

$$A_{fv} = 2 t_f w_f$$

$$n_{fv} = \frac{V_{f,R}}{V_f}$$

Mínimo 2 capas

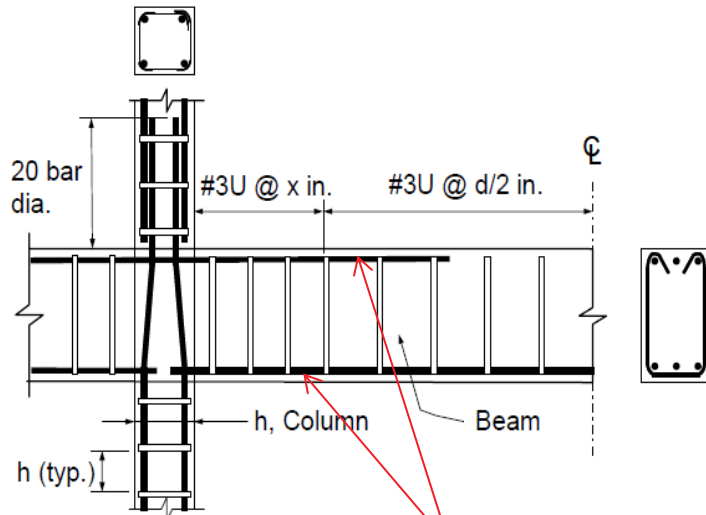


Diseño de reforzamientos de nudos con FRP

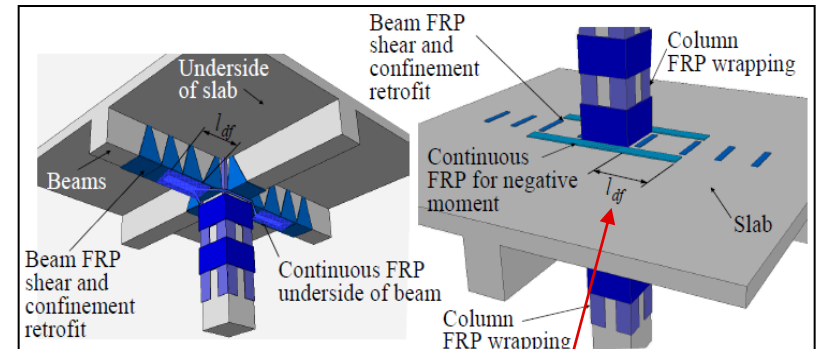
Reforzamiento de nudos con FRP:

FRP para aumentar:

3. Flexión en la zona de rótula plástica



Reforzo longitudinal insuficiente



$$l_{df} = \sqrt{\frac{nE_f t_f}{\sqrt{f'_c}}}$$

$$\Phi M_n = \Phi \left[A_s f_s \left(d - \frac{\beta_1 c}{2} \right) + \psi_f A_f f_{fe} \left(h - \frac{\beta_1 c}{2} \right) + A'_s f'_s (d - d') \right]$$



REFORZAMIENTO SÍSMICO DE MUROS CON FRP.....

CONSTRUYENDO CONFIANZA



Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

Reforzamiento sísmico de muros:

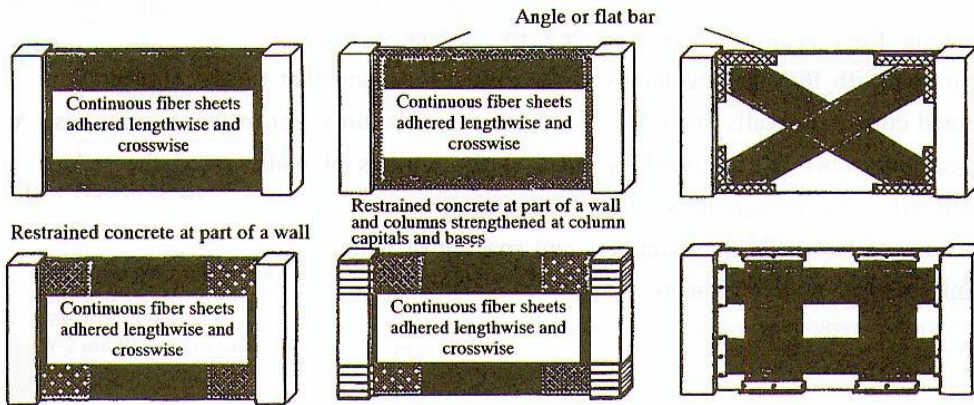


Figure 3.4.5-1 Methods of Wrapping Continuous Fiber Sheets Adopted in Past Researches

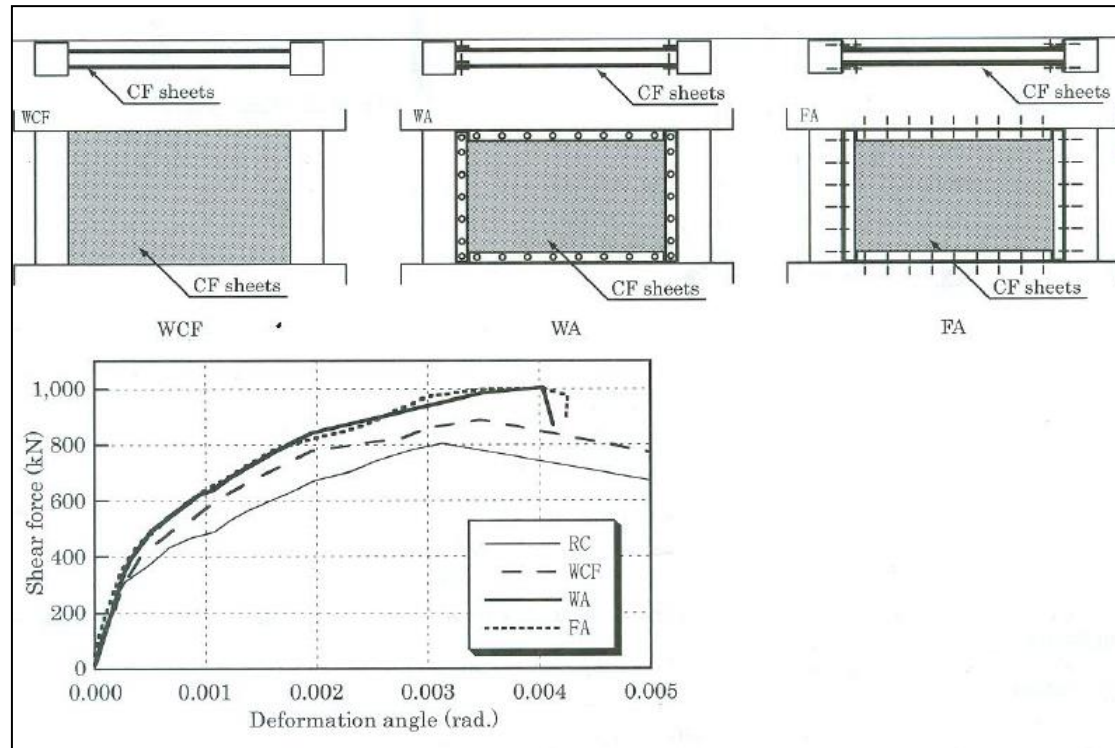


Anclaje del FRP en el perímetro

Tomado de la Guía Japonesa de FRP (1999)

Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

Reforzamiento sísmico de muros:

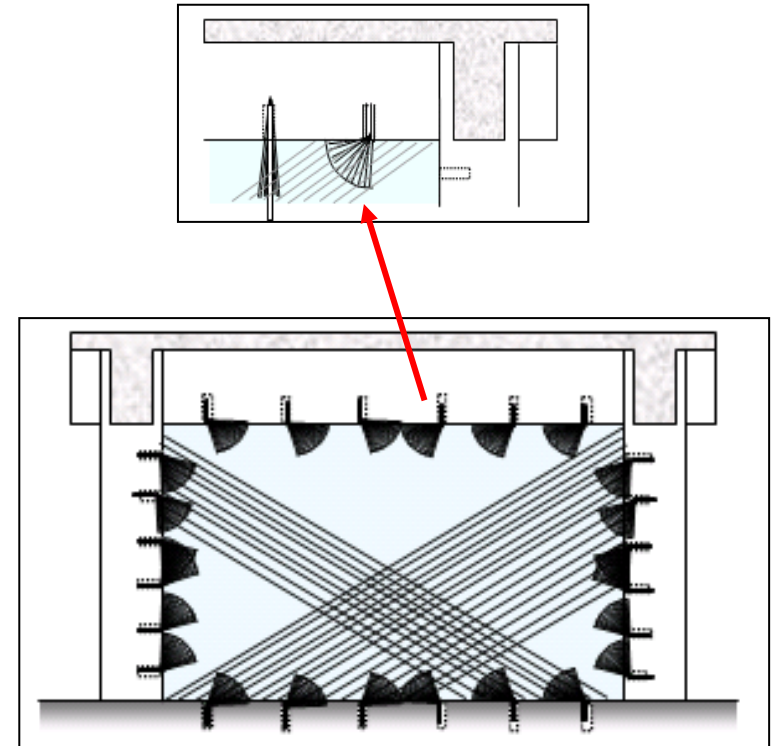
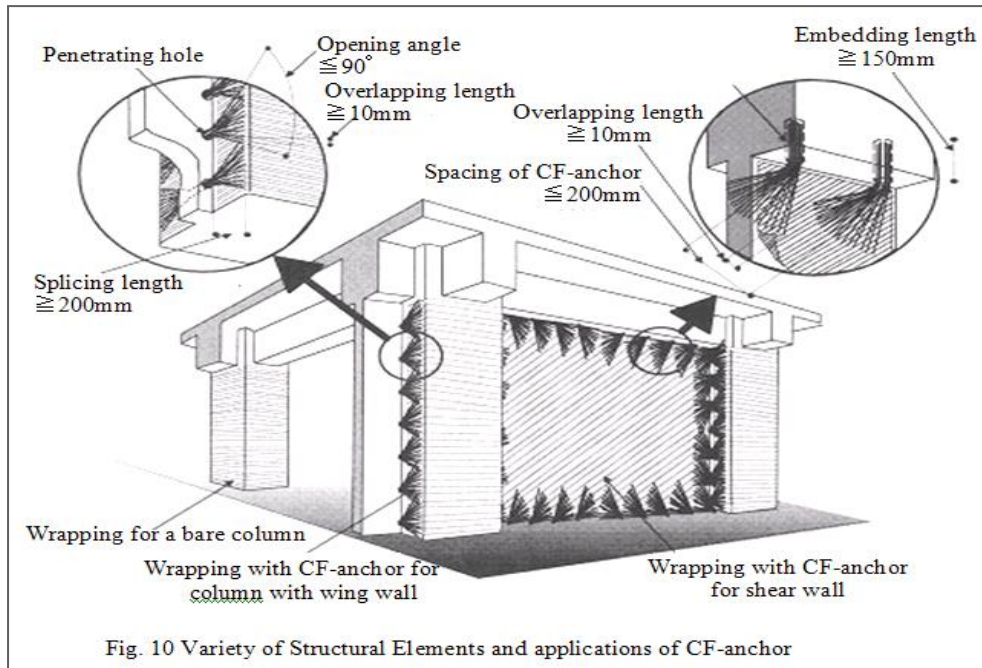


Anclaje del FRP en el perímetro

Tomado del IPS -2(2007)

Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

Reforzamiento sísmico de muros:



Anclaje del FRP en el perímetro

Tomado de K. Kobayashi (2004)

Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

Edificio de apartamentos – Cali (COLOMBIA)



HISTORIA

Edificio de muros de cortante de concreto reforzado. En 2010 se reforzaron los muros con un tejido de fibra de carbono y platinas de carbono para aumentar su desempeño ante un sismo .

Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

Reforzamiento sísmico de muros:



Materialles Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

Reforzamiento sísmico de muros:



Anclajes de fibra de carbono en la intersección de los muros con **SikaWrap 600C** ó **SikaWrap FX-50C**

Materialles Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

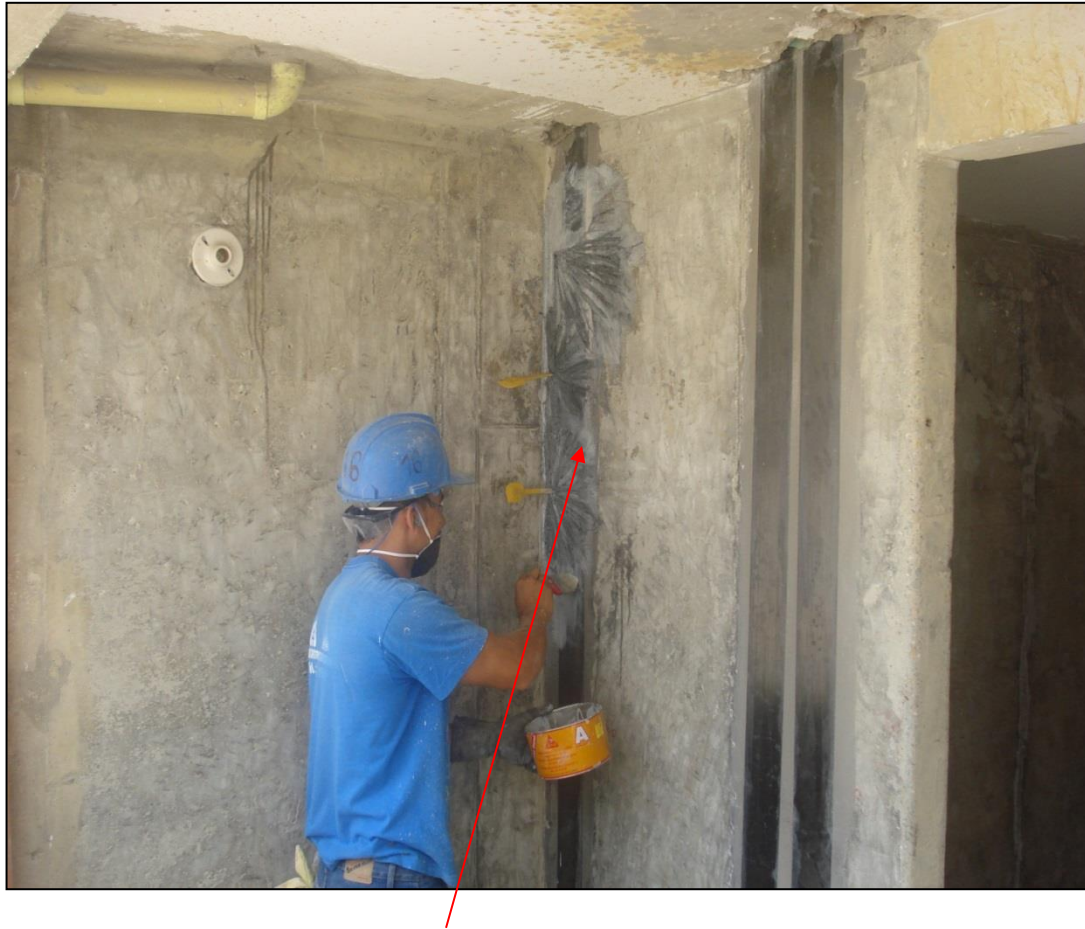
Reforzamiento sísmico de muros:



Platinas de fibra de carbono Sika carboDur S1012 en los extremos de los muros

Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

Reforzamiento sísmico de muros:



Anclajes de fibra de carbono en la intersección de los muros. El tejido de fibra de carbono se coloca luego encima

Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

Reforzamiento sísmico de muros:



Impregnación del tejido de fibra de carbono con la resina epóxica **Sikadur 301**



Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

Reforzamiento sísmico de muros:



Tejido de fibra de carbono en los muros del edificio **SikaWrap 600C**

Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

Reforzamiento sísmico de muros:



Tejido de fibra de carbono en los muros del edificio **SikaWrap 600C**

Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

Reforzamiento sísmico de muros:



Longitud de anclaje

$$l_{df} = \sqrt{\frac{nE_f t_f}{\sqrt{f'_c}}}$$



Platinas de fibra de carbono **Sika CarboDur S1012** pasando a través de la losa

Materialles Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

Reforzamiento sísmico de muros:



Tejido de fibra de carbono **SikaWrap 600C** en los muros del edificio

Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

Edificio de apartamentos – Barranquilla (COLOMBIA)

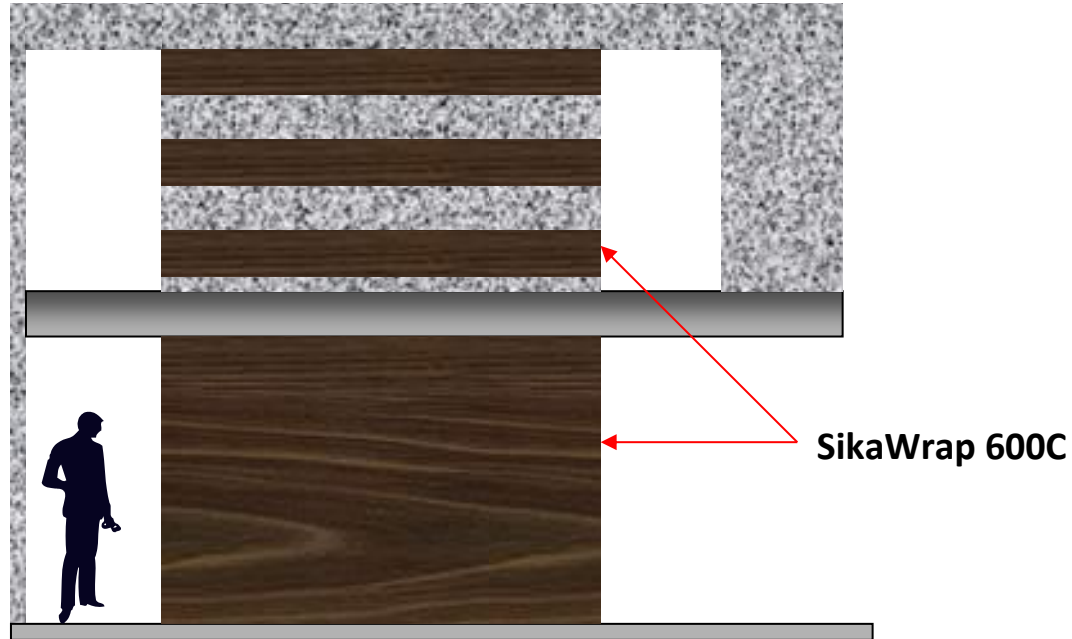


HISTORIA

Edificio de muros de cortante de concreto reforzado. En 2005 se reforzaron los muros con un tejido de fibra de carbono para aumentar su desempeño ante un sismo .

Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

Reforzamiento sísmico de muros:



Reforzamiento a cortante con tejido de fibra de carbono **SikaWrap 600C**

Una capa de **SiKaWrap 600C** por muro, 80 m² en total

Diseño: Ing. Olga Pezzano

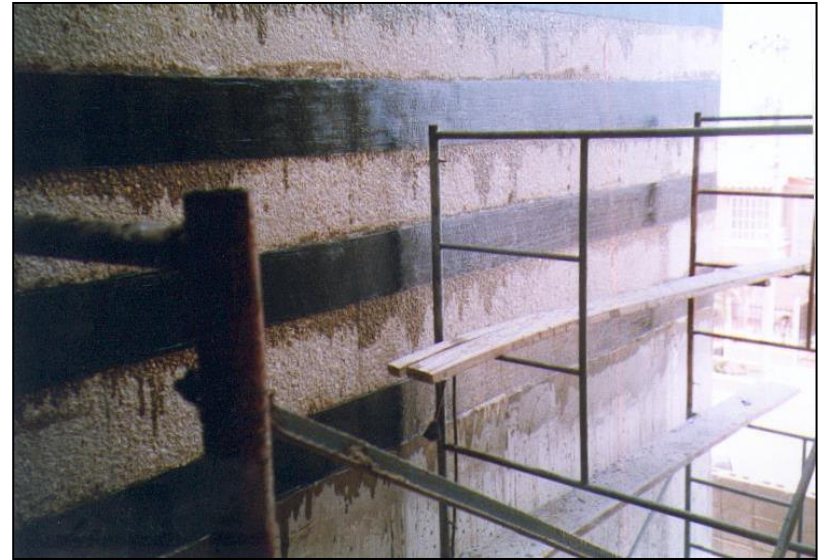
Aplicación: I.R.E Ingeniería de Reconstrucción S.A

Materiales Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

Reforzamiento sísmico de muros:



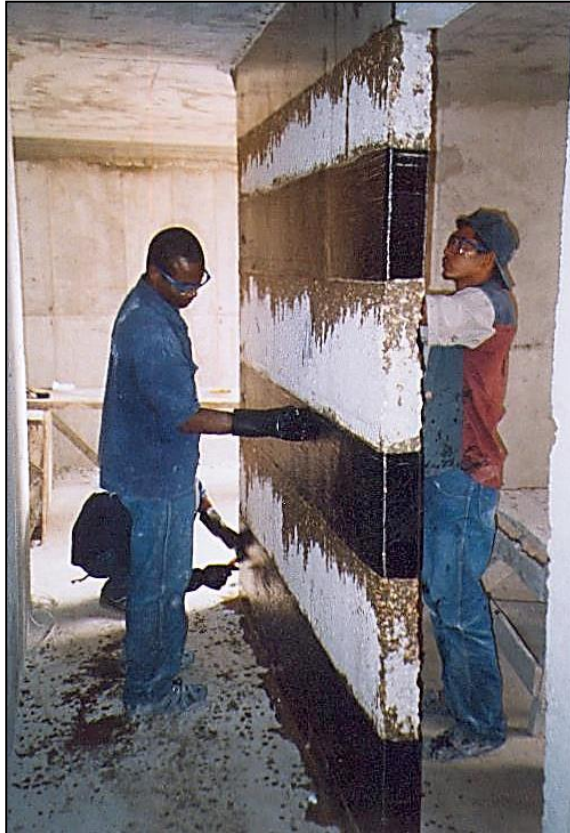
Preparación de superficie



Colocación del **SikaWrap 600C**

Materialles Compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer)

Reforzamiento sísmico de muros:



Colocación del **SikaWrap 600C**

GRACIAS

CONSTRUYENDO CONFIANZA

