



ACI - PERU

CONVENCION INTERNACIONAL 2010

**Experiencia Peruana en el Diseño y
Aplicación de Reforzamiento Estructural
con Fibra de Carbono.**

Ing. William Baca Escobar

wbaca@constructorarf.com.pe

wbaca@topconsult.com.pe

Conceptos Básicos

- ★ **REFORZAMIENTO:** Acciones necesarias para **Aumentar la Capacidad** Resistente de un elemento estructural y-o estructura
- ★ **REPARACION:** Acciones necesarias para **Restituir la capacidad** resistente de una estructura dañada.
- ★ **RESTAURACIÓN:** Acciones necesarias para Conseguir que una edificación “antigua” sea utilizable.

Motivos de Reforzamiento.

- ✱ Cambio de Uso de la edificación
Ejm: Ambientes destinados a oficinas cambian a ser almacenes.
- ✱ Errores de Diseño / Construcción
- ✱ Problemas de Degradación y/o deterioro de de algunos elementos. (Oxidación, degradación del concreto, etc.)
- ✱ Cambio de Códigos y-o Reglamentos.
- ✱ Otros.

Proceso para el Reforzamiento.

- 1) Inspección de la estructura.
- 2) Analizar la estructura existente, Determinar las causas para el reforzamiento.
- 3) **Ejecutar el Proyecto de Reforzamiento.** Para ello analizar la estructura considerando las diferentes técnicas, para reforzar, en función de los tipos de esfuerzos (tensión, compresión, flexión, estabilidad, cortante, etc) requeridos en los elementos.
 - Rigidizar la estructura (Inclusión de muros de corte, diagonales de acero, etc.)
 - Ensanchamiento de sección.
 - Construcción compuesta. (FRP) (ACERO) etc.
 - Postensado interior y/o exterior
 - Reducción de esfuerzos y/o cargas.
 - Inclusión de estructuras metálicas para reducir luces.
 - Etc. etc.

Se debe lograr un balance entre Costo, funcionamiento, estética, espacio, urgencia, dificultad, y seguridad.

Reforzamiento con Fibras de Carbono

¿Porqué usar Compuestos?

★ Beneficios Estructurales

- Muy alta resistencia a la tensión.
- Ligero

★ Beneficios al Ciclo de Vida

- Resistente a Corrosión
- Bajo espesor, no se nota

★ Beneficios Económicos

- Bajo costo de instalación
- Rápida puesta en servicio

Diseño del reforzamiento con FRP. ¿Cuándo es eficiente?

★ Es muy adecuado para tomar esfuerzos de tensión, básicamente para reforzar elementos de concreto, madera y otros bajo solicitaciones de:

- Flexión

- Cortante

- Carga Axial (Confinamiento)

★ Prácticas Estándar ACI 440

Propiedades del Material - FRP

- **Módulo de Elasticidad**

$$E = (700, a 2'300,) \text{ Kg/cm}^2$$

- **Esfuerzo de Rotura - Tensión**

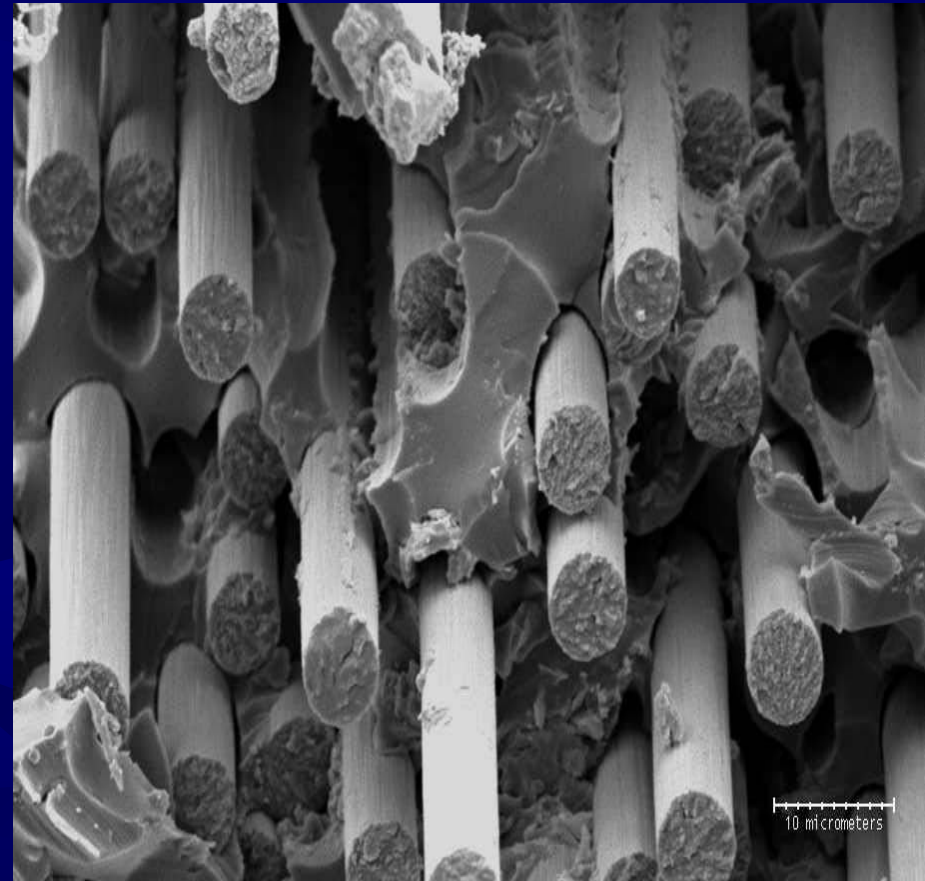
$$f_u = (15, a 40,) \text{ Kg/cm}^2$$

(10 veces el acero de f_y 4200)

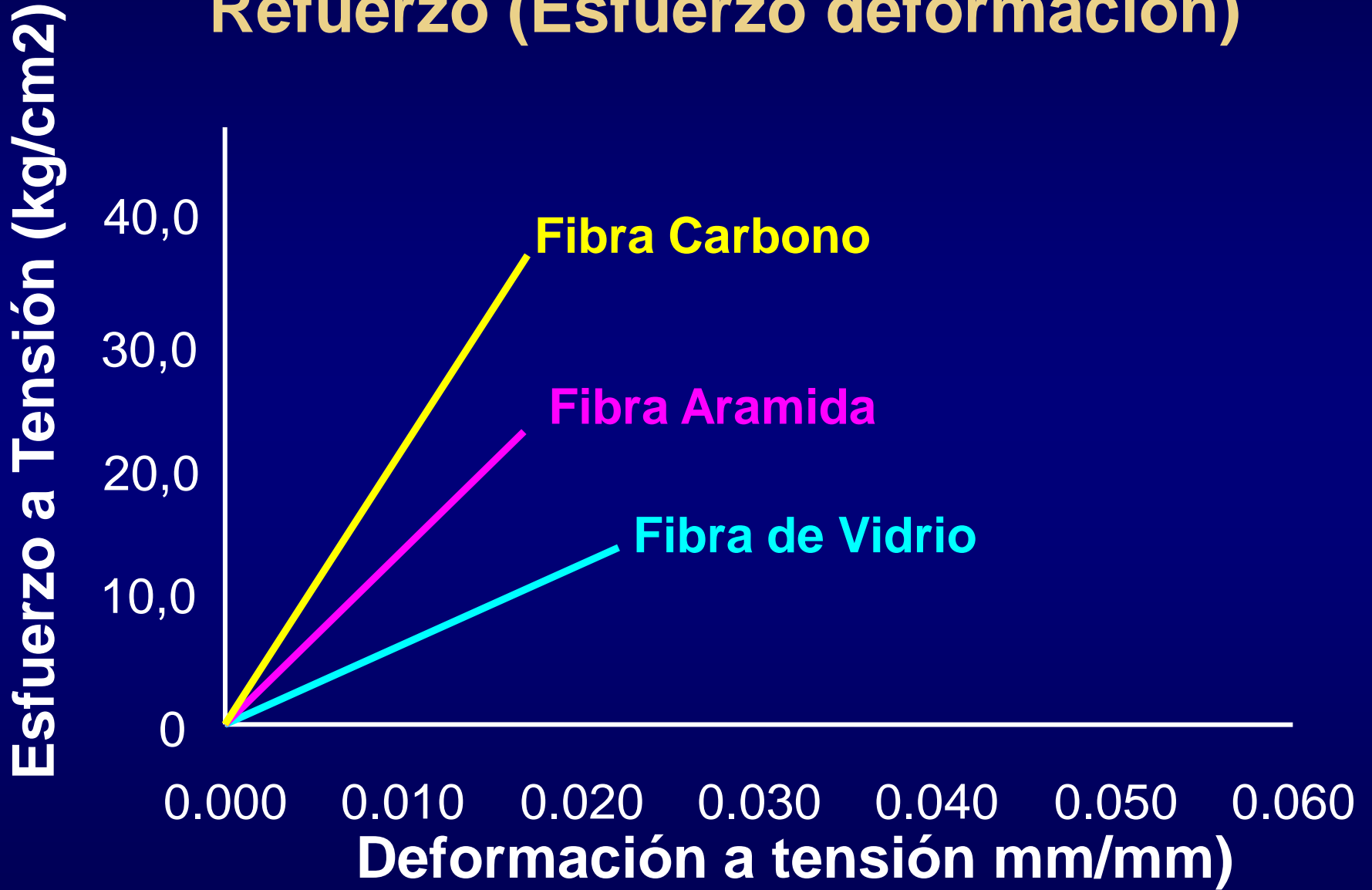
- **Deformación unitaria de Falla.**

Mbrace y $F_y f_e$

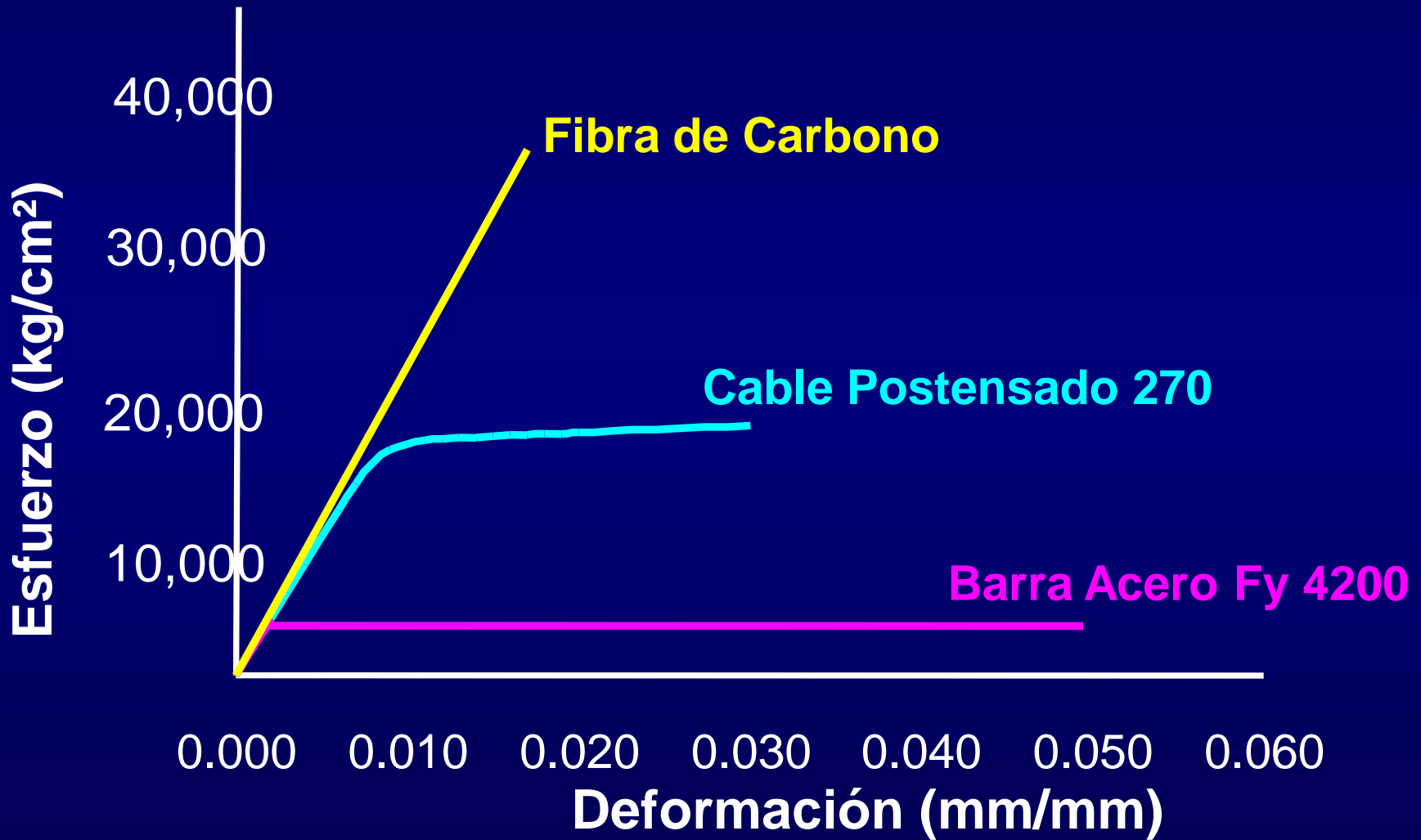
$$\delta u = 0.016 \text{ mm/mm}$$



Comportamiento de diferentes Fibras de Refuerzo (Esfuerzo deformación)



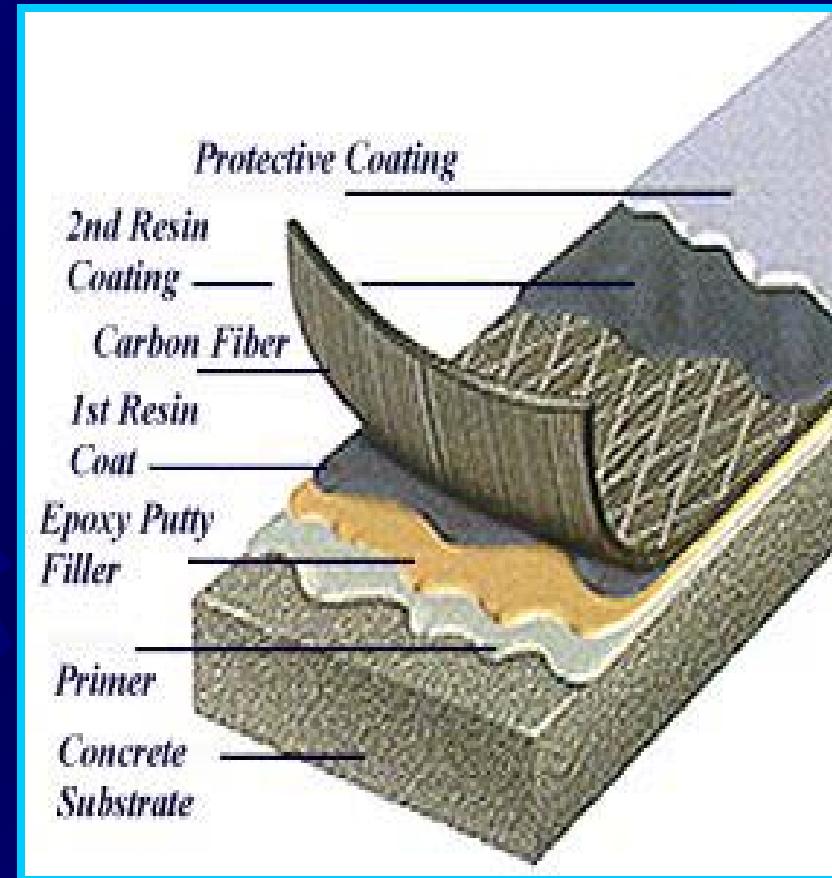
Comportamiento de la Fibra de Carbono



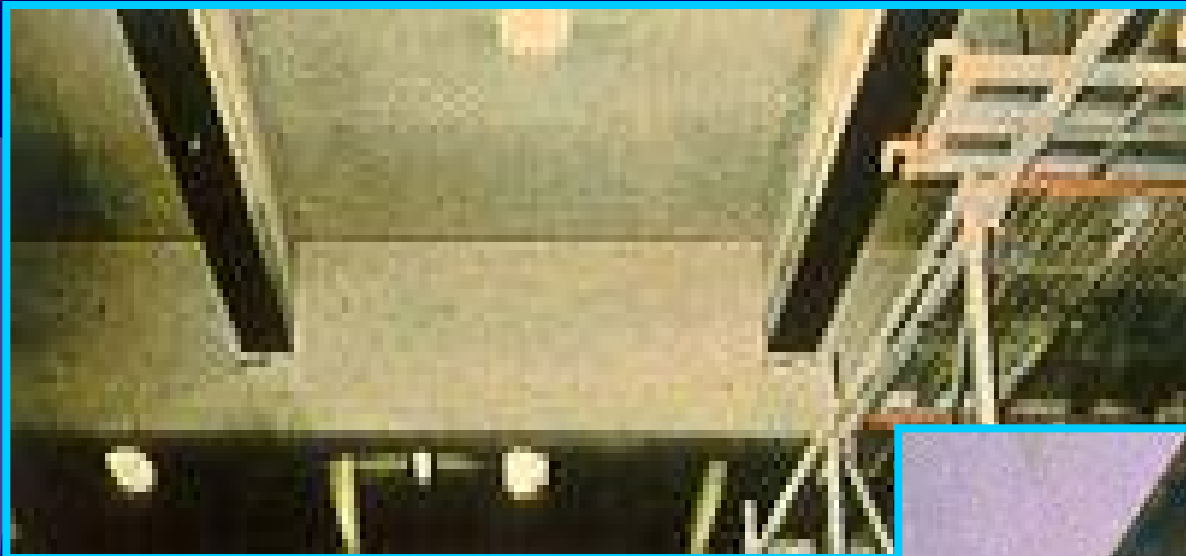
Sistema de Refuerzo con Fibra de Carbono

Está compuesto por :

- ★ Imprimante epóxico (Puente de adherencia)
- ★ Masilla epóxica nivelante
- ★ Resina Saturante
- ★ Lámina de Fibra de Carbono
- ★ Recubrimiento Protector



Aplicaciones : Vigas



- ✦ Aumenta la resistencia a flexión y corte
- ✦ Mejora el confinamiento

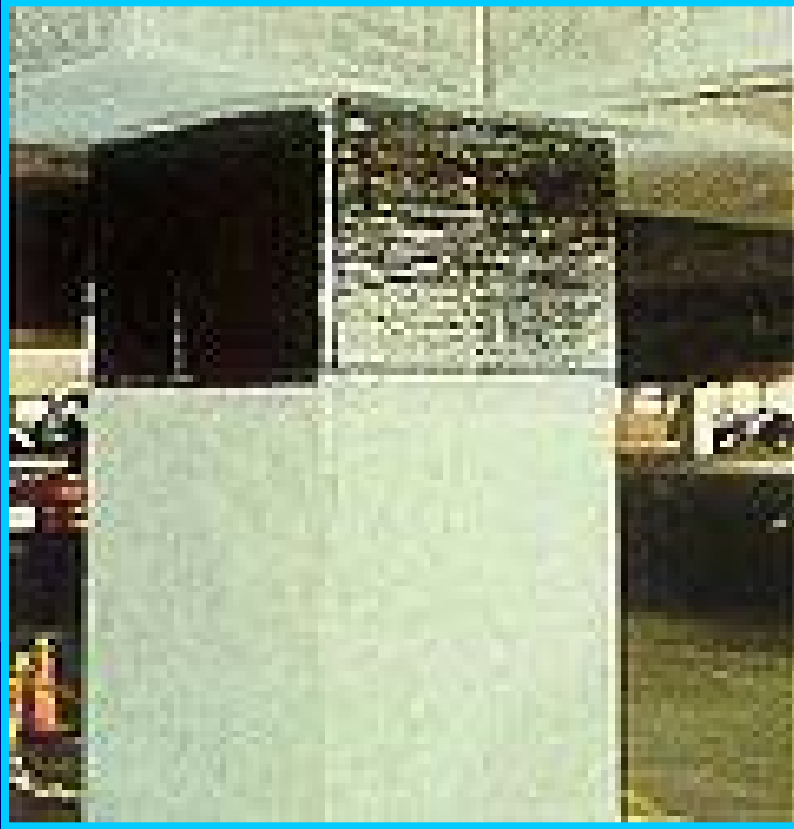


Aplicaciones : Columnas y Muros

- ☀ Aumenta la resistencia a flexión y corte
- ☀ Mejora el confinamiento
- ☀ Ideal como refuerzo antisísmico



Aplicaciones : Columnas y Muros



Aumenta la resistencia a flexión y corte
Mejora el confinamiento
Ideal como refuerzo antisísmico

Aplicaciones : Losas



Aumenta la capacidad de carga
Controla las deflexiones
excesivas
Para losas aligeradas o macizas

**ASPECTOS BASICOS
PARA EL DISEÑO DE
ELEMENTOS
CON REFUERZO
ADHERIDO (FRP)**



Aspectos Fundamentales para El Diseño – ACI – 440 2R-08

- ★ Toda estructura que necesite ser reforzada con el sistema de Fibras de Carbono (FRP) debe tener una resistencia mínima, de manera que en caso de vandalismo, incendio y las fibras se quiten de la estructura, esta no debe colapsar (ACI – 440)
- ★ $(\phi R_n)_{\text{exist}} \geq (1.1C_m + 0.75C_v)\text{Cargas Diseño}$

Factor de Reducción (C_E) por Exposición al Medio Ambiente

Table 9.1—Environmental reduction factor for various FRP systems and exposure conditions

Exposure conditions	Fiber type	Environmental reduction factor C_E
Exposición Interior	Carbon	0.95
	Glass	0.75
	Aramid	0.85
Exposición Exterior Puentes Pilares, Estacionamientos Ambientes No Cerrados	Carbon	0.85
	Glass	0.65
	Aramid	0.75
Ambientes Agresivos (Plantas Químicas)	Carbon	0.85
	Glass	0.50
	Aramid	0.70

Sistemas de Refuerzo - Metodos de Diseño ACI - 440

440R-20

ACI COMMITTEE REPORT

Table 5.2—Selected properties of typical currently available FRP strengthening systems as reported by the manufacturer

FRP system	Fiber type	Weight, g/m ² (lb/ft ²)	Design thickness, mm (in.)	Tensile strength, MPa (ksi)	Tensile elastic modulus, GPa (ksi)	ACI 440.3R test reporting method
Fyfe Co. LLC (2005)						
Tyfo SEH51 sheet	Glass	915 (0.19)	1.3 (0.052)	575 (83.4)	26.1 (3785)	Method 1
Tyfo SCH41 sheet	Carbon	644 (0.14)	1.0 (0.040)	985 (143)	95.8 (13,900)	Method 1
Sika Corp. (2007)						
SikaWrap Hex 100G sheet	Glass	913 (0.19)	1.0 (0.040)	531 (77)	23.6 (3430)	Method 1
SikaWrap Hex 103C sheet	Carbon	618 (0.13)	1.0 (0.040)	717 (104)	65.1 (9450)	Method 1
CarboDur S plate	Carbon	1800 (0.37)	1.2 to 1.4 (0.048 to 0.055)	2800 (406)	165 (23,900)	Method 1
CarboDur M plate	Carbon	1900 (0.39)	1.2 (0.048)	2400 (348)	210 (30,500)	Method 1
CarboDur H plate	Carbon	1900 (0.39)	1.2 (0.048)	1300 (189)	300 (43,500)	Method 1
BASF (2006)						
MBrace EG 900 sheet	Glass	900 (0.19)	0.37 (0.015)	1517 (220)	72.4 (10,500)	Method 2
MBrace AK 60 sheet	Aramid	600 (0.12)	0.28 (0.011)	2000 (290)	120 (17,400)	Method 2
MBrace CF 130	Carbon	300 (0.062)	0.17 (0.007)	3800 (550)	227 (33,000)	Method 2
MBrace CF 160	Carbon	600 (0.124)	0.33 (0.013)	3800 (550)	227 (33,000)	Method 2
S&P 100/1.4	Carbon	—	1.4 (0.055)	2700 (390)	159 (23,000)	Method 1
Hughes Brothers (2005)						
Aslan 400 plate	Carbon	—	1.4 (0.055)	2400 (350)	131 (19,000)	Method 1
Aslan 500 tape	Carbon	—	2.0 (0.079)	2068 (300)	124 (18,000)	Method 1
Aslan 500 tape	Carbon	—	4.5 (0.177)	1965 (285)	124 (18,000)	Method 1

Método 1: Con Propiedades de las Laminas Compuestas (Fibra + epoxico)

Método 2: Con Propiedades de las Laminas Secas (Solo Fibra)

PROPIEDADES DE LOS SISTEMAS COMPUESTOS



Tejido CF -160 MBrace



Módulo de Elasticidad
Resistencia a tracción
Deformación de ruptura
Densidad
Ancho de tejido
Espesor de tejido

2.35×10^6 Kg/cm²
35500 Kg/cm²
0.015
600 g/m²
60 cm
0.33 mm

Fyfe LatinAmerica

Division de Fyfe Co. LLC para LatinAmerica

Sistemas Compuestos Tyfo® Fibrwrap®

SISTEMAS COMPUESTOS TYFO® FIBRWRAP



Tyfo® SCH-41



Tyfo® SCH-41-S



Tyfo® SCH-41-2X



Tyfo® SCH-41S-1



Tyfo® BCC



Tyfo® SCH Anclas

Tyfo® SCH-41 Composite using Tyfo® S Epoxy

Tensile Modulus	33.4 x 10 ⁶ psi (230 GPa)
Ultimate Elongation	1.7%
Density	0.063 lbs./in. ³ (1.74 g/cm ³)
Weight per sq. yd.	19 oz. (644 g/m ²)

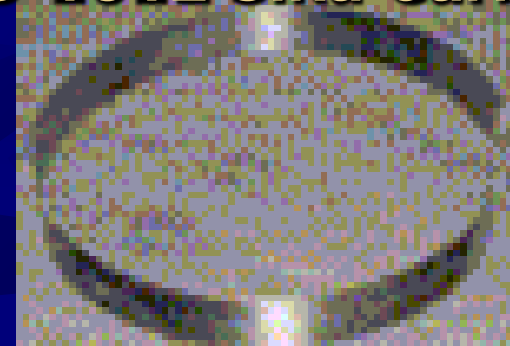
COMPOSITE GROSS LAMINATE PROPERTIES

PROPERTY	ASTM METHOD	TYPICAL TEST VALUE	DESIGN VALUE*
Ultimate tensile strength in primary fiber direction, psi	D-3039	143,000 psi (986 MPa) (5.7 kip/in. width)	121,000 psi (834 MPa) (4.8 kip/in. width)
Elongation at break	D-3039	1.0%	0.85%
Tensile Modulus, psi	D-3039	13.9 x 10 ⁶ psi (95.8 GPa)	11.9 x 10 ⁶ psi (82 GPa)
Laminate Thickness		0.04 in. (1.0mm)	0.04 in. (1.0mm)

PROPIEDADES DE LOS SISTEMAS COMPUESTOS



Platina S-1012 Sika CarboDur



Módulo de Elasticidad
Resistencia a tracción
Deformación de ruptura
Densidad
Ancho de tejido
Espesor de tejido
Fracción de Vol. De fibra

$1.65 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$
 $28,000 \text{ Kg/cm}^2$
0.017
 1.5 g/cm^3
10 cm
1.2 mm
68%



Propiedades del Sistema FRP.

Para el diseño, las principales propiedades nominales de los materiales proporcionadas por los fabricantes y verificadas por ensayos, deben ser afectadas por el Coeficiente C_E

Propiedades del Sistema FRP para el diseño

$$f_{fu} = C_E f_{fu}^* \quad \text{Esfuerzo de Rotura}$$

$$\varepsilon_{fu} = C_E \varepsilon_{fu}^* \quad \text{Deformación de Rotura}$$

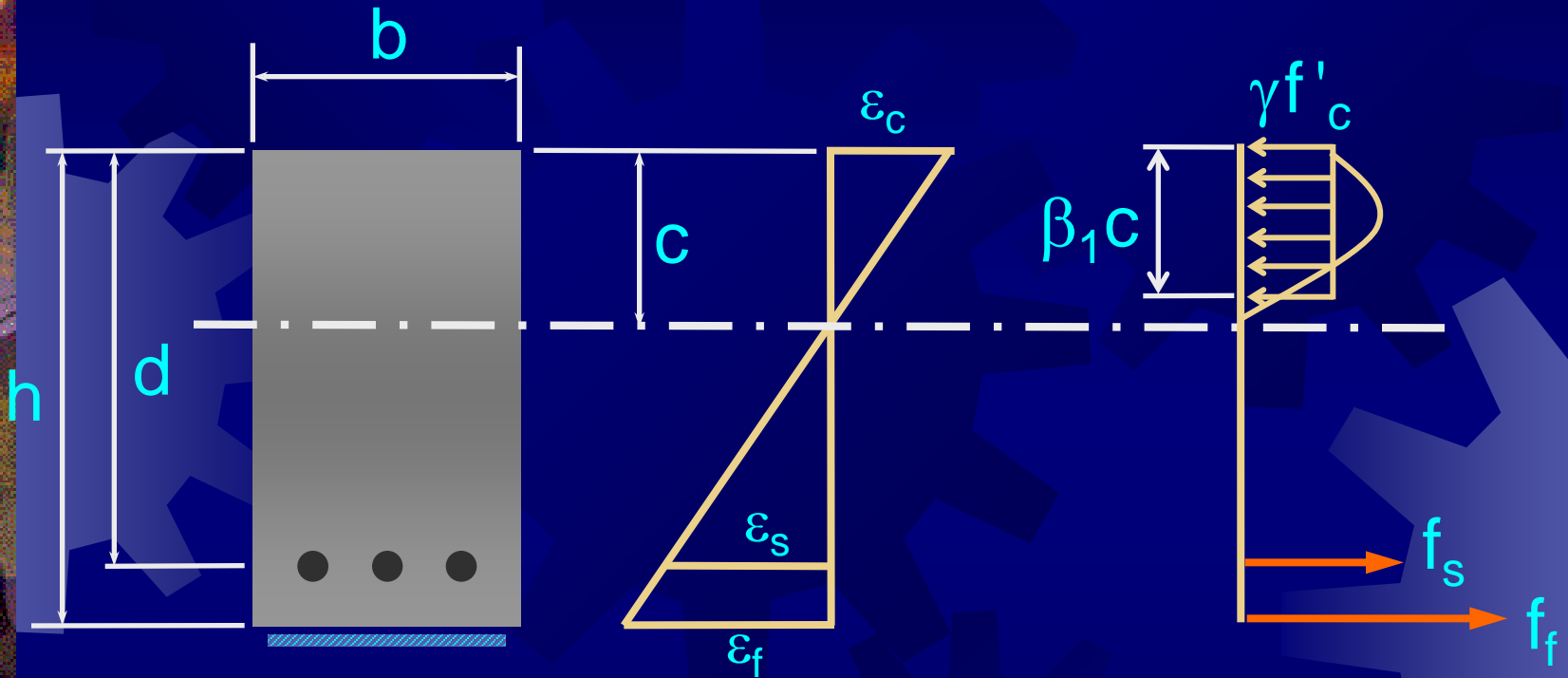
$$E_f = f_{fu} / \varepsilon_{fu} \quad \text{Modulo de Elasticidad}$$

Diseño Por Flexión



CAPACIDAD POR FLEXIÓN

Aspectos Generales

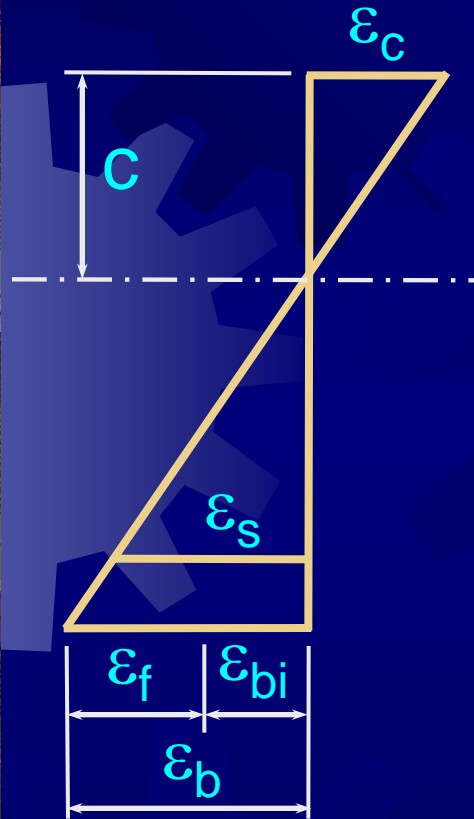


$$M_n = A_s f_s \left(d - \frac{\beta_1 c}{2} \right) + \psi_f A_f f_{fe} \left(h - \frac{\beta_1 c}{2} \right)$$

ACI 08 - $\epsilon_{fe} \ll \epsilon_{fu}$ (Fallas delaminación)

Resistencia a Flexión

Cálculo de Deformaciones



**Distribución de
Las deformaciones**

- ☀ Asumir compatibilidad de deformación
- ☀ Basado en modo de falla
- ☀ Calcular la deformación de cada material por triángulos similares

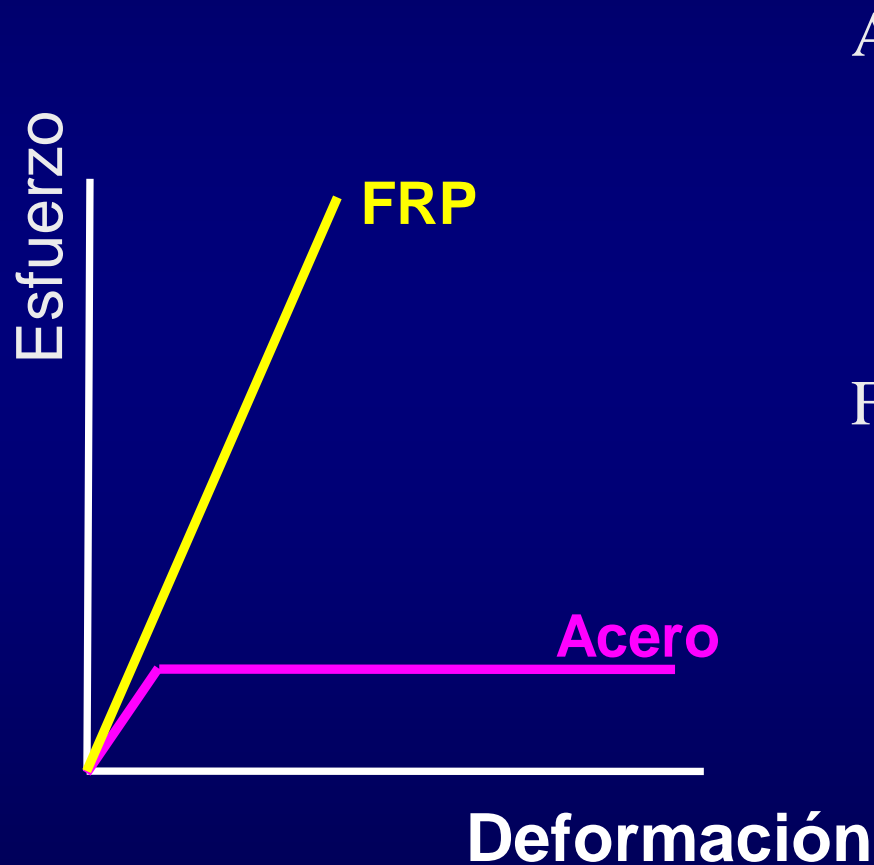
RECOMENDACIONES DE MANUALES - FABRICANTES

$\epsilon_{fu} = 0.008$ (Platinas Tipo Sika carbodur)

$\epsilon_{fu} = 0.015$ (Sistemas Mbrace - Fyfe)

Resistencia a Flexión

Determinar el nivel de esfuerzo en el FRP



Acero es Elasto plástico.

$$f_s = E_s \varepsilon_s \leq f_{sy}$$

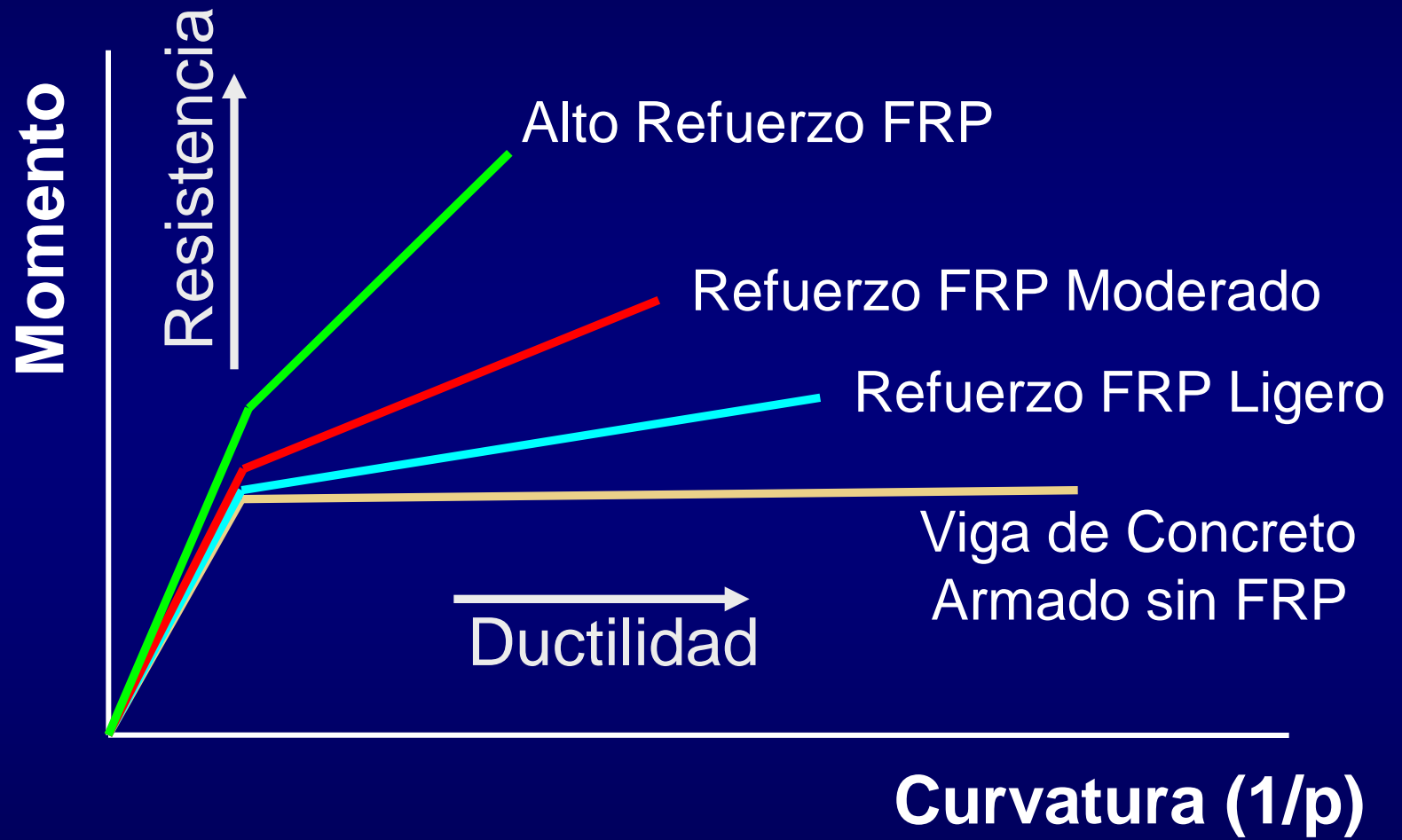
FRP Perfectamente Elástico.

$$f_f = E_f \varepsilon_f$$

Concreto: Evaluar mediante curvas normalizadas Esfuerzo - deformación (Hognestad Todeschini, Grinter, etc)

Refuerzo por Flexión

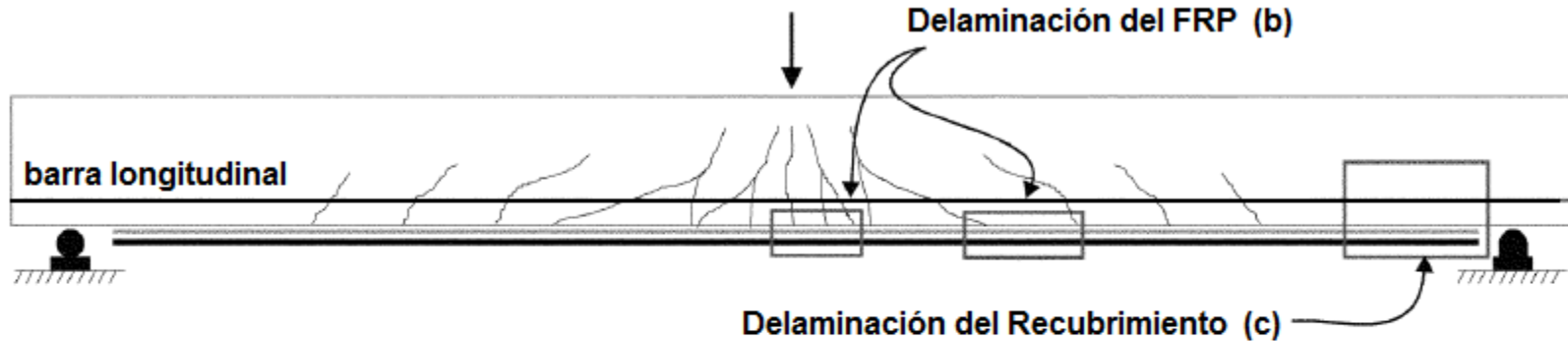
Ductilidad (M vs Curvatura (p))



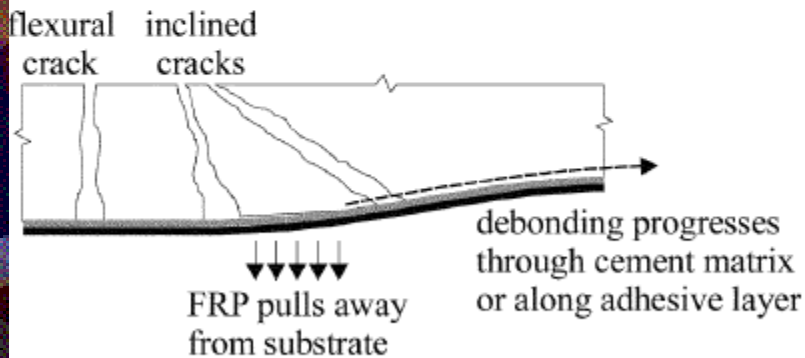
La Falla por Delaminación

DESIGN AND CONSTRUCTION OF EXTERNALLY BONDED FRP SYSTEMS

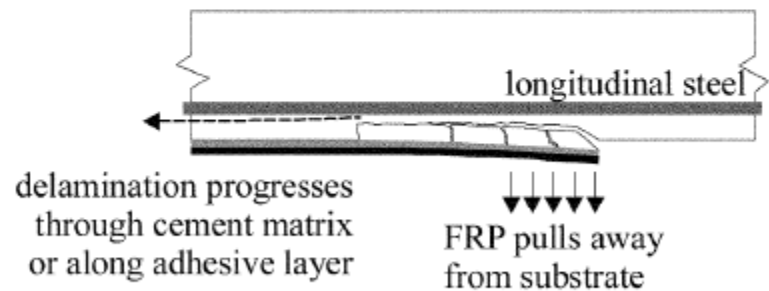
440.2R-25



(a) Behavior of flexural member having bonded reinforcement on soffit

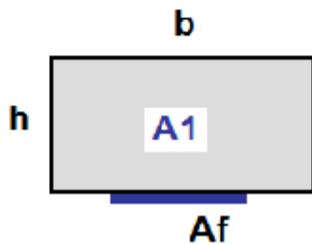
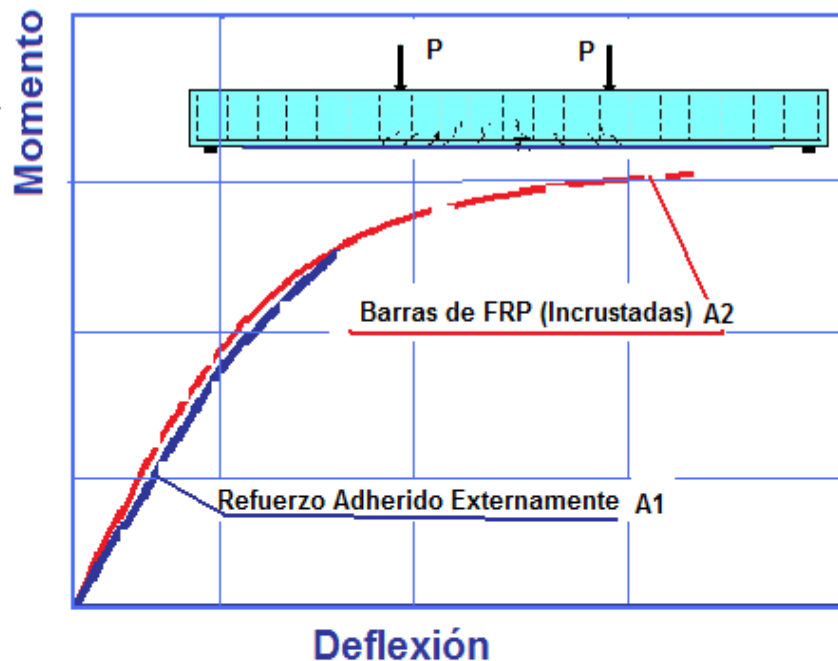


(b) La delaminación se inicia desde las grietas de flexión y cortante

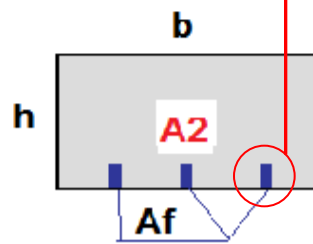


(c) El recubrimiento se delamina y este lleva al despegue del sustrato de concreto con el FRP

Barras de Refuerzo FRP (MSN Bars) Vs. Refuerzo Adherido (Laminados)

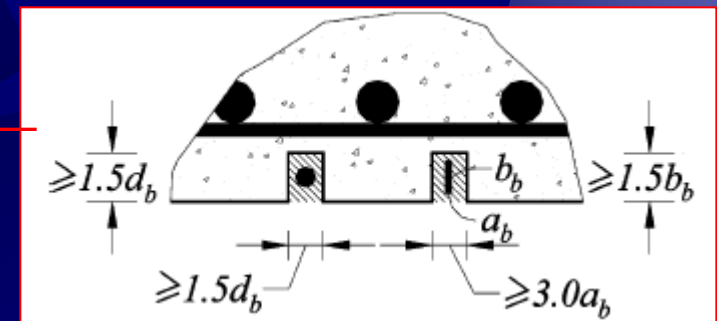


Refuerzo Adherido Externamente



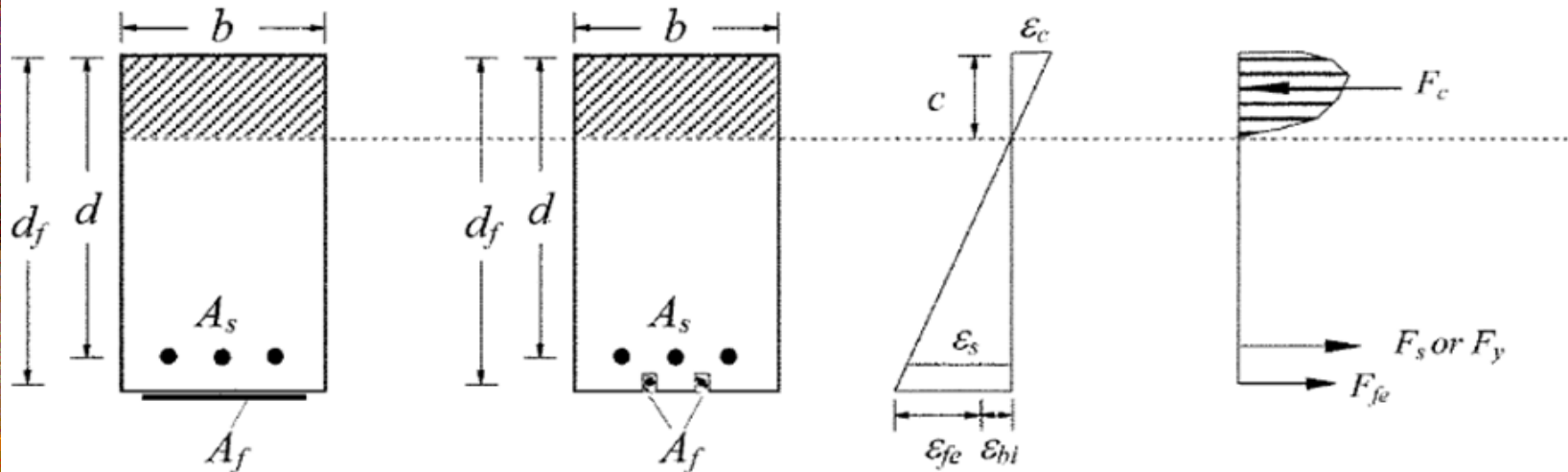
Barras de FRP incrustadas

Diversos ensayos de vigas en flexión con la misma área de refuerzo de FRP (A_f) han confirmado que las vigas con barras de FRP incrustadas (A2) Logran mayor resistencia y ductilidad que las vigas con laminados adheridos externamente (A1) por efecto de la delaminación



MSN BARS

EXIGENCIAS DEL ACI 440 2R – 08 (DELAMINACION)



Para prevenir la falla x delaminación el ACI 440 2R 08 indica:

Expresiones
Validas para
Refuerzo
Adherido
externamente

$$\epsilon_{fe} = \epsilon_{cu} \left(\frac{d_f - c}{c} \right) - \epsilon_{bi} \leq \epsilon_{fd}$$

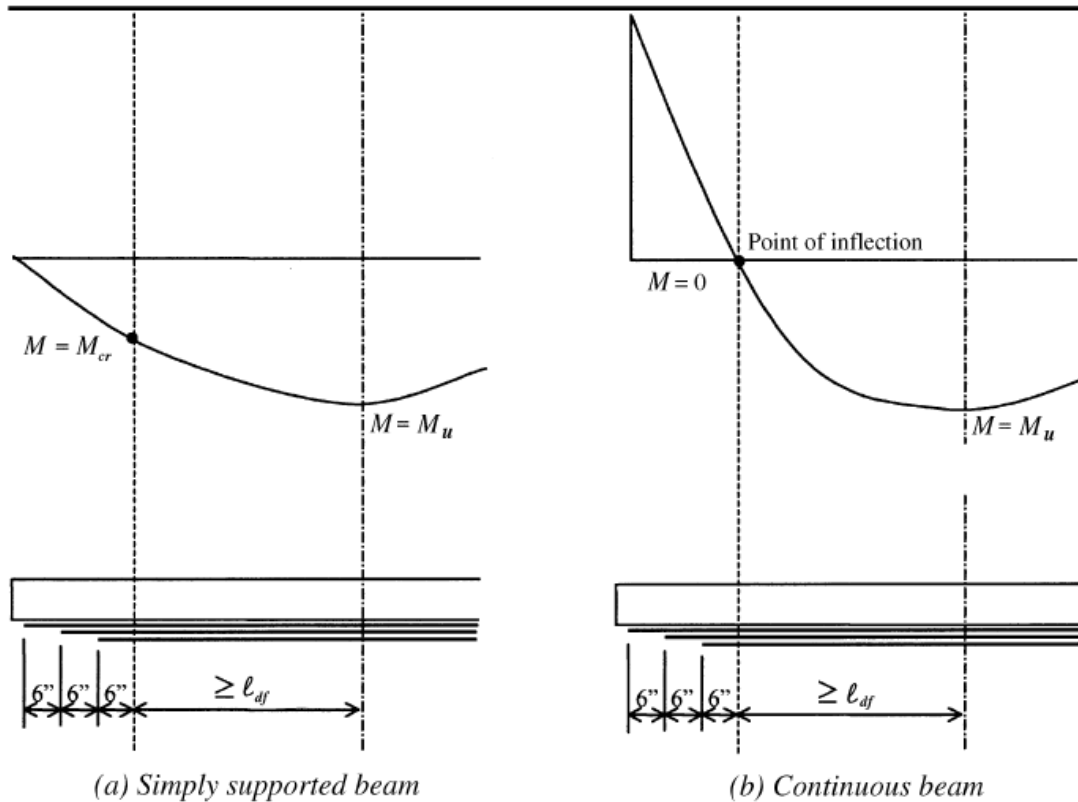
Donde:

$$\epsilon_{fd} = 0.083 \sqrt{\frac{f'_c}{n E_f t_f}} \leq 0.9 \epsilon_{fu} \quad \text{in in.-lb units}$$

$$\epsilon_{fd} = 0.41 \sqrt{\frac{f'_c}{n E_f t_f}} \leq 0.9 \epsilon_{fu} \quad \text{in SI units}$$

Para Barras de MSN FRP el ACI indica: $\epsilon_{fd} = 0.7 \epsilon_{fu}$

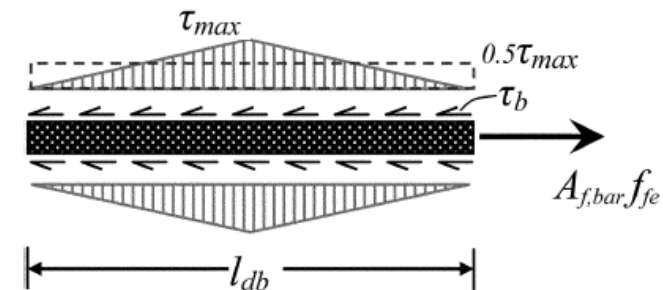
Longitud de Desarrollo del Refuerzo FRP



$$l_{df} = 0.057 \sqrt{\frac{nE_f t_f}{\sqrt{f'_c}}} \quad \text{in in.-lb units}$$

$$l_{df} = \sqrt{\frac{nE_f t_f}{\sqrt{f'_c}}} \quad \text{in SI units}$$

Longitud de desarrollo para laminados adheridos externamente (l_{df})



$$l_{db} = \frac{a_b b_b}{2(a_b + b_b)(\tau_b)} f_{fd} \quad \text{for rectangular bars}$$

$$l_{db} = \frac{d_b}{4(\tau_b)} f_{fd} \quad \text{for circular bars}$$

Longitud de Desarrollo para NSM FRP Bars

VIGAS REFORZADAS CON FRP - Rev09

Proyecto: MEGAPLAZA NORTE Fecha: 04/12/2008
 Cliente: PROYECTA INGENIEROS S.A.
 Diseño: TOP CONSULT INGENIERIA SAC W.B Revisó: WBE
 Viga: VB - 62 (40X60) $A_s = 5 \text{ Var } 3/4$ - $A_s' = 3 \text{ Var } 3/4$ "
 Refuerzo: FRP 2 Bandas de 30 cm c/luna - Fibra CF 160 Mbrace - BASF

DATOS GENERALES

GEOMETRIA DE LA SECCION

Var.	Valor	Und	Descripción de la Variable
$b_w =$	30	cm	Ancho efectivo de la sección
$H =$	60	cm	Peralte bruto de la sección
$B =$	50	cm	Ancho del ala en compresión ($B=b_w$ Sec. Rectangular)
$t =$	5.0	cm	Espesor del ala en compresión ($t=0$ Sec. Rectangular)

En caso de sección rectangular considerar: $B = b_w$; $t = 0$

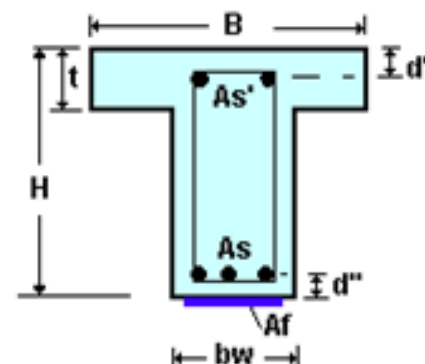
REFUERZO DE ACERO DE LA SECCION

Var.	Valor	Und	Descripción de la Variable
$A_s =$	14.20	cm ²	Area de acero en tracción (inferior)
$d'' =$	7.00	cm	Recubrimiento inferior medido al centroide del refuerzo
$A_s' =$	8.52	cm ²	Area de acero en compresión (superior)
$d' =$	6.00	cm	Recubrimiento superior medido al centroide del refuerzo

REFUERZO DE FRP DE LA SECCION

DATOS DEL SISTEMA: MBRACE CF - 160 MASTER BUILDERS

Var.	Valor	Und	Descripción de la Variable
$e \text{ lam.}$	0.0330	cm	Espesor de cada capa de refuerzo de FRP
$N \text{ lam.}$	2		Numero de capas de refuerzo de FRP
$B \text{ lam}$	30.0	cm	Ancho de cada lamina de refuerzo de FRP
A_f	1.9800	cm ²	Area de Refuerzo de FRP : ($A_f = e \cdot N \cdot B$)



ESQUEMA DE LA SECCION

PROPIEDADES MECANICAS DE LOS MATERIALES

Var.	Valor	Und	Descripción de la Variable
Concreto			
f'c =	210	Kg/cm ²	Resistencia a la compresión del concreto
Ec	217,371	Kg/cm ²	Modulo de Elasticidad
εcu =	0.003		Deformación unitaria máxima permisible -compresión
εo =	0.001652017		Deformación máxima según (Todeschini)
fc'' =	189		Esfuerzo máximo para εo (Todeschini)
Acero			
fy =	4,200	Kg/cm ²	Limite de fluencia del acero
Es =	2,000,000	Kg/cm ²	Modulo de Elasticidad
εy =	0.0021		Deformación de fluencia del acero
Sistema de Refuerzo FRP (Fibras de Carbono)			
CE	0.95		Factor de Reducción P/exposición al medio ambiente (0.5 - 0.95)
Ef	2,264,727	kg/cm ²	- Módulo de Elasticidad (Ef Kg/cm ²)
Ffu*	37,368	kg/cm ²	- Resistencia de Rotura del Sist. FRP Nominal kg/cm ²
Ffu	35,500	kg/cm ²	- Resist. última diseño : Ffu = CE Ffu*
εfu* =	0.0165		- Deformación Unitaria máxima nominal FRP
εfu =	0.0157		- Deformación unitaria max. de diseño : εfu = CE εfu*
εfd =	0.0050		- Deform. Max X delaminación FRP εfd=(0.6 a 0.9)εfu
K= (1 a 1.3)	1.30		Si se colocan Us x Delaminación es posible usar
Kεfd =	0.00645		mayores valores de εfd = (Kεfd) < εfu : K<1.3 :

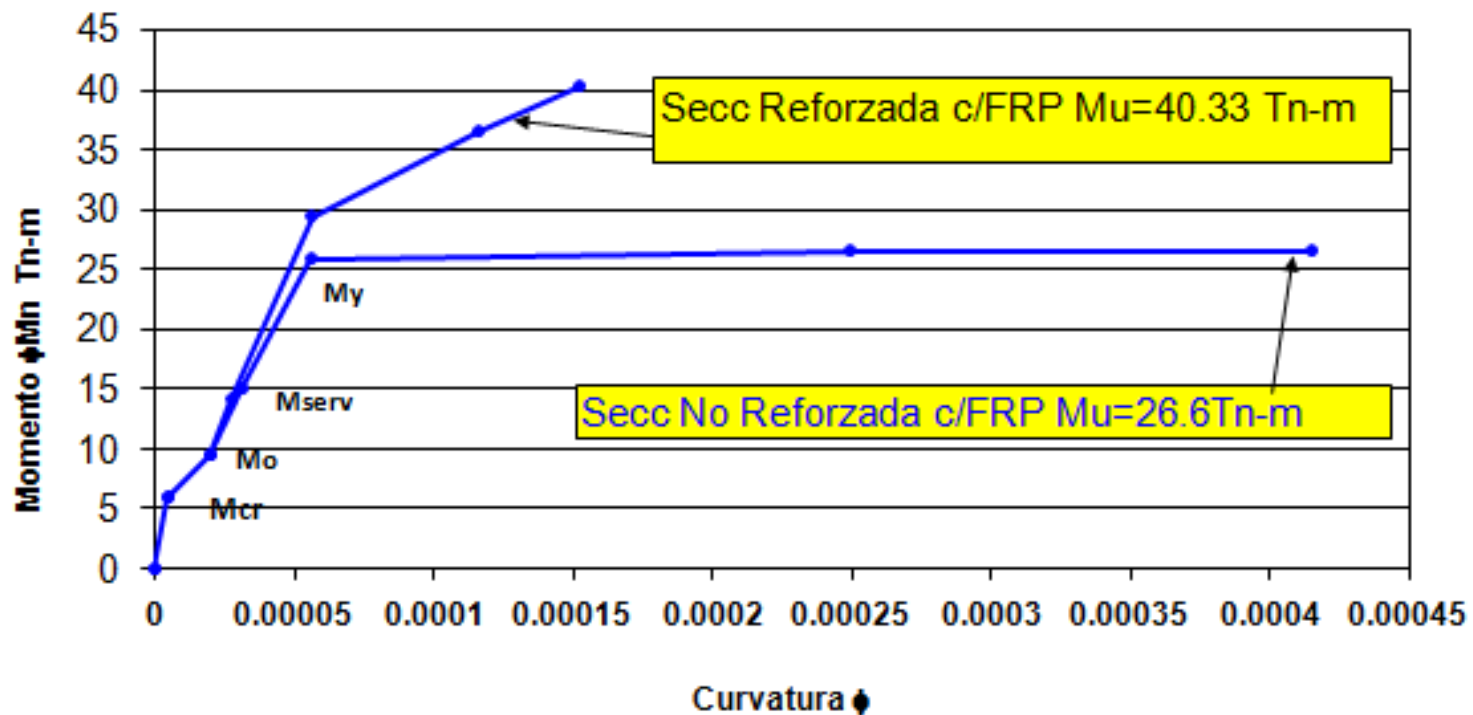
FACTORES DE REDUCCIÓN DE CAPACIDAD - CONCRETO (♦)

Var.	Valor	Ipo de Comportamiento	Valores Típicos Normalizados	
			NTE-060	ACI 2002
φ =	0.90	Por Flexión y Tracción	φ = 0.90	φ = 0.90
φ =	0.70	For Compresión	φ = 0.70	φ = 0.65
φ =	0.85	Por Cortante	φ = 0.85	φ = 0.75

CARGAS ACTUANTES

Var.	Valor	Und	Descripción de la Variable
Mo	9.250	Tn-m	Momento actuante (Durante la colocación FRP)
Mcm	9.405	Tn-m	Momento flector por Carga Muerta
Mcv	4.628	Tn-m	Momento flector por Carga Viva
Ms	14.033	Tn-m	Momento flector por Carga de Servicio
Mu	40.000	Tn-m	Momento último de diseño (Con Red. Momentos)

Momento Curvatura



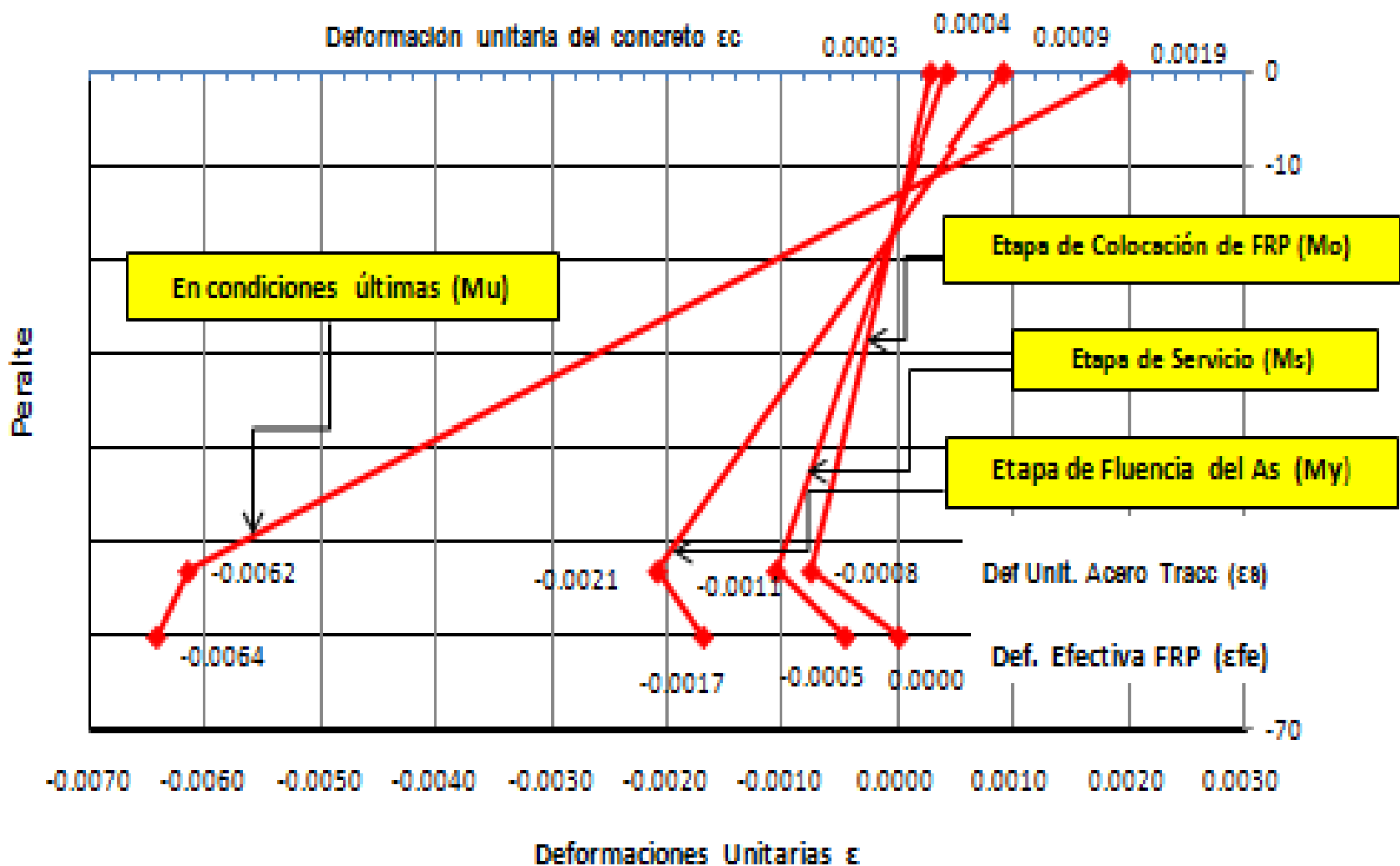
REVISION DE ESFUERZOS EN LA ETAPA DE SERVICIO

DETALLE	Deformac. Unitaria	Esfuerzos (Kg/cm ²)	Esfuerzos Permisibles
Acero de Refuerzo (Tracción)	$\epsilon_{ss} = 0.0011$	$f_{ss} = 2,126.02$	$0.8 f_y = 3,360.0$ OK
Sistema FRP (Fibra de Carbono)	$\epsilon_{fs} = 0.0005$	$f_{fs} = 1,049.42$	$0.55 f_{fu} = 19,524.8$ OK
Concreto Fibra en compresión	$\epsilon_{cs} = 0.0004$	$f_{cs} = 91.30$	$0.45 f'_c = 94.5$ OK

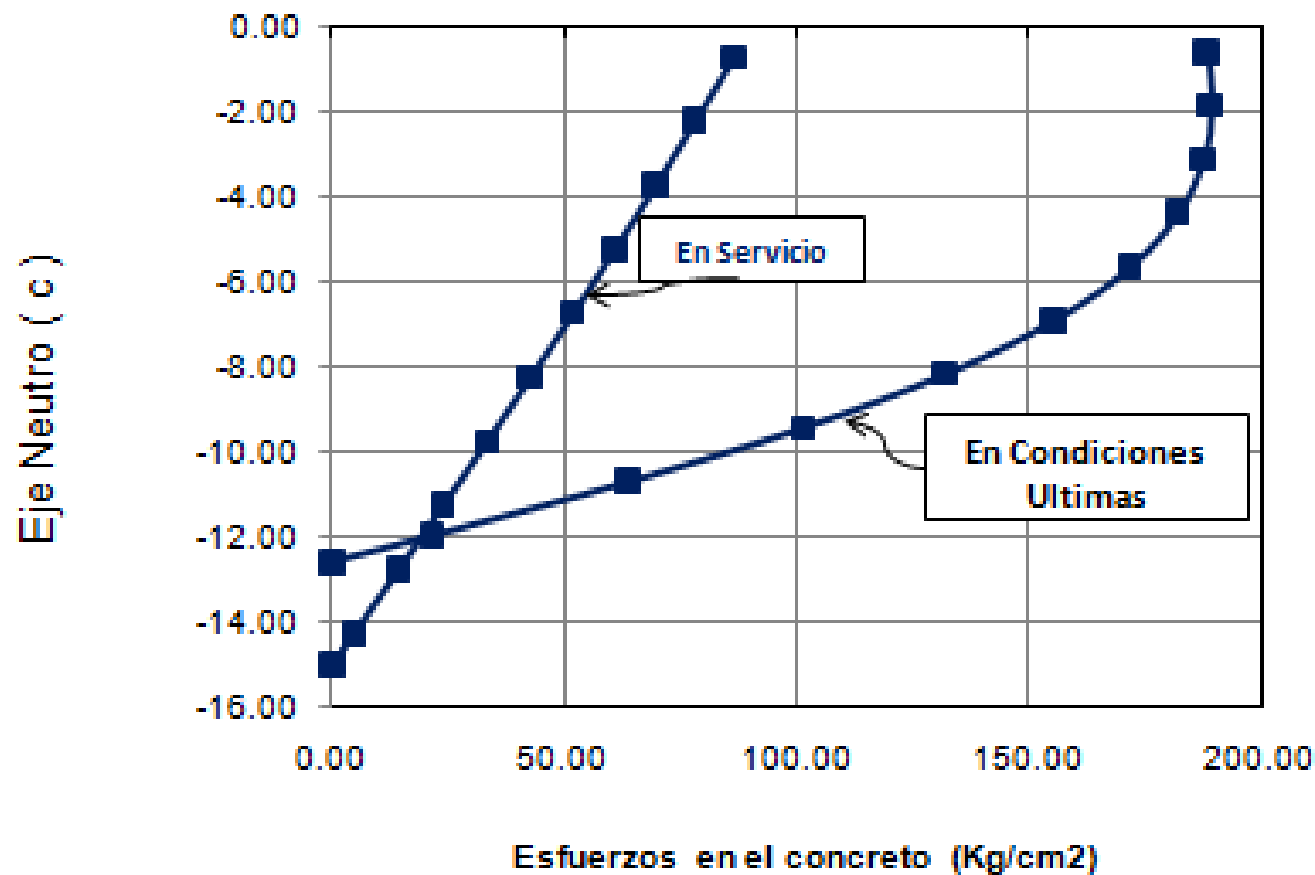
REVISION DE DEFORMACIONES Y ESFUERZOS EN ETAPA ULTIMA

DETALLE	Deformac. Unitaria	Esfuerzos (Kg/cm ²)	COMENTARIO
Acero de Refuerzo (Tracción)	$\epsilon_s = 0.0062$	$f_s = 4,200.0$	$\epsilon_s / \epsilon_y = 2.93$ As Fluye
Sistema FRP (Fibra de Carbono)	$\epsilon_{fe} = 0.0064$	$f_{fe} = 14,572.6$	$f_{fe} / F_{fu} = 0.41$ OK
Concreto Fibra en compresión	$\epsilon_c = 0.0019$	$f_{cs} = 189.0$	$\epsilon_c / \epsilon_{cu} = 0.64$ OK

Grafico de Deformaciones Unitarias



ESFUERZOS EN EL CONCRETO

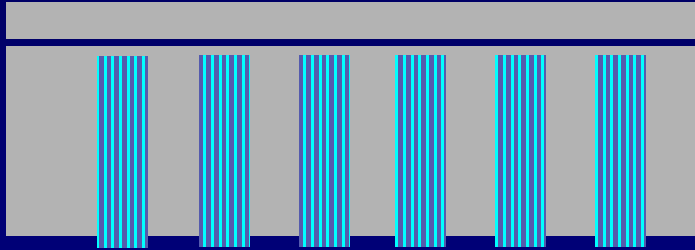


Refuerzo a Corte

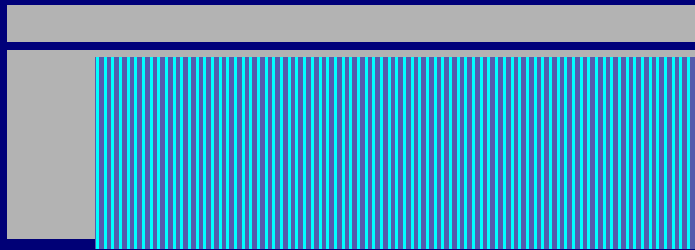


Refuerzo por Cortante

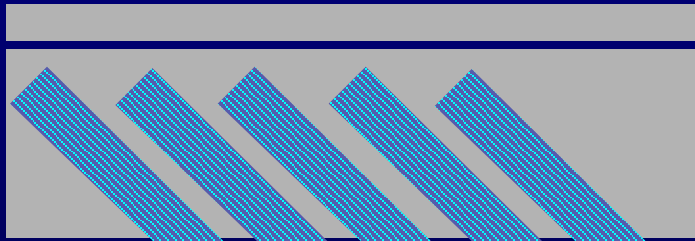
Configuraciones de Refuerzo



Tiras



Continuo



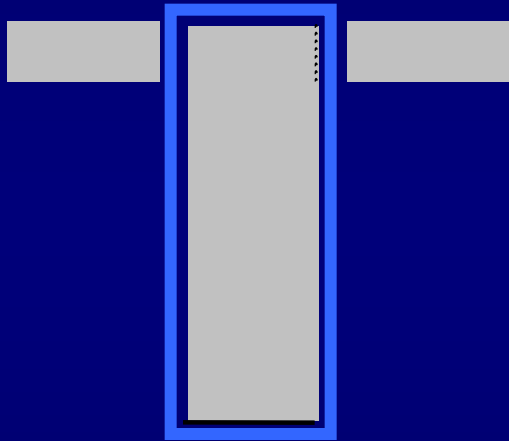
Inclinados

Están en función de:

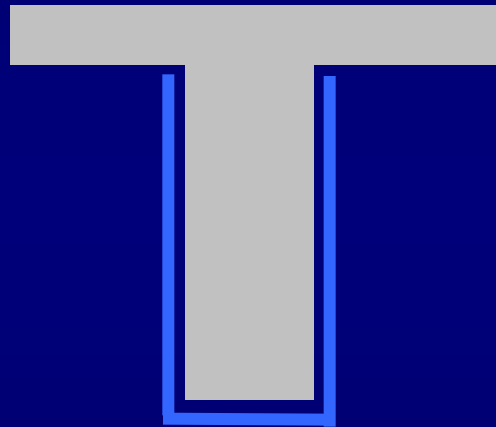
- Nivel de Esfuerzos.
- Dificultad de colocación en estructura

Refuerzo Por Cortante

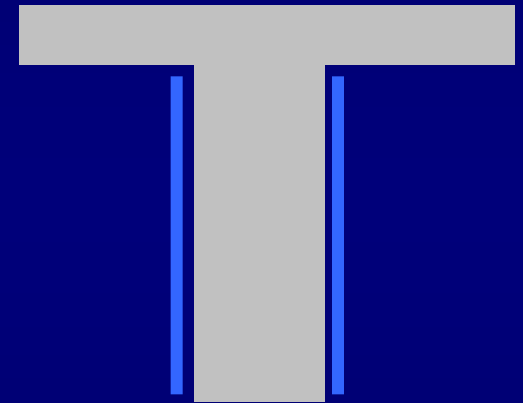
Detalles de Reforzamiento por Cortante



Envoltura Completa
(Muy Eficiente)

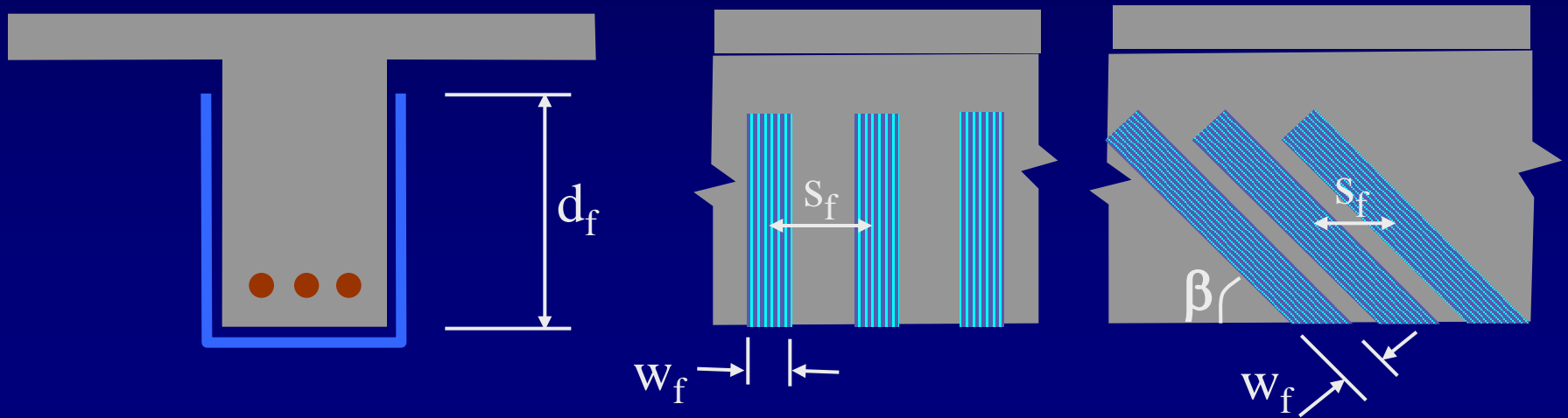


Envoltura en "U"
(Esfuerzos moderados)



Dos lados
Poco eficiente
Esfuerzos bajos

Contribución del FRP al Cortante



$$V_f = \frac{A_{fv} f_{fe} (\sin \beta + \cos \beta) d_f}{s_f}$$

Refuerzo a Corte

Resistencia a Cortante de una Sección Reforzada con FRP

$$V_n = V_c + V_s + V_f$$

$$V_f \leq 10.5 \sqrt{f'_c} b_w d \quad (\text{MPa})$$

$$V_s + V_f \leq 32.5 \sqrt{f'_c} b_w d \quad (\text{MPa})$$

ACI 440 -08 Limita la def unitaria ϵ_{fe} en función del tipo de envoltura, f'_c (como maximo $\epsilon_{fe} < 0.004$)

DATOS GENERALES

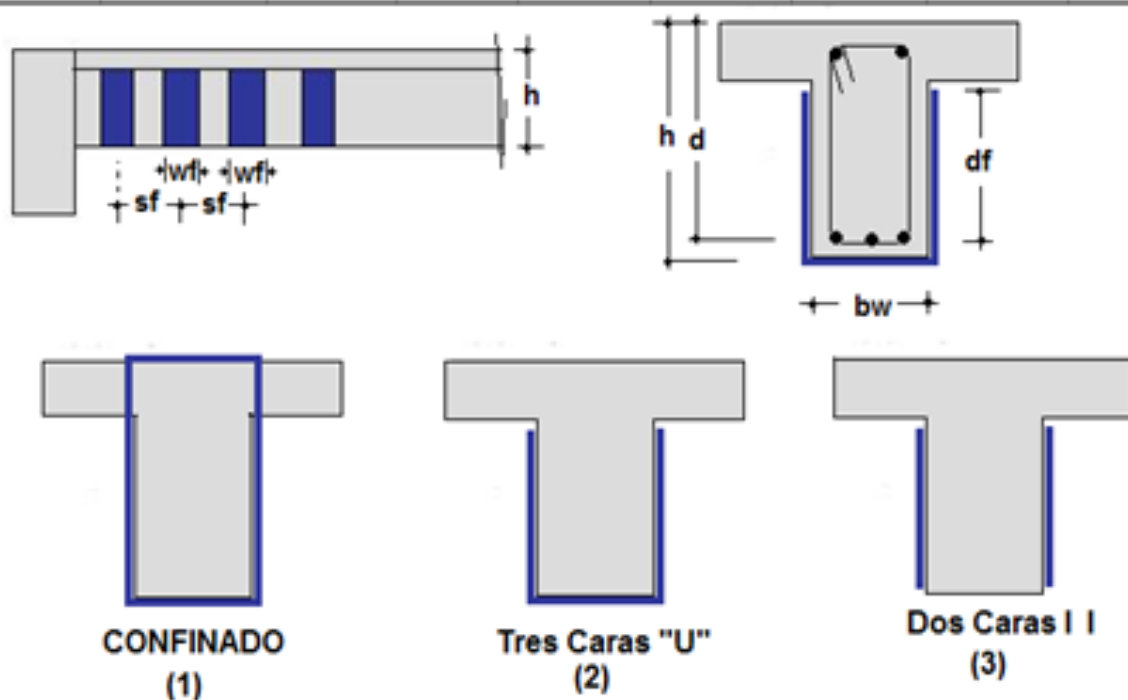
GEOMETRIA DE LA SECCION

Var.	Valor	Und	Descripción de la Variable
$b_w =$	30	cm	Ancho efectivo de la sección
$H =$	60	cm	Peralte bruto de la sección
$B =$	50	cm	Ancho del ala en compresión ($B=b_w$ Sec. Rectangular)
$t =$	5.0	cm	Espesor del ala en compresión ($t=0$ Sec. Rectangular)

En caso de seccion rectangular considerar: $B = b_w$; $t = 0$

REFUERZO POR CORTANTE EXISTENTE DE LA SECCION

Var.	Valor	Und	Descripción de la Variable
$A_v =$	1.42	cm ²	Area de las Ramas de Estribos ($A_{estr} \times \text{No. Ramas}$)
$d =$	54.00	cm	Peralte efectivo de la sección
$s =$	20.00	cm	Espaciamiento entre los estribos eje a eje



TIPOS DE REFUERZO POR CORTANTE

REFUERZO DE FRP DE LA SECCION

DATOS DEL SISTEMA: MBRACE CF - 160 MASTER BUILDERS

Var.	Valor	Und	Descripción de la Variable
Tipo	2		Tipo de Refuerzo (1 Cerrado) (2 U) (3 II)
W f	20.0	cm	Ancho del Refuerzo por Cortante
S f	30	cm	Espaciamiento a ejes del Refuerzo por Corte
d f	40.6	cm	Longitud de una rama de Refuerzo FRP
t f	0.0330	cm	Espesor de la una capa de FRP
N lam	1		Numero de Capas de refuerzo
A fv	1.3200	cm ²	Area de Refuerzo de FRP : (2 Afv = N .Wf . tf)

PROPIEDADES MECANICAS DE LOS MATERIALES

Var.	Valor	Und	Descripción de la Variable
Concreto			
f'c =	210	Kg/cm ²	Resistencia a la compresión del concreto
Ec	217,371	Kg/cm ²	Modulo de Elasticidad
Acero			
fy =	4,200	Kg/cm ²	Limite de fluencia del acero
Es =	2,000,000	Kg/cm ²	Modulo de Elasticidad
εy =	0.0021		Deformación de fluencia del acero
Sistema de Refuerzo FRP (Fibras de Carbono)			
CE	0.95		Factor de Reducción P/exposición al medio ambiente (0.5 - 0.95)
Ef	2,320,806	kg/cm ²	- Módulo de Elasticidad (Ef Kg/cm ²)
Ffu*	38,658	kg/cm ²	- Resistencia de Rotura del Sist. FRP Nominal kg/cm ²
Ffu	36,725	kg/cm ²	- Resist. última diseño : Ffu = CE Ffu*
εfu*	0.0170		- Deformación Unitaria máxima nominal FRP
εfu =	0.0162		- Deformación unitaria max. de diseño : εfu = CE εfu*
Ψfrp =	0.85		Factor de Reducc FRP (0.95 Envolt O) (0.85 U II)

RESULTADOS DEL ANALISIS POR CORTANTE

(1) CARGAS ACTUANTES DE DISEÑO

$1.1 V_{cm} + 0.75 V_{cv} =$	18,450.0 kg	$\phi(V_c + V_s) > (1.1V_{cm} + 0.75V_{cv})$
V_u (Actuante) =	29,900.0 kg	Cortante Ultimo de Diseño

CAPACIDAD RESISTENTE DE LA SECCION SIN FRP

Aporte del Concreto $V_c =$	12,442.3 kg	
Aporte de los Estribos $V_s =$	16,102.8 kg	
$V_u = \phi(V_c + V_s) =$	24,263.3 kg	Capacidad Resistente sin FRP

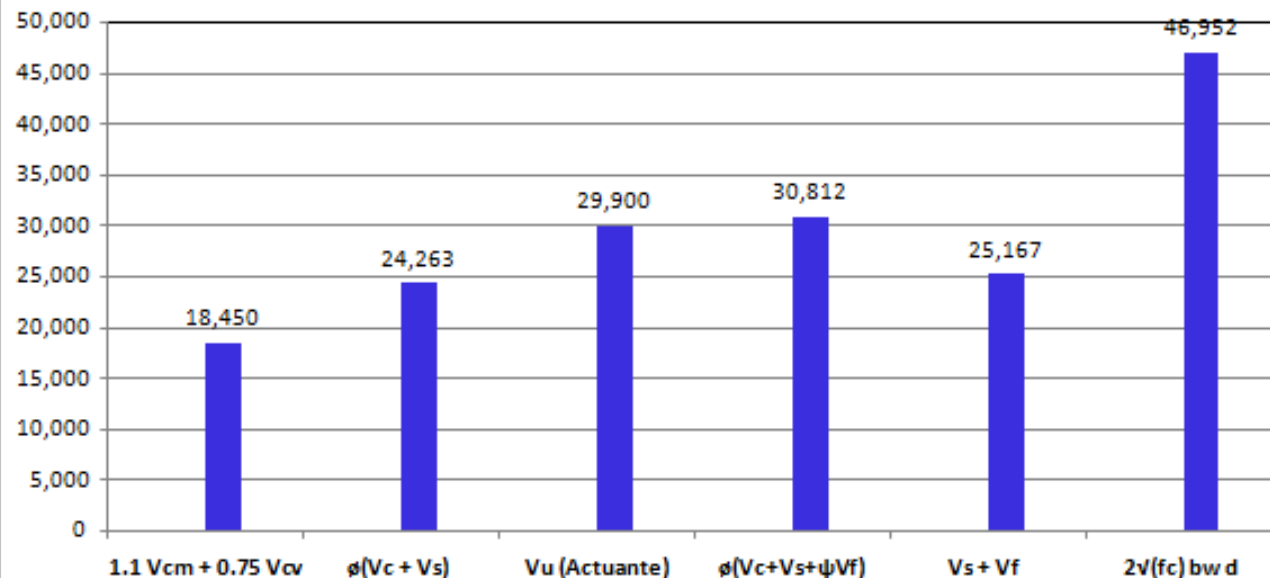
CAPACIDAD RESISTENTE DE LA SECCION CON REFUERZO DE FRP

$\phi f_e =$	0.00218	
$f_{fe} =$	5,069.2 kg	
$V_f =$	9,064.5 kg	Resistencia Nominal al Cortante Aportado por FRP
$V_u = \phi(V_c + V_s + \psi V_f) =$	30,812.4 kg	Cortante Resistente de la Sección con FRP OK Carga Resistente Mayor que Carga Actuante

REVISION DE LIMITES MAXIMOS DE REFUERZO

$V_s + V_f =$	25,167.3	
$2\sqrt{f_c} b w d =$	46,952.1	OK $(V_s + V_f) < 2\sqrt{f_c} b w d$

VALORES DE FUERZAS CORTANTES TIPICAS DE LA SECCION (Kg)



Efectos del Confinamiento en la Resistencia de Columnas



Diversos ensayos a escala natural muestran que en secciones circulares y cuadradas se logra un incremento de resistencia en compresión y flexión por efectos del confinamiento con FRP

Efectos del Confinamiento

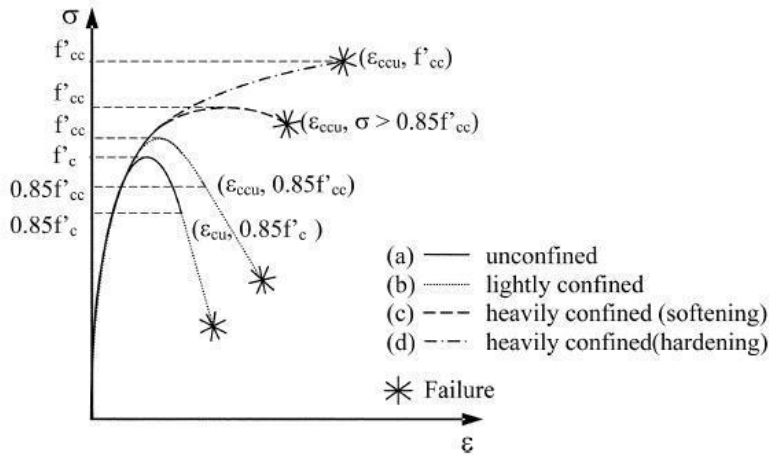


Fig. 12.1—Schematic stress-strain behavior of unconfined and confined RC columns (Rocca et al. 2006).

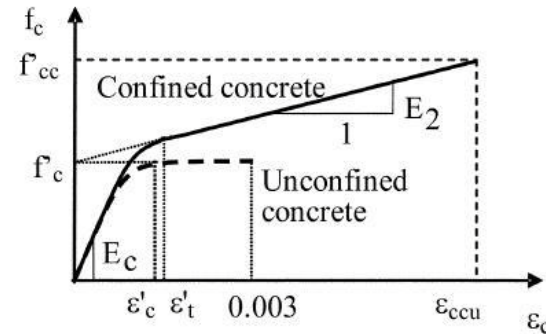


Fig. 12.2—Lam and Teng's stress-strain model for FRP-confined concrete (Lam and Teng 2003a).

$$\phi P_n = 0.85\phi[0.85f'_{cc} (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \quad \text{Zuncho - Espiral}$$

$$\phi P_n = 0.8\phi[0.85f'_{cc} (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \quad \text{Estribos}$$

Lam y Teng's ensayaron varias secciones y establecieron expresiones para estimar la resistencia de columnas no esbeltas tomadas como base por el ACI 440 para el desarrollo de sus expresiones

Diagrama de Interacción de columnas encamisadas con FRP

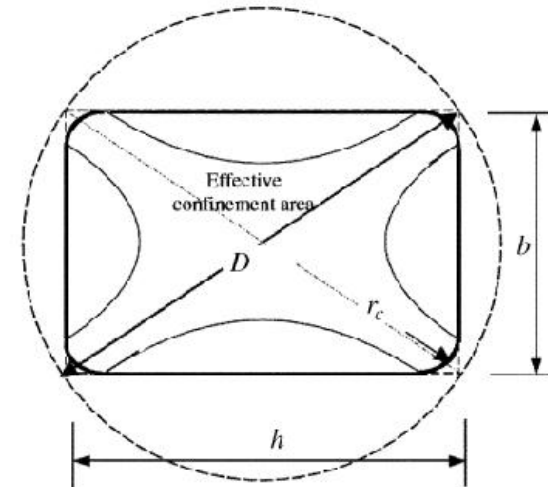
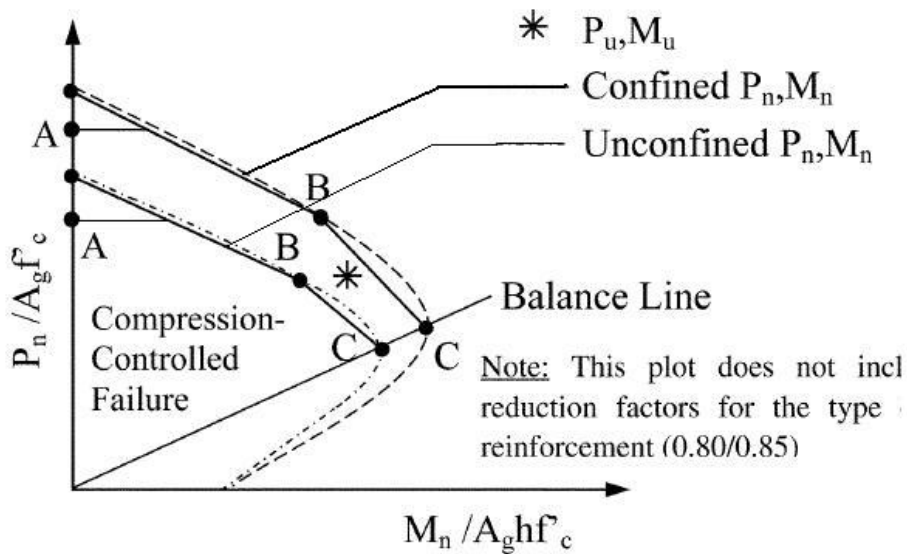
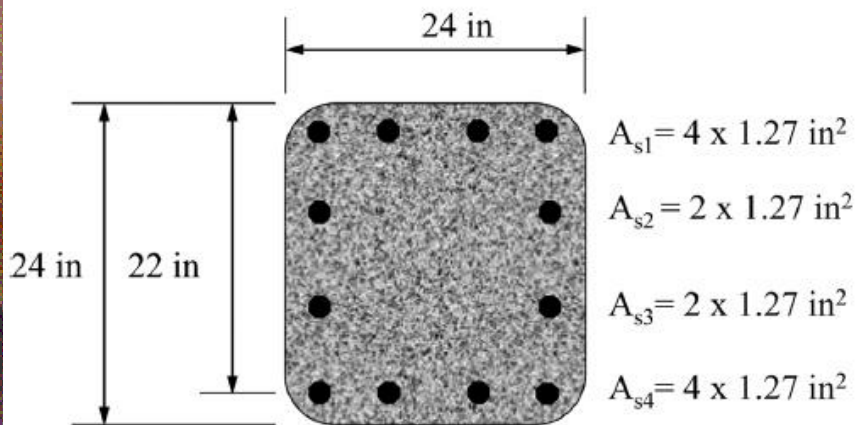


Fig. 12.3—Equivalent circular cross section (Lam and Teng 2003b).

Para relaciones $(h/b > 2)$ el confinamiento no es eficiente) ARI DE PAULA

INCREMENTO DE RESISTENCIA A CARGA AXIAL Y FLEXION POR EFECTO DEL CONFINAMIENTO CON FRP EN COLUMNAS CIRCULARES Y RECTANGULARES

Diseño de columna ACI 440 R8



Esquema de la columna encamisetada con FRP

Point	$n = 0$ plies (unstrengthened member)		$n = 6$ plies	
	ϕP_n , kN	ϕM_n , kN-m	ϕP_n , kN	ϕM_n , kN-m
A	9283	0	11,223	0
B	8264	873	9829	924
C	4128	1199	5870	1345

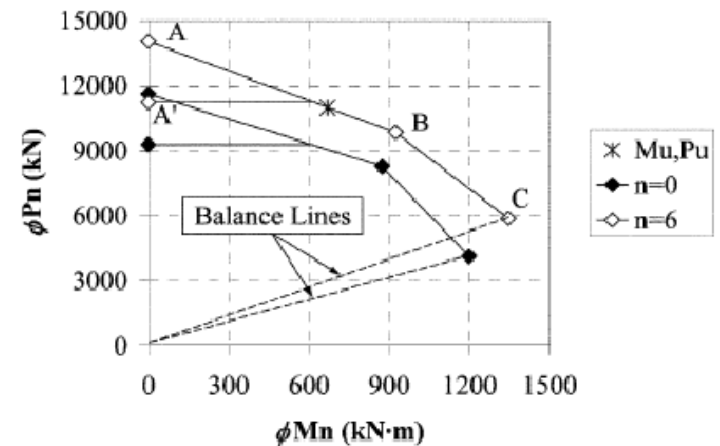


Diagrama de Interacción simplificado ACI 440 R08

**BEHAVIOR OF CONCRETE
SPECIMENS REINFORCED
WITH COMPOSITE MATERIALS –
LABORATORY STUDY**

Final Report

SPR 387



Oregon Department of Transportation

Ensayos de Sistemas de FRP USA - Japon - Canada etc.

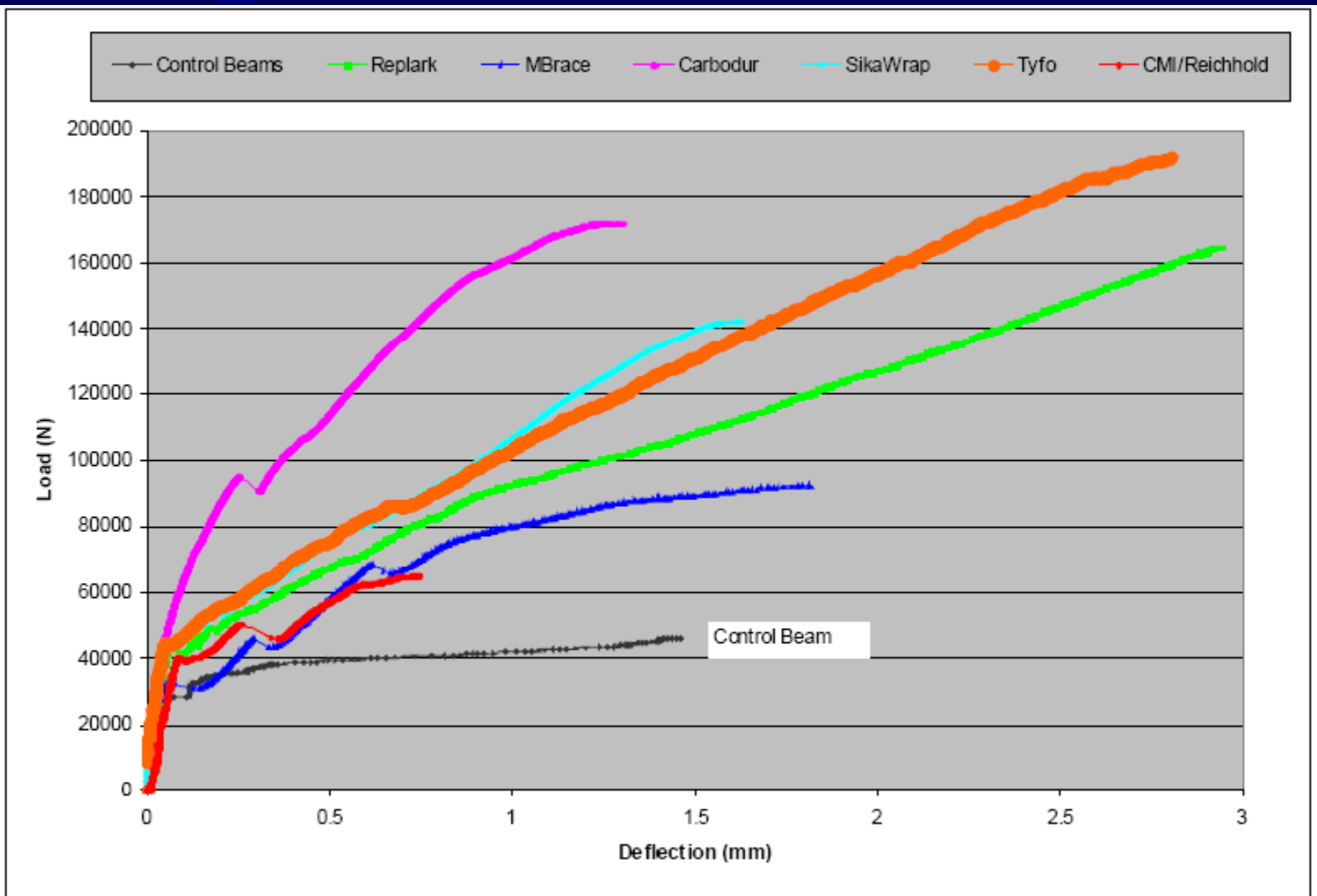
**BEHAVIOR OF CONCRETE
SPECIMENS REINFORCED
WITH COMPOSITE MATERIALS –
LABORATORY STUDY**



Figure 2.1: Molds used for preparation of reinforced concrete beam specimens.

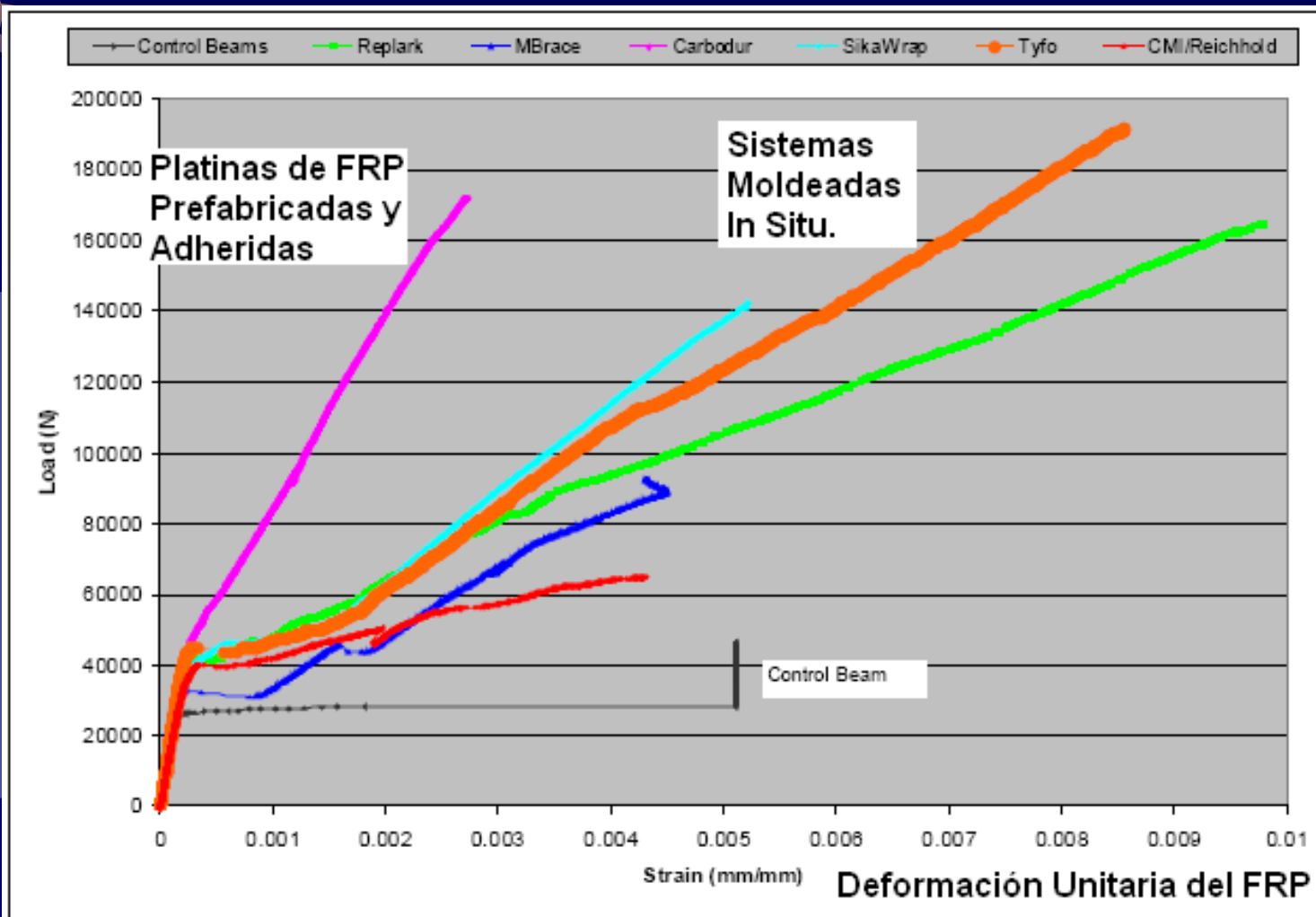


Oregon Department of Transportation



Load versus deflection behavior for specimens reinforced with one layer of laminate for flexure only

Ensayos de Flexión y Cortante para 05 fabricantes en el Dpto de Transportes de Oregon USA - Escala Reducida (100 Vigas)



Load versus strain behavior for specimens reinforced with one layer of laminate for flexure only

Ensayos de Flexión y Cortante para 05 fabricantes en el Dpto de Transportes de Oregon USA - Escala Reducida (100 Vigas)

The background is a dark blue field with several large, semi-transparent gear shapes scattered across it. On the left side, there is a vertical strip with a colorful, abstract, and somewhat pixelated texture in shades of orange, yellow, and brown.

ENSAYOS DE VIGAS A FLEXION A ESCALA NATURAL LABORATORIO CISMID - UNI

TESIS - UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

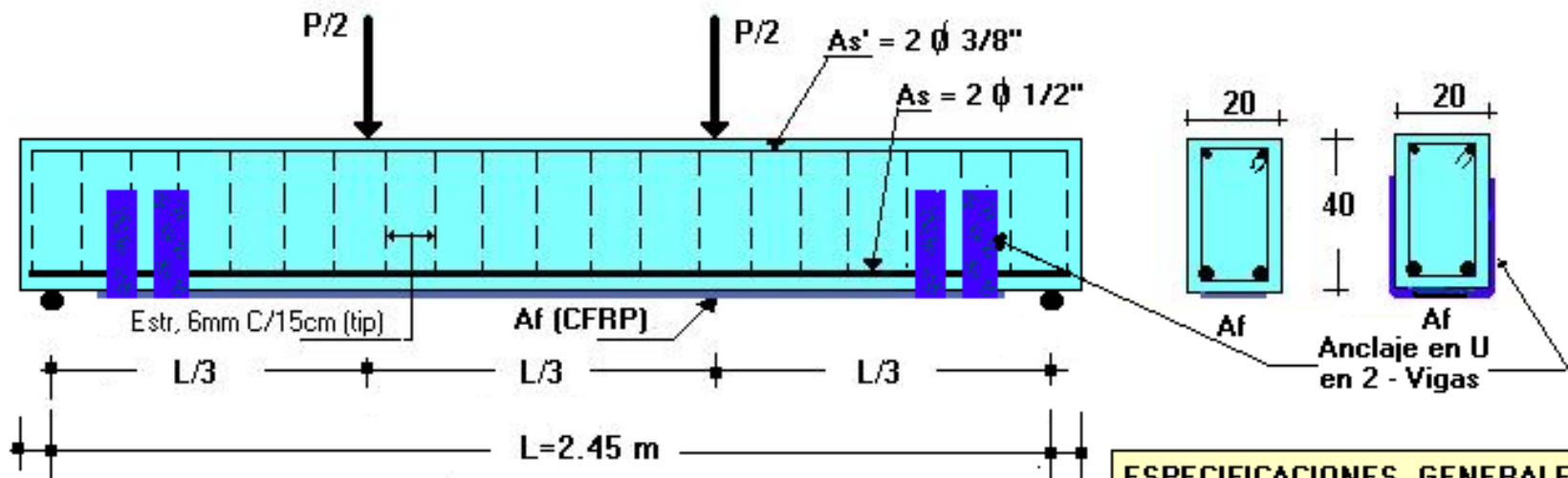
- CRISTIAN ESPINOZA ANAYA

- ERIK BACA ESCOBAR

Lima - 2005

PREPARACION DE LOS ESPECIMENES

- Fueron preparadas 8 vigas de tamaño real como muestra la fig.



DETALLE DE LOS ESPECIMENES

ESPECIFICACIONES GENERALES

Concreto $f'_c = 240 \text{ kg/cm}^2$ (Probetas)
Acero: $F_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$

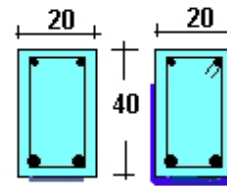
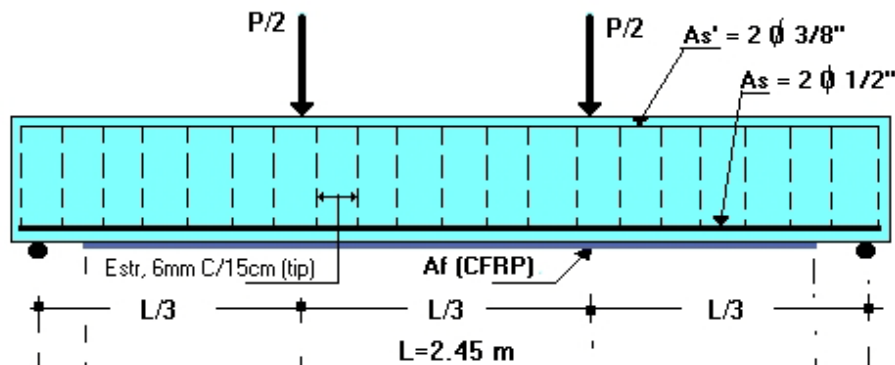
Refuerzo (CFRP)

- Mbrace CF-130 (Vigas MB - #)
- Sika Carbour (Vigas Sk - #)

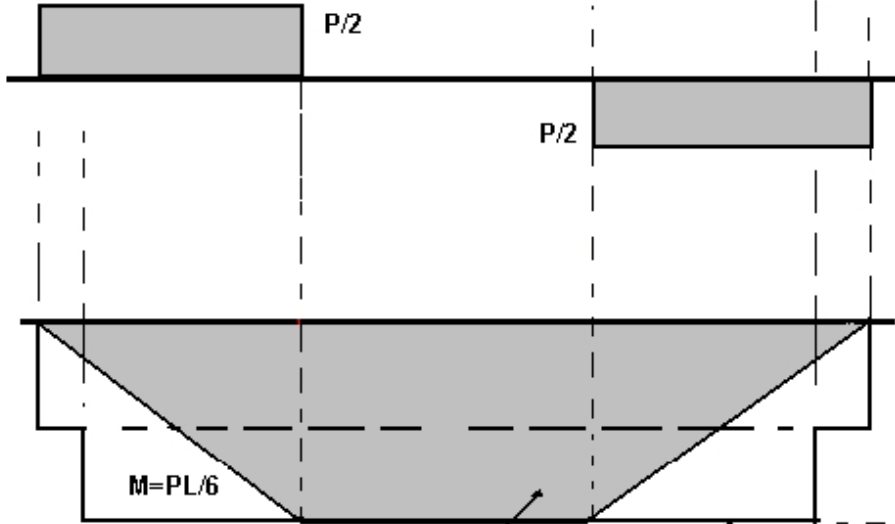
DETALLE DEL REFUERZO DE LAS VIGAS

Denominación del espécimen.	Dimensiones del espécimen (cm).	Sistema aplicado.	Longitud sistema CFRP (cm).	Ancho sistema CFRP (cm).	N ^o capas sistema CFRP	Anclaje en U.
MB-01	20x40x270	MBrace	215	15	1	SI
MB-02	20x40x270	MBrace	215	15	1	-----
MB-03	20x40x270	MBrace	230	15	1	-----
MB-04	20x40x270	MBrace	230	7.5	2	-----
MB-05	20x40x270	MBrace	215	7.5	2	-----
SK-01	20x40x270	Sika CarboDur	230	10	1	-----
SK-02	20x40x270	Sika CarboDur	215	5	1	-----
NR-01	20x40x270	-----	-----	-----	-----	-----
MB-R	20x40x270	MBrace	230	15	1	SI

Se tiene como variante el ancho de las fibras así como la longitud de la misma y el número de capas de fibra usada en el refuerzo.



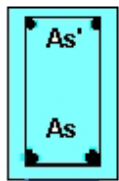
SECCIONES ENSAYADAS
 Concreto: $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$
 Acero: $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$
 CFRP : Mbrace CF130
 Sika Carbodur



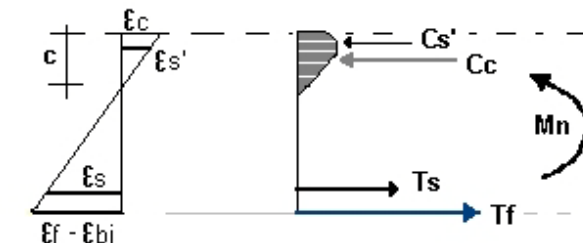
Fuerza Cortante (V)

Momentos Flectores Teóricos (Mn)
 $M_{cr} = 1.65 \text{ T-m}$
 $M_n = 3.59 \text{ T-m}$
 Solo por (As)
 $M_n = 6.25 \text{ T-m}$
 (Con FRP)

Diagrama de Momento Actuante
 Capacidad Nominal Resistente Máxima



Sección Transversal



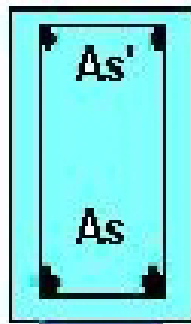
Deformaciones Unitarias

Esfuerzos

VALORES TEORICOS PARA MB-01
 Deformaciones Unitarias
 $\epsilon_c = 0.00208$
 $\epsilon_f = 0.01287$
 $P_n = 15.3 \text{ Tn}$
 $M_n = 6.25 \text{ T-m}$
 (Secc Con FRP)

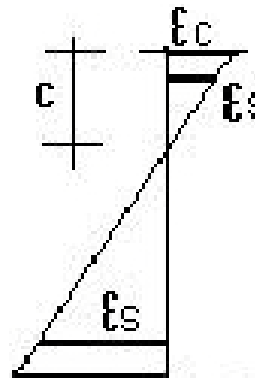
ESQUEMA GENERAL DE LOS ENSAYOS

VALORES TEORICOS NOMINALES



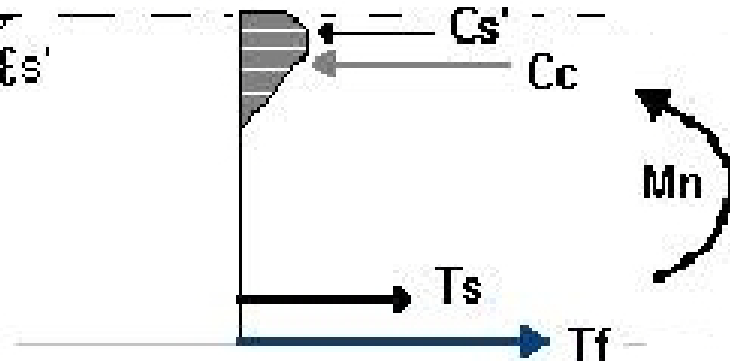
A_f

Sección Transversal

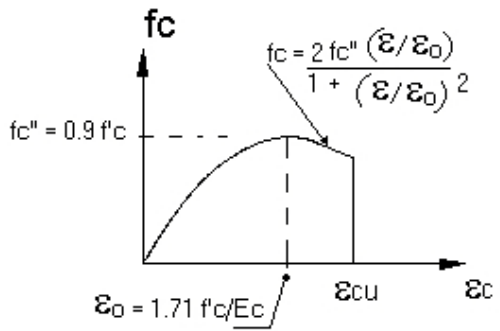


$\epsilon_f - \epsilon_{bi}$

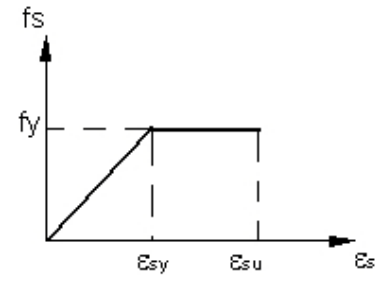
Deformaciones Unitarias



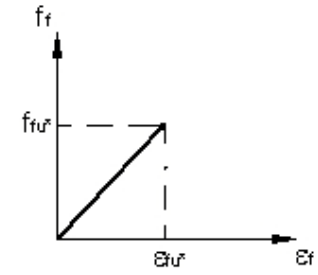
Esfuerzos



**CONCRETO
MODELO DE TODESCHINI**



ACERO



SISTEMA - FRP

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

TIPO DE ENSAYO REALIZADO

- ✱ El ensayo fue de flexión estática
- ✱ Aplicando una carga centrada sobre un carril y trasmitiéndola a 2 rodillos ubicados a los tercios de la viga.
- ✱ Se colocaron medidores de desplazamiento de tal manera que se pueda determinar a partir del diagrama desplazamiento vs. Carga valores may. De deformación y carga alcanzados durante el ensayo.

CONFIGURACION DEL ENSAYO ASTM C-78



ESPECIMENES



MB - 01



MB – 01



MB - 01



MB - 02



MB – 03



MB- 03



MB- 04



SK 01



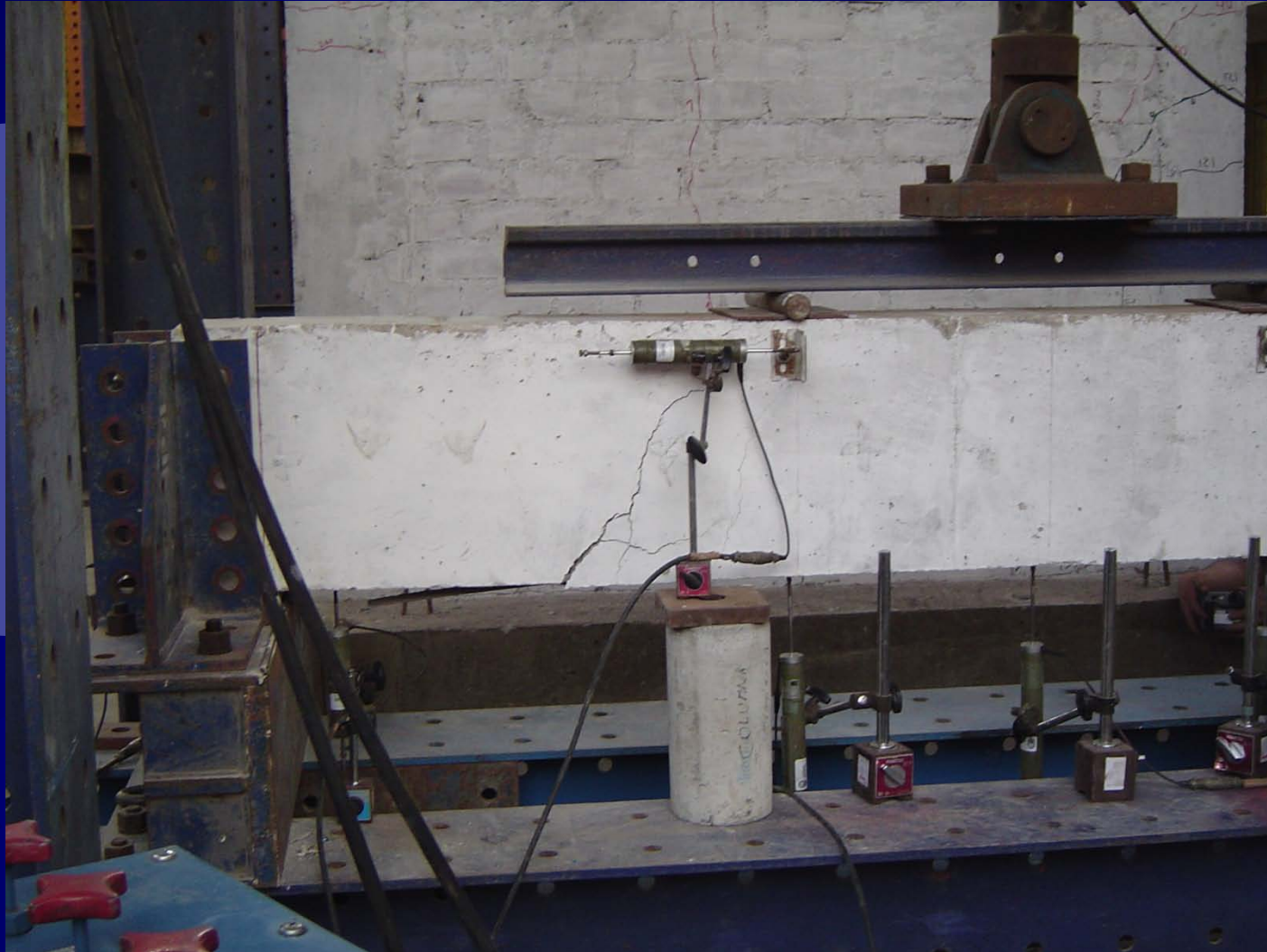
SK - 01



SK - 01



SK - 02



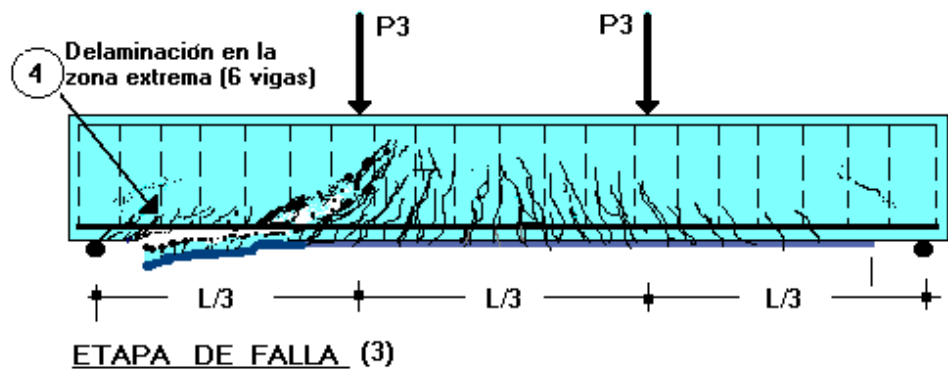
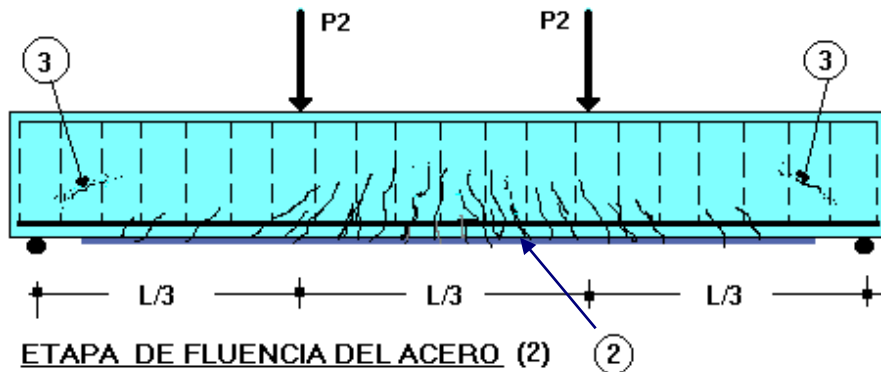
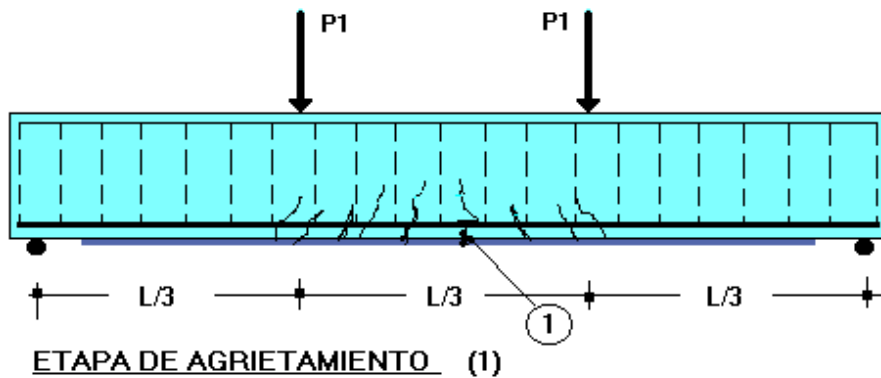
SK - 02



Evaluación de los Resultados

Los ensayos reportaron dos tipos de fallas.

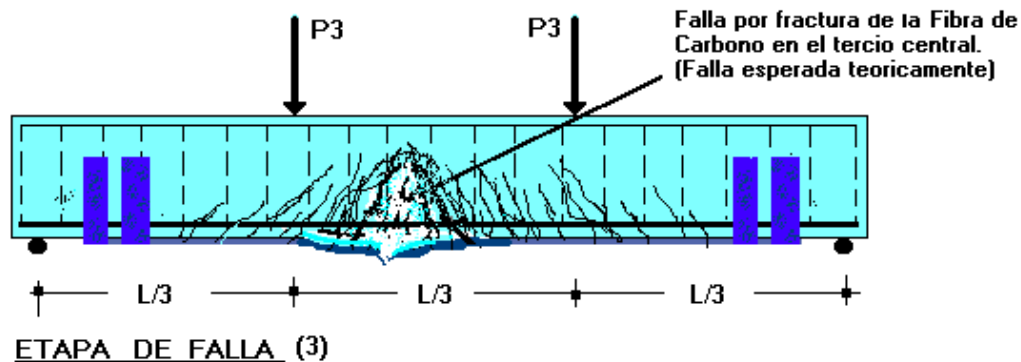
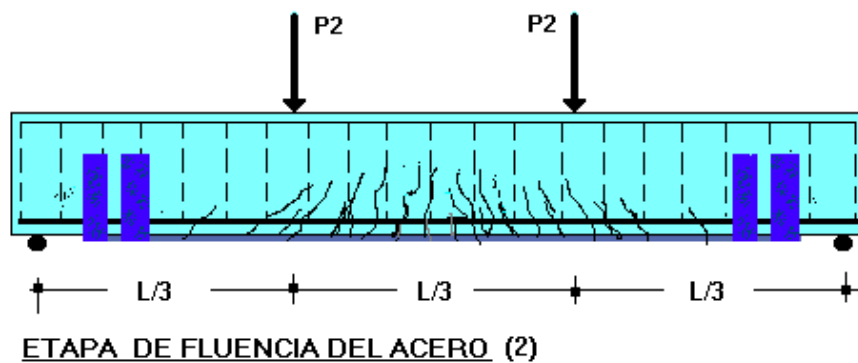
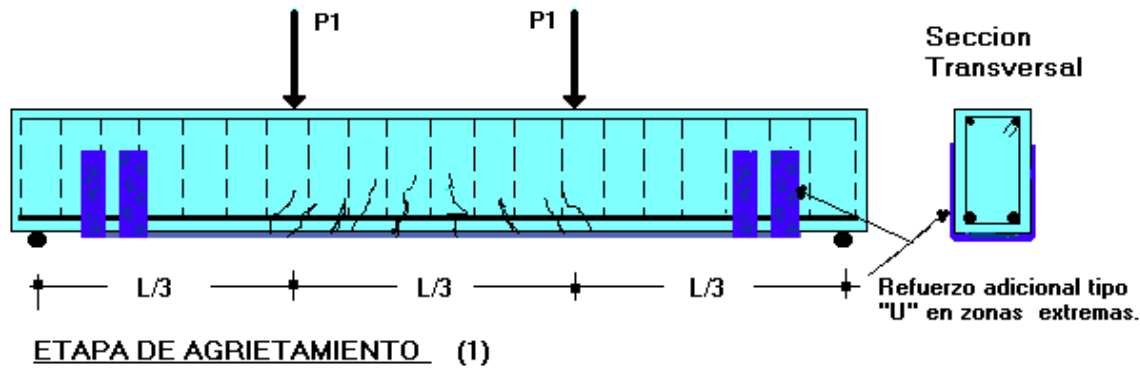
- ✱ Falla por delaminación extrema
- ✱ Falla por fractura del sistema CFRP.
 - ✱ **Falla por delaminación extrema:** Este tipo de falla se presentó en 6 de los especímenes ensayados, MB-02, MB-03, MB-04, MB-05 y SK-01 y SK-02. El mecanismo de falla se describe a continuación.



Falla por delaminación, extrema del recubrimiento.

Falla por Fractura del Sistema CFRP:

- ✦ Este tipo de falla se presentó en los dos especímenes a los que se añadió un refuerzo tipo U en los extremos para mejorar el anclaje y evitar la falla por delaminación en los extremos.



Falla por
fractura del
refuerzo y
delaminación
en la zona
central.

RESUMEN DEL 08 ENSAYOS REALIZADOS A ESCALA NATURAL

Tesis: Erik Baca - Cristhian Espinoza - Universidad Ricardo Palma

Tesis	Codigo	Sistema FRP	Longitud Ref. FRP	Ancho refuerzo	No. De Capas	Anclaje U	Valores Teoricos / Valores Ensayos CISMID				
							ϵ_c	ϵ_f	%($\epsilon_f L / \epsilon_f t$)	Mn	%(Mnt/MnL)
	NR						0.003	--		3.59 3.7	103.1%
T-1	MB-01	Mbrace CF 130	215	15	1	Si	0.00208 0.00208	0.01287 0.01288	100.1%	6.25 6.37	101.9%
T-1	MB-02	Mbrace CF 130	215	15	1		0.00208 0.00179	0.01287 0.01111	86.3%	6.25 5.88	94.1%
T-1	MB-03	Mbrace CF 130	230	15	1		0.00208 0.001727	0.01287 0.009609	74.7%	6.25 5.58	89.3%
T-1	MB-04	Mbrace CF 130	230	7.5	2		0.00208 0.001727	0.01287 0.01072	83.3%	6.25 5.78	92.5%
T-1	MB-05	Mbrace CF 130	215	7.5	2		0.00208 0.001273	0.01287 0.007475	58.1%	6.25 5.1	81.6%
T-1	MB-R	Mbrace CF 130	230	15	1	Si	0.00208 0.001873	0.01287 0.011625	90.3%	6.25 6	96.0%
T-1	SK-01	Sika Carbodur	230	10	1		0.001813 0.0009925	0.007452 0.003815	51.2%	8.66 6.19	71.5%
T-1	SK-02	Sika Carbodur	215	5	1		0.001429 0.0009	0.007452 0.004113	55.2%	6.18 4.95	80.1%

Viga: 20x40 - L= 270, Concreto $f'c$ 240kg/cm² - $A_s = 2$ var 1/2" $A_s' = 2$ var 3/8" - Estribos 6 mm a 0.15 - Ensayos CISMID UNI

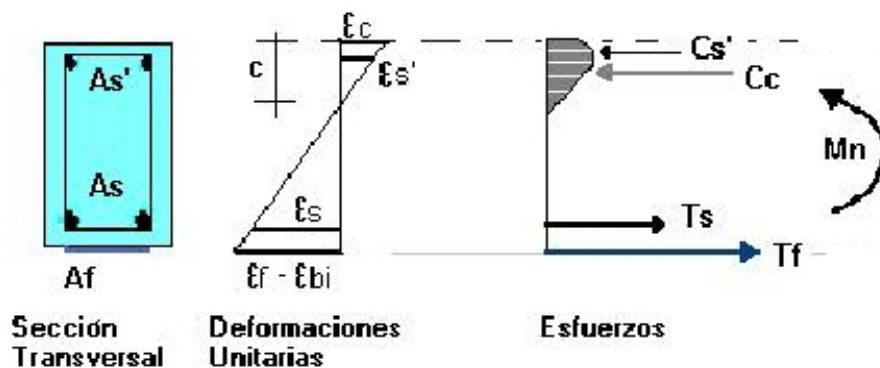


GRAFICO P - d (Carga - Deformación)

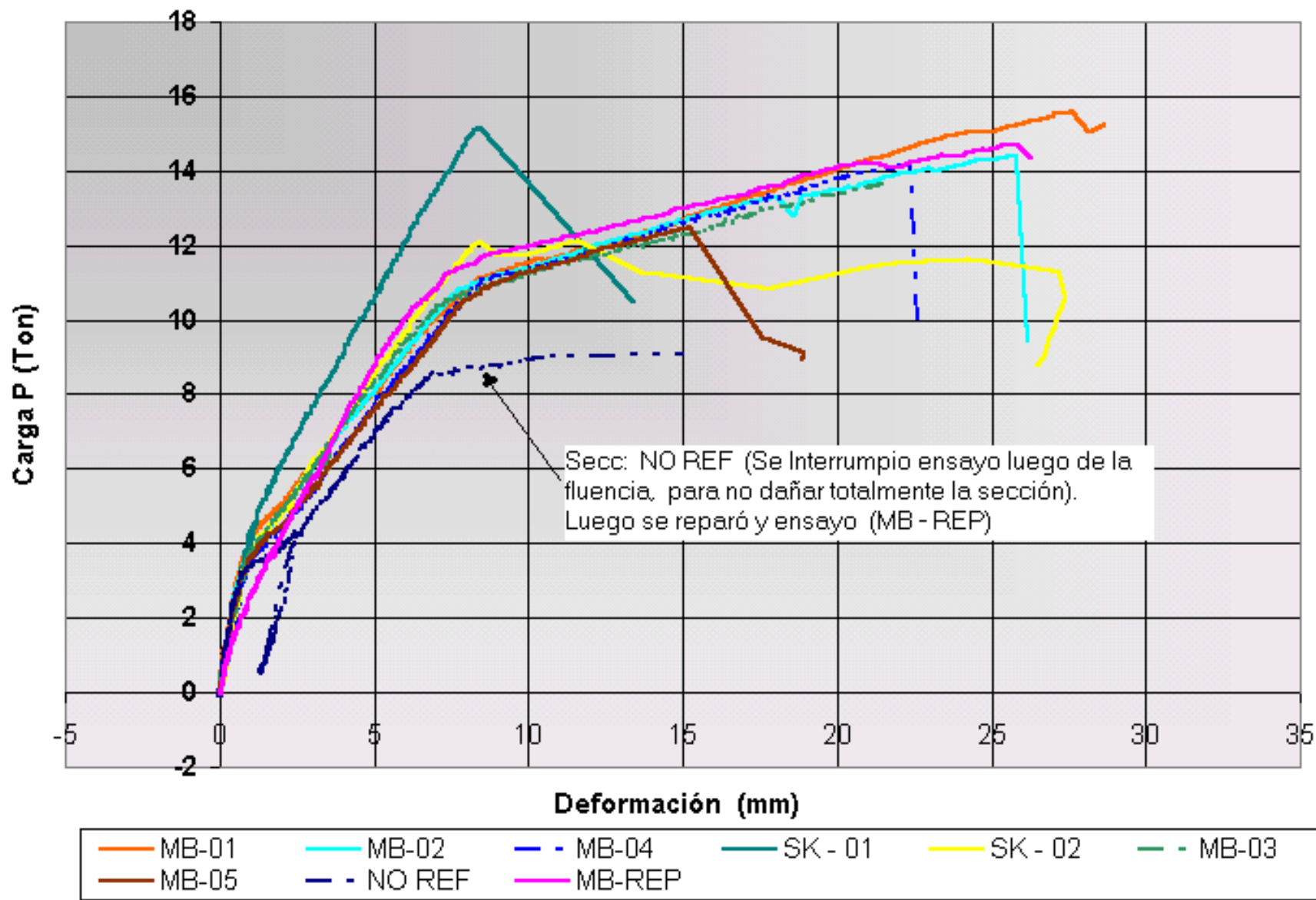


DIAGRAMA MOMENTO CURVATURA
Especimen MB-04

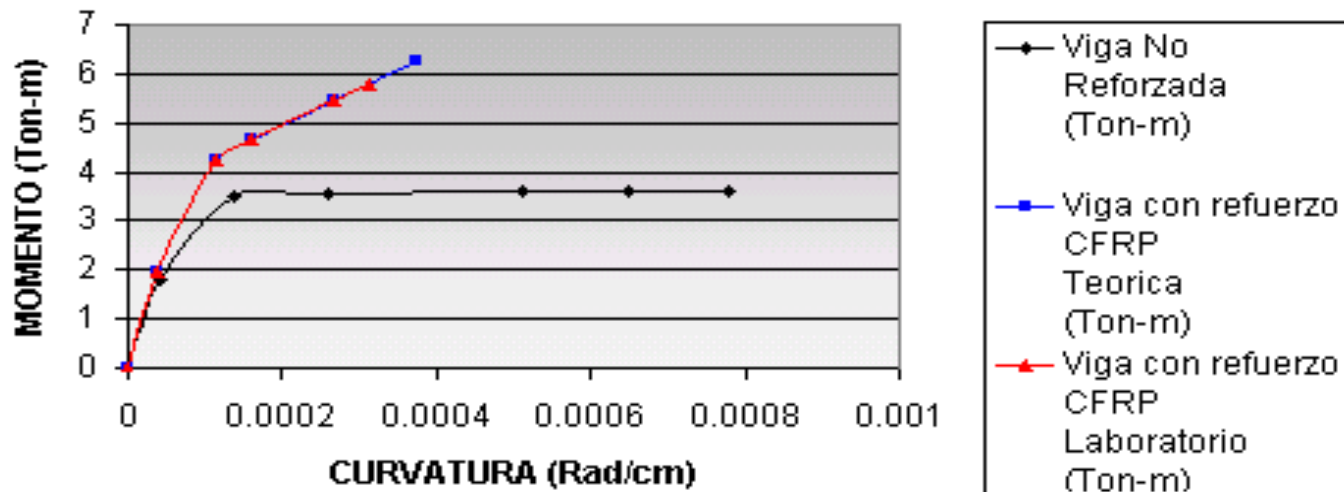
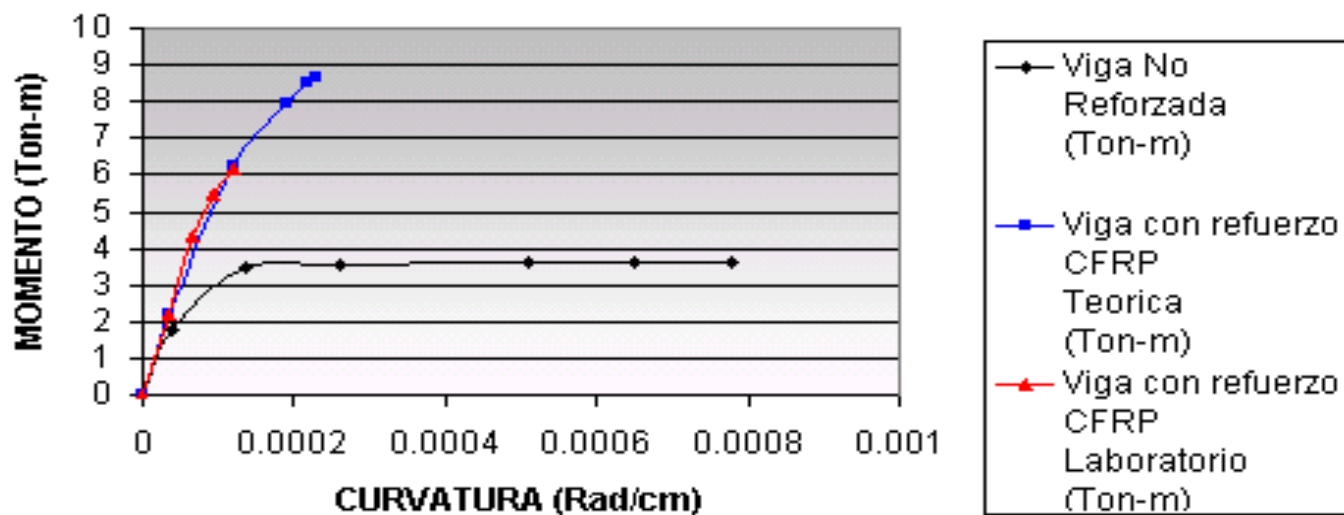


DIAGRAMA MOMENTO CURVATURA
Especimen SK-01



Efecto del Cortante

Fuerza Cortante nominal (V_n) resistente de la sección

$$V_c = 0.53 \sqrt{f'c} b d = 6,030 \text{ Kg.}$$

$$V_s = A_v f_y d / s = 6,093 \text{ Kg.}$$

$$V_n = V_c + V_s = 12,123 \text{ Kg}$$

Fuerza cortante máxima actuante teórica:

$$V = 0.5 P \quad \text{donde: } P = 6 (M_n) / L$$

Para el caso de las vigas más esforzadas se tiene:

$$\text{Viga MB-02 } V = 7,650 \text{ Kg. (63\% de } V_n \text{ resistente)}$$

$$\text{Viga SK-01 } V = 10,600 \text{ Kg. (87\% de } V_n \text{ resistente)}$$

★ En ambos casos: (V actuante $<$ V_n)

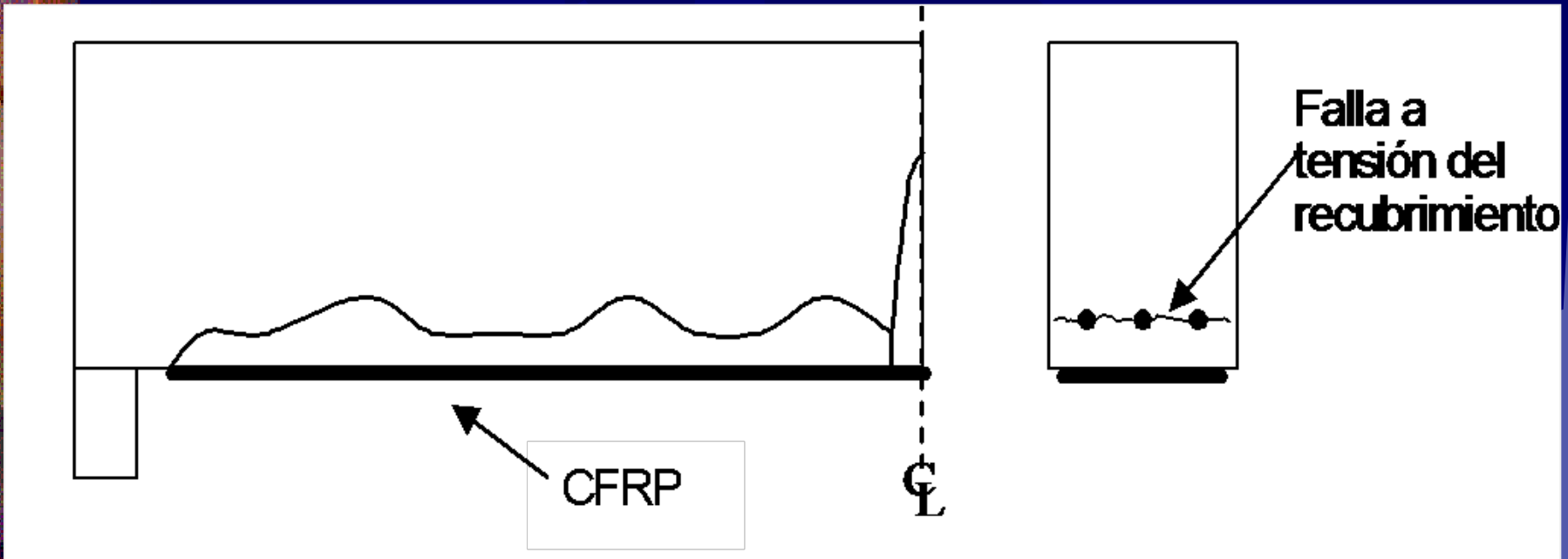
FALLA POR DELAMINACION RECOMENDACIONES PARA EVITARLAS.

- ★ Los ensayos han permitido verificar un tipo de falla no muy estudiado y tomado en cuenta en el diseño, denominado falla por delaminación del recubrimiento del concreto.

★ Delaminación del recubrimiento:

- ★ El mecanismo de falla por delaminación es muy complejo por los mecanismos de transferencia de las tensiones de tracción por flexión y tracción diagonal.
- ★ En los ensayos realizados la falla se inició desde lo extremos (zona de esfuerzos cortantes altos) y se propagó hasta la grieta por flexión, produciendo una falla frágil.
- ★ Diversas investigaciones y los ensayos realizados han demostrado que el uso de tiras perpendiculares de CFRP sobre los extremos de la lámina de refuerzo disminuye el efecto de delaminación por tensión del recubrimiento.

Delaminación del Recubrimiento

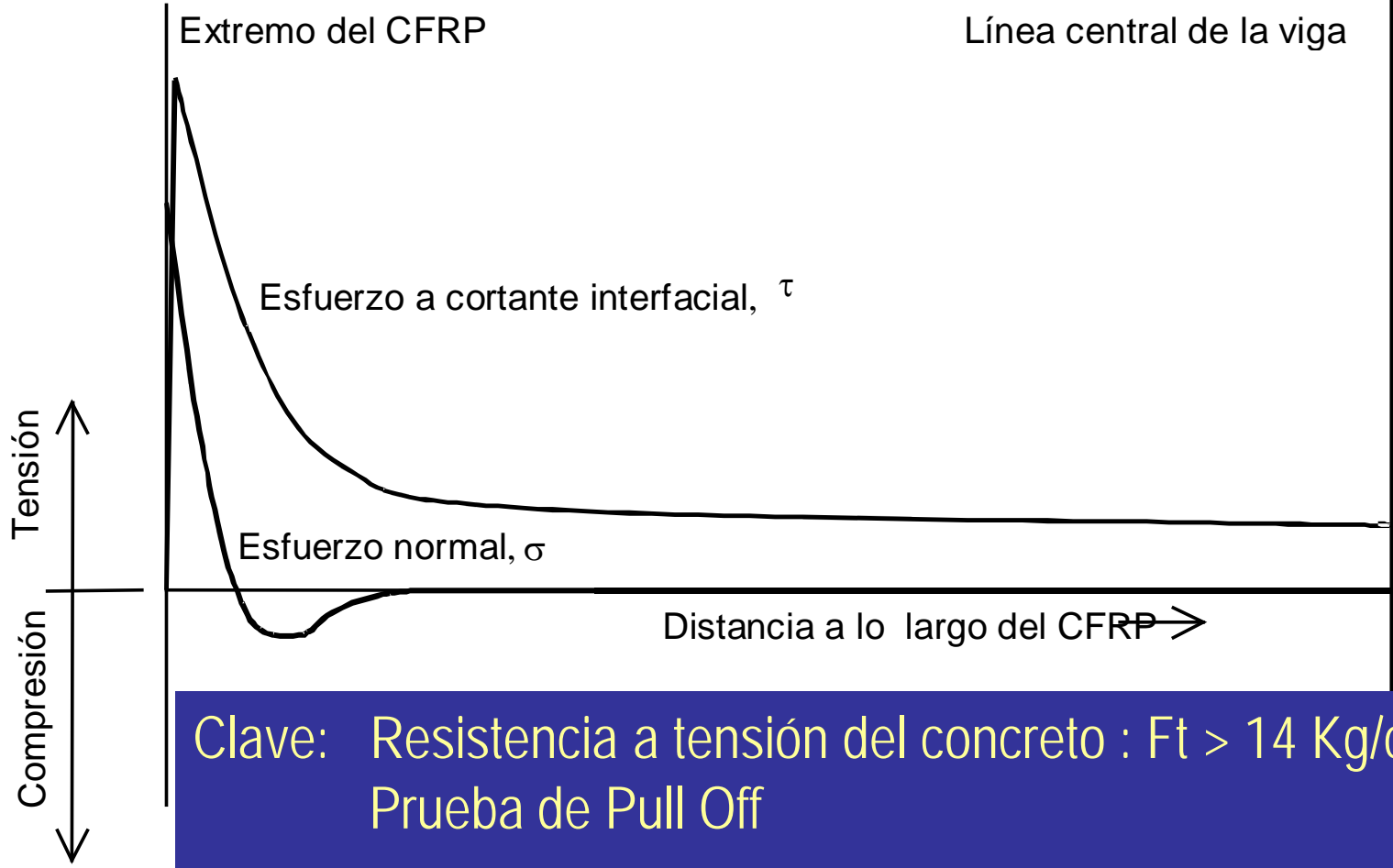


Recomendación para evitar la falla por delaminación:

Se recomienda que se cumpla que: $V_u < 2/3 V_c$

En caso contrario usar Anclajes Tipo U en la zona crítica

Delaminación – Adherencia



Clave: Resistencia a tensión del concreto : $F_t > 14 \text{ Kg/cm}^2$
Prueba de Pull Off

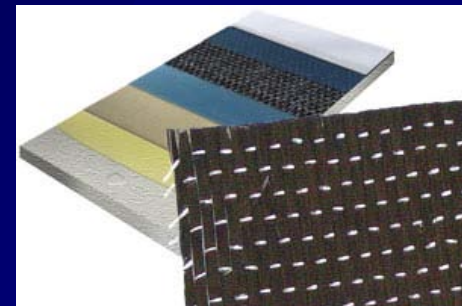
Longitud adecuada de adherencia - desarrollo

"EVALUACION DE SISTEMAS DE REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO PARA ELEMENTOS EN FLEXION"

TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADA POR:

ARELA RODRÍGUEZ RIVAS
ROLANDO VILCHEZ URIOL

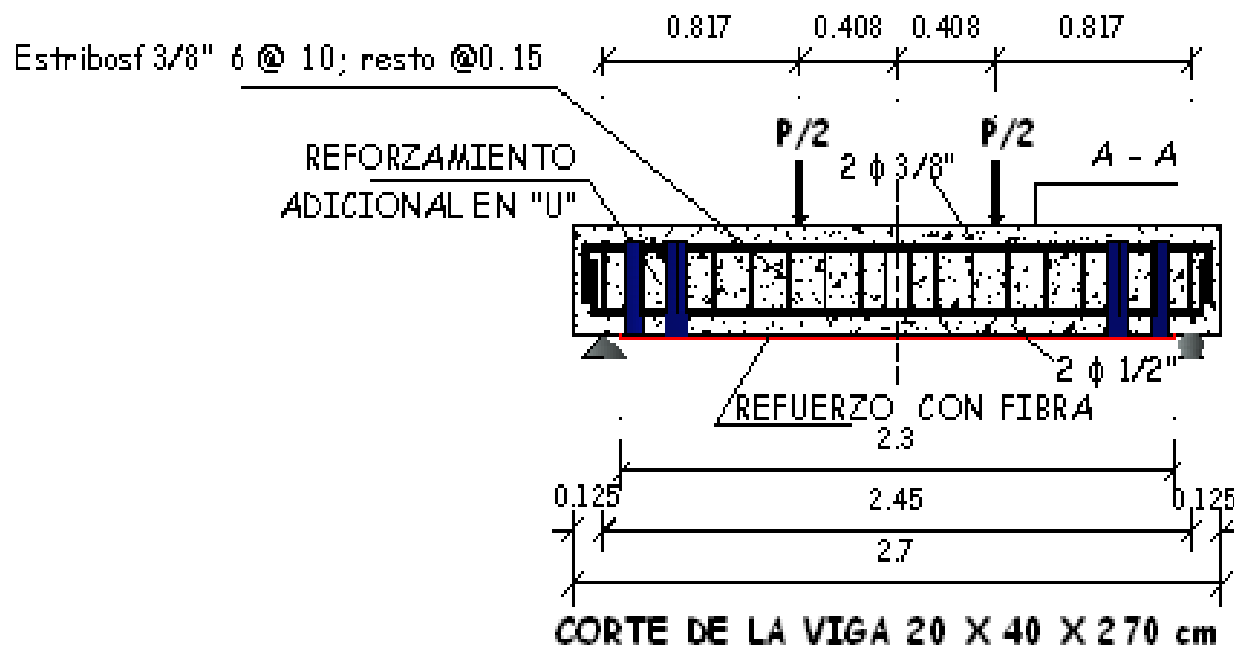


LIMA – PERÚ

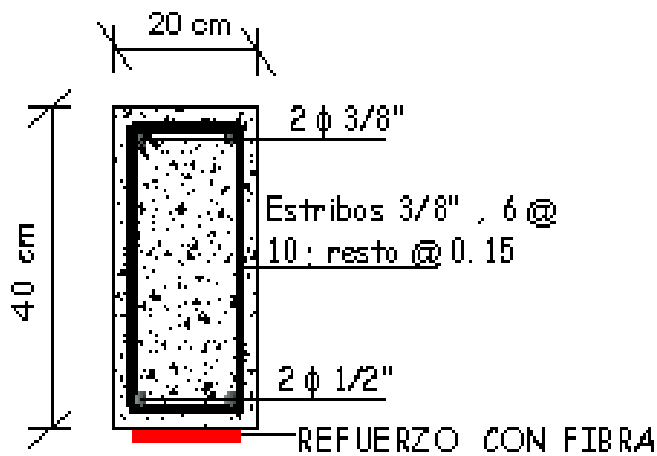
2005

TIPOS DE REFUERZO A INVESTIGAR

- ★ **Reforzamiento con Fibras de Carbono (Sika Carbodur y Mbrace).**
- ★ **Reforzamiento con Fibras - E-Glass**
- ★ **Reforzamiento con Platinas de Acero**



SECCION A - A



ESPECIFICACIONES TECNICAS PARA LA FABRICACION DE LA VIGA

CONCRETO:	$f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ Tamaño máximo del agregado $3/4''$
ACERO:	$f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$
d^* :	5 cms
REFUERZOS:	Fibra de Carbono Sika Carbodur S1012 Fibra de Carbono MBrace CF - 130 Fibra de Vidrio

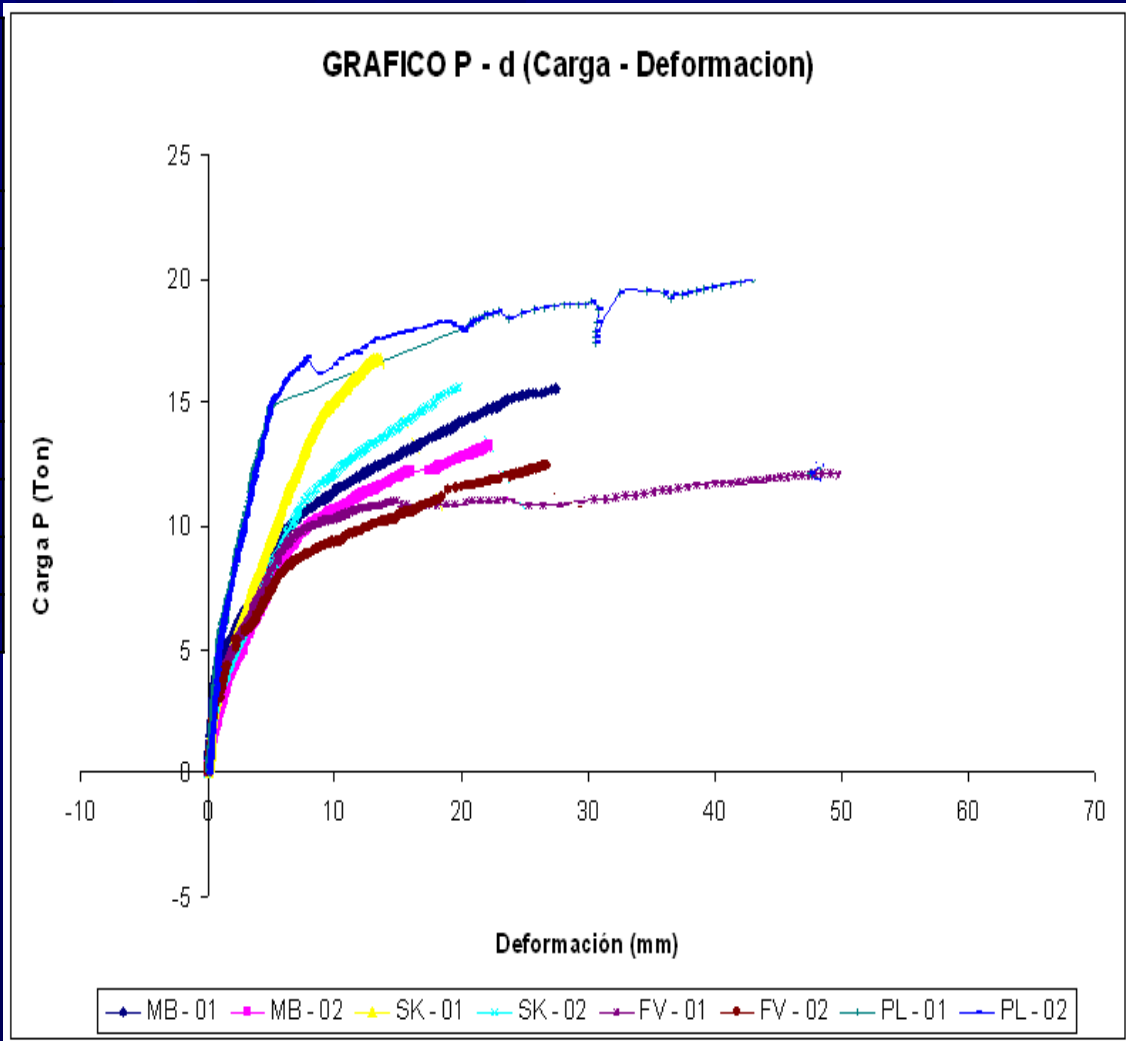
Instalación realizada según la recomendación del fabricante

EVALUACION Y COMPARACION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

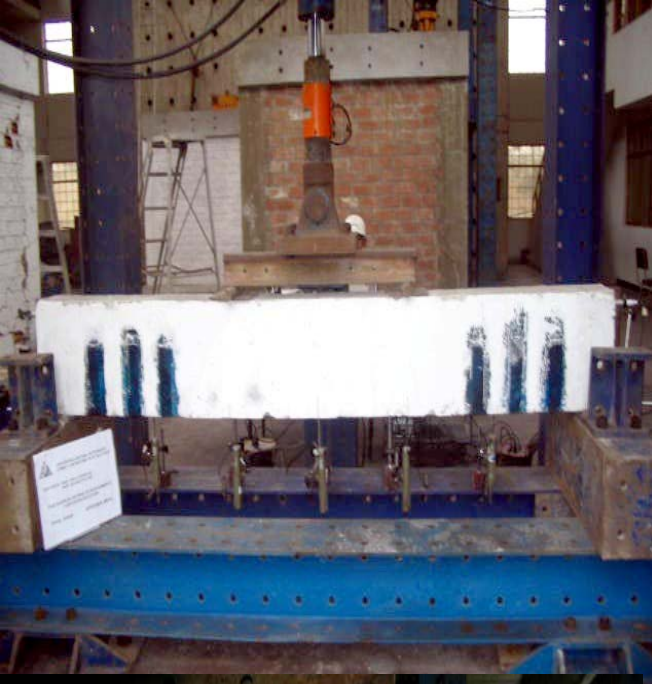
Citaremos a continuación la carga "P" para la cual se presentó la falla así como también el momento nominal desarrollado en el instante de la misma para cada uno de los especímenes, con los resultados obtenidos en los ensayos realizados en el CISMID:

Denominación del Especímen	Carga P (Ton)	Momento Nominal (Ton - m)	d (mm)
MB - 01	15.55	6.35	27.60
MB - 02	13.225	5.40	22.80
SK - 01	16.775	6.85	14.20
SK - 02	15.65	6.39	19.98
FV - 01	12.125	4.95	49.8
FV - 02	12.40	5.06	27.1
PL - 01	19.85	8.11	43.9
PL - 02	19.85	8.11	43.9

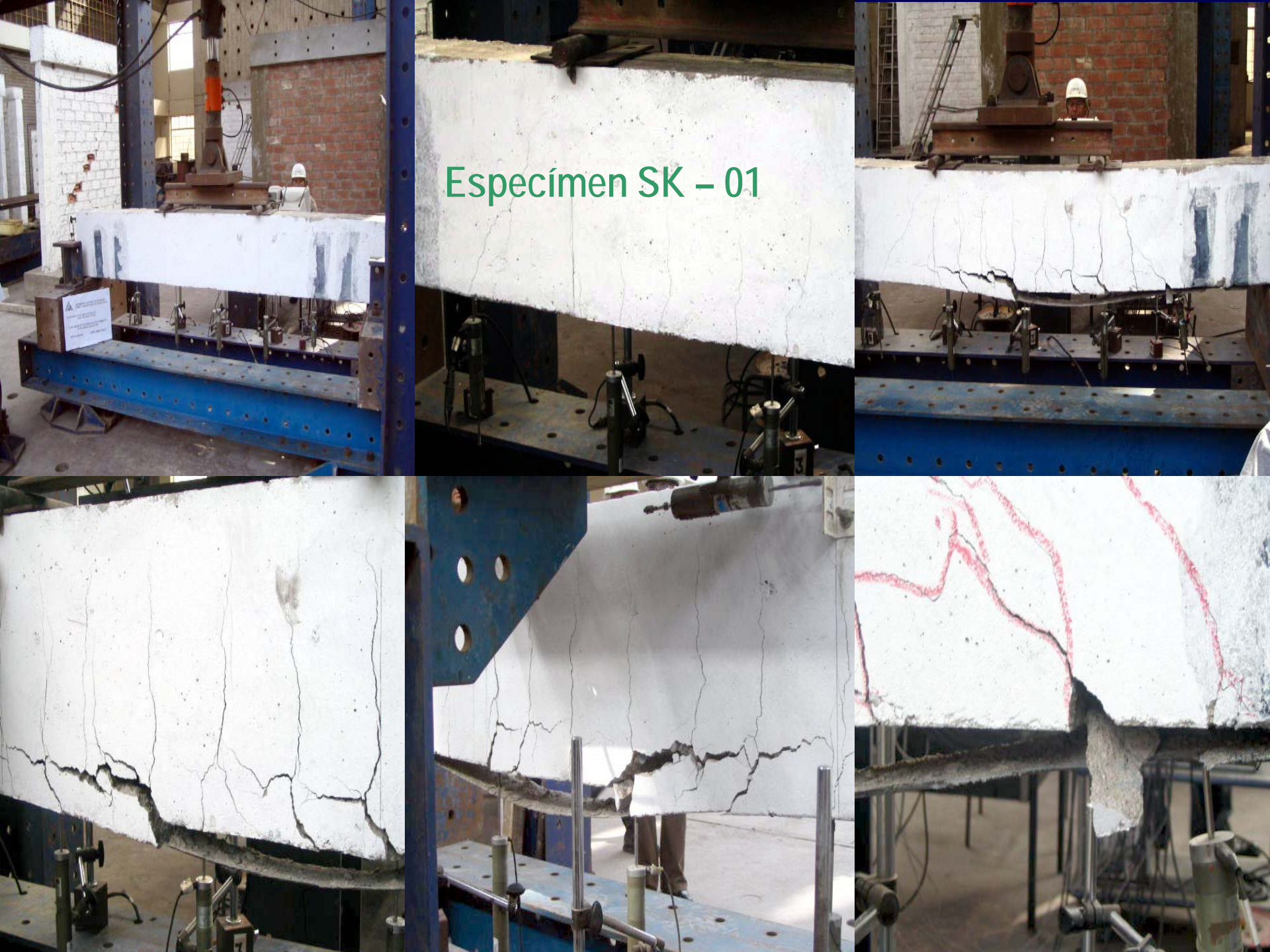
Carga P , momento nominal Mn y desplazamiento en el instante de la falla



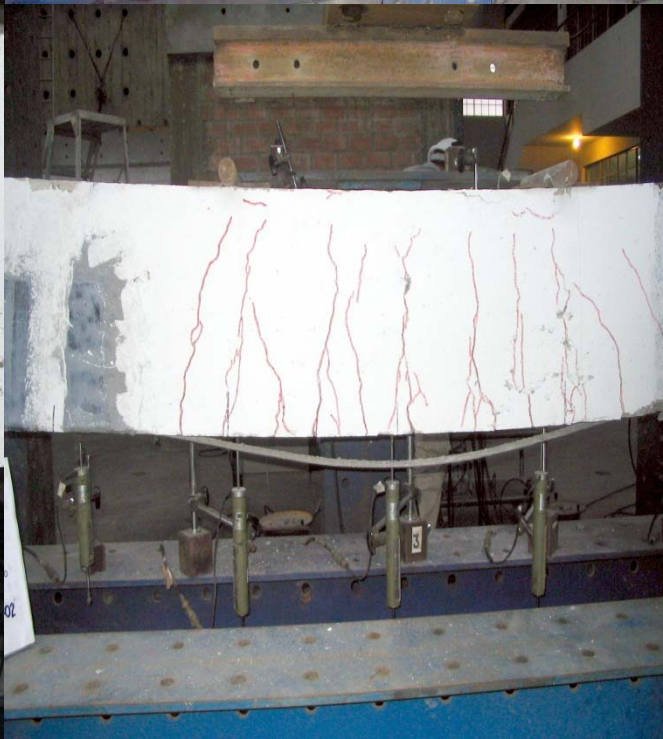
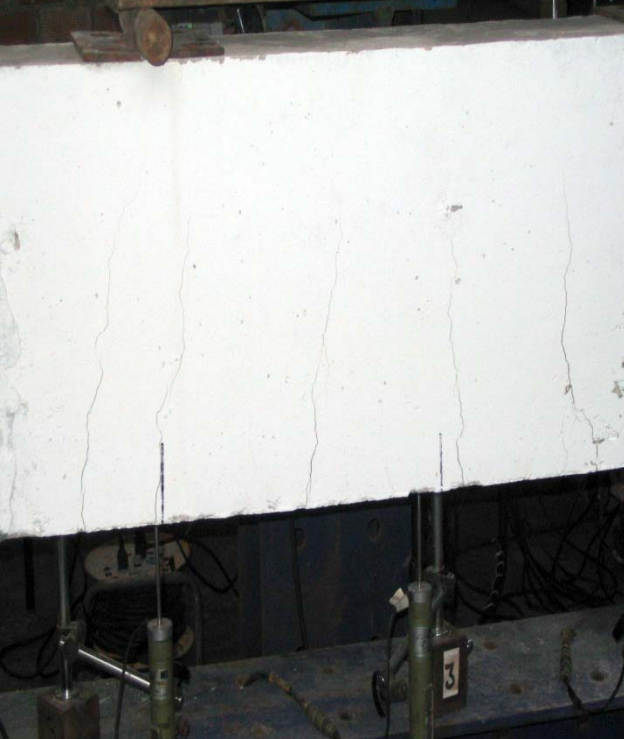


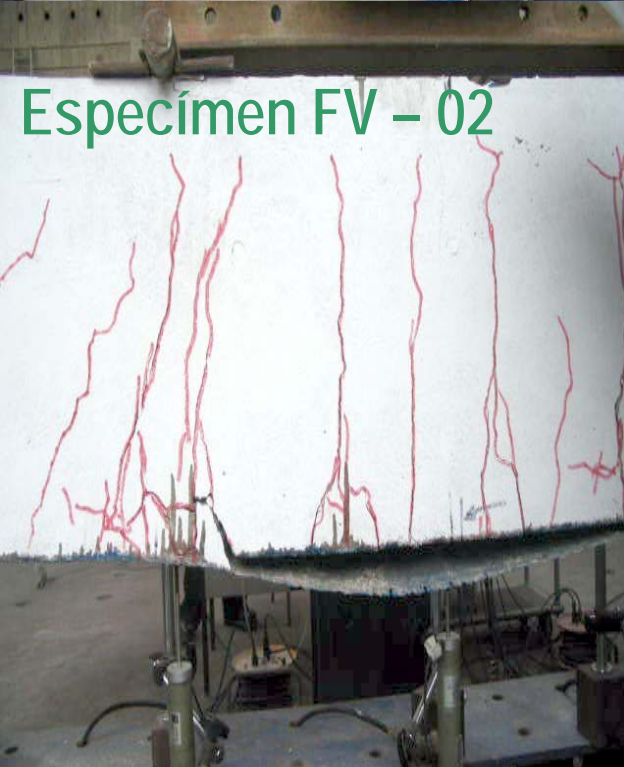


Especímen SK – 01



Especímen SK - 02



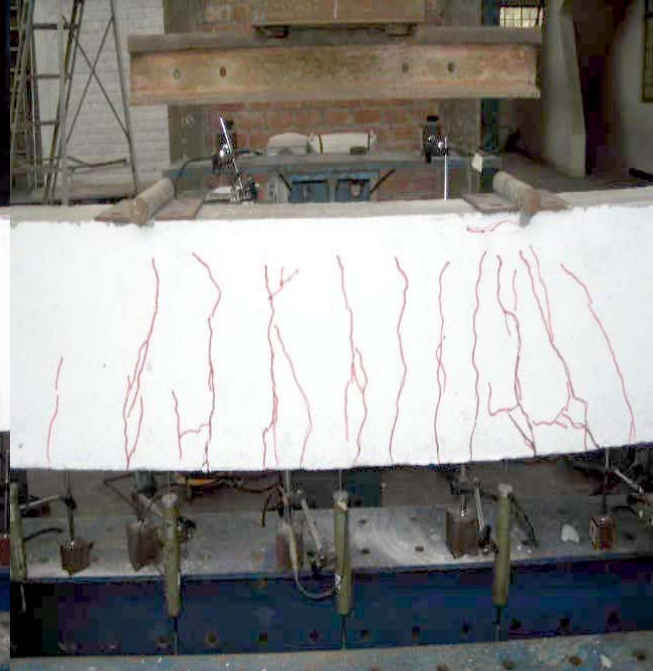
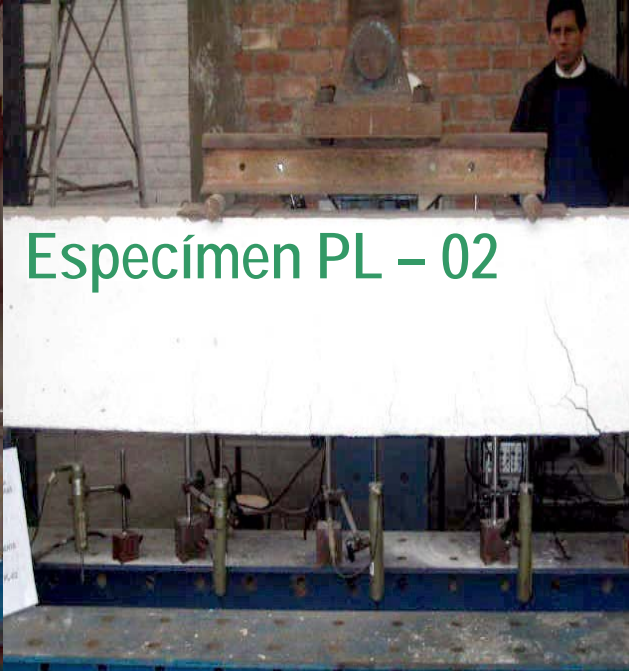
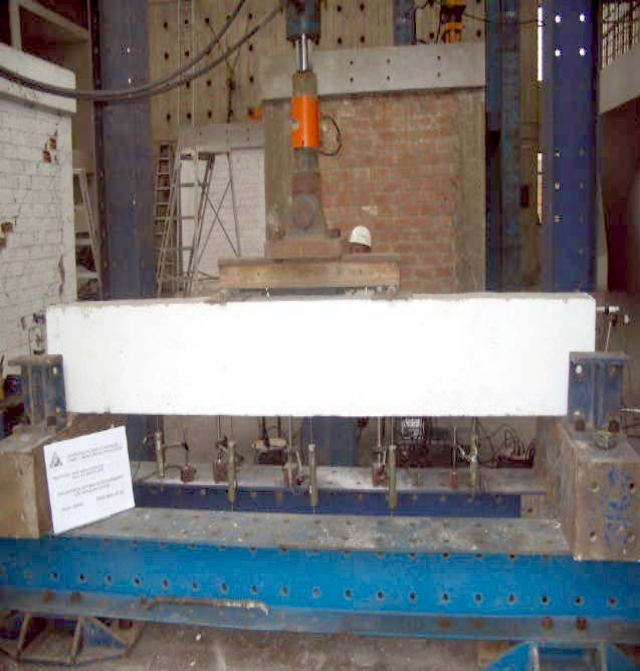


Especímen FV – 02

Especímen PL - 01



Especímen PL - 02

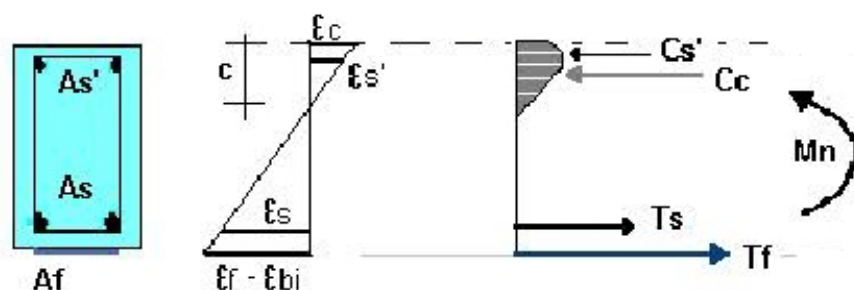


RESUMEN DEL COMPORTAMIENTO DE 08 ENSAYOS REALIZADOS A ESCALA NATURAL

Tesis: Rolando Vilchez - Arela Rodriguez

Tesis	Codigo	Sistema FRP	Longitud Ref. FRP	Ancho refuerzo	No. De Capas	Anclaje U	Valores Teoricos / Valores Ensayos CISMID				
							ϵ_c	ϵ_f	$\%(\epsilon_f L / \epsilon_f t)$	Mn	$\%(Mnt / MnL)$
T-2	MB-01	Mbrace CF 130	230	15	1	Si	0.00215 0.00215	0.0125 0.01273	101.8%	5.48 6.35	115.9%
T-2	MB-02	Mbrace CF 130	230	7.5	2	Si	0.00215 0.0018	0.0125 0.01269	101.5%	5.48 5.4	98.5%
T-2	SK-01	Sika Carbodur	230	10	1	Si	0.003 0.003	0.0067 0.00592	88.4%	8.16 6.85	83.9%
T-2	SK-02	Sika Carbodur	230	5	1	Si	0.003 0.003	0.0058 0.00651	112.2%	5.74 6.39	111.3%
T-2	EG-01	Mbrace EG	230	7.5	2	Si	0.0022 0.0022	0.01533 0.01784	116.4%	4.46 4.95	111.0%
T-2	EG-02	Mbrace EG	230	15	1	Si	0.0022 0.0022	0.01533 0.01782	116.2%	4.46 5.06	113.5%
T-2	PI-01	Platina Acero A36	230	5.0 cm	1		0.003 0.003	0.001265 0.001258	99.4%	6.93 7.13	102.9%
T-2	PI-02	Platina Acero A36	230	5.0 cm	1	3 v 3/8"X6"	0.003 0.003	0.001265 0.001264	99.9%	6.93 8.11	117.0%

Concreto Probetas $f'c$ 210kg/cm² - $A_s = 2$ var 1/2" $A_s' = 2$ var 3/8" - Estribos 3/8" 6@0.10, Rto a 0.15 - Ensayos CISMID UNI



Sección Transversal

Deformaciones Unitarias

Esfuerzos

CONCLUSIONES DE LOS ENSAYOS

Los ensayos a escala natural de las 02 tesis han permitido verificar diferentes tipos de falla de las vigas estudiadas.

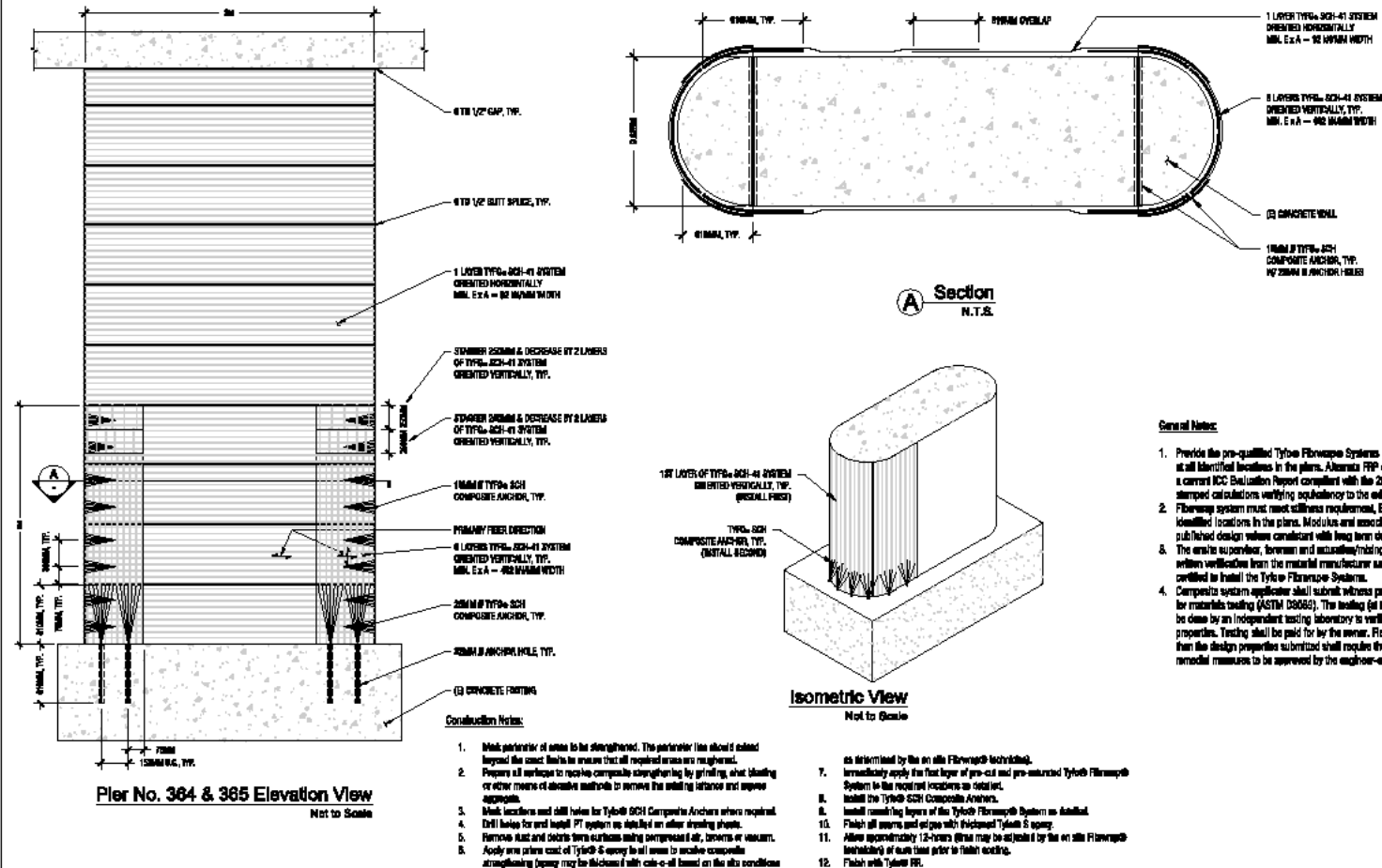
- De las 08 vigas ensayadas con FRP, solo 2 alcanzaron la resistencia nominal teórica por flexión, debido a que se usaron anclajes tipo U que evitaron la falla por delaminación anticipada del sistema CFRP.
- Estas vigas, tienen grados de aproximación muy buenos, comparados con los valores teóricos por flexión.
- Las vigas que no llegaron a alcanzar la resistencia nominal teórica, por el efecto de delaminación, fallaron a resistencias del orden del 87% para el sistema CF-130 MBrace y con resistencias del orden del 75% para el sistema Sika-Carbodur.
- Los ensayos muestran que el tema de adherencia entre el sistema de Refuerzo FRP y el sustrato de concreto es crítico. Mejor comportamiento tienen los elementos reforzados con mayor área de contacto entre el FRP y el sustrato de concreto.

CONCLUSIONES DE LOS ENSAYOS

- El reforzamiento con FRP incrementara la resistencia de cualquier sección por flexión, sin embargo la falla final será del tipo frágil, por la pérdida de ductilidad de la sección. Es importante determinar que tipo de elementos pueden ser reforzados mediante esta técnica.
- Los efectos estudiados de las variables “ancho de la capa” de refuerzo y el “número” de capas se reflejan en los ensayos, por regla se tiene que:
 - A menor ancho de capa, mayor esfuerzo de adherencia, por lo que la delaminación ocurrirá a valores menores de esfuerzos de flexión. (Por ejemplo: es mejor usar una banda de refuerzo por flexión de 25 cm de ancho, que otra banda de sistema equivalente con menor ancho y mayor espesor - Ejm. 10 cm. de ancho y mayor espesor)
 - Del mismo modo la resistencia disminuye con el incremento del número de capas de refuerzo.

Técnicas Nuevas en FRP

Anclajes de FRP para transferir esfuerzos



Anclajes de FRP (Anchors) para refuerzo por Cortante



Se están usando anclajes para mejorar la adherencia del refuerzo por cortante y/o delaminación



Refuerzo de Puentes con Sistema de FRP Pretensado

Ya hay algunos Puentes Reforzados con Platinas de FRP Pretensadas y luego adheridas, en los extremos se usan sistemas especiales de anclaje y tensado de las barras de FRP



Alemania



Experiencia Peruana en diseño y Aplicación

EDIFICIO CHOCAVENTO

San Isidro.

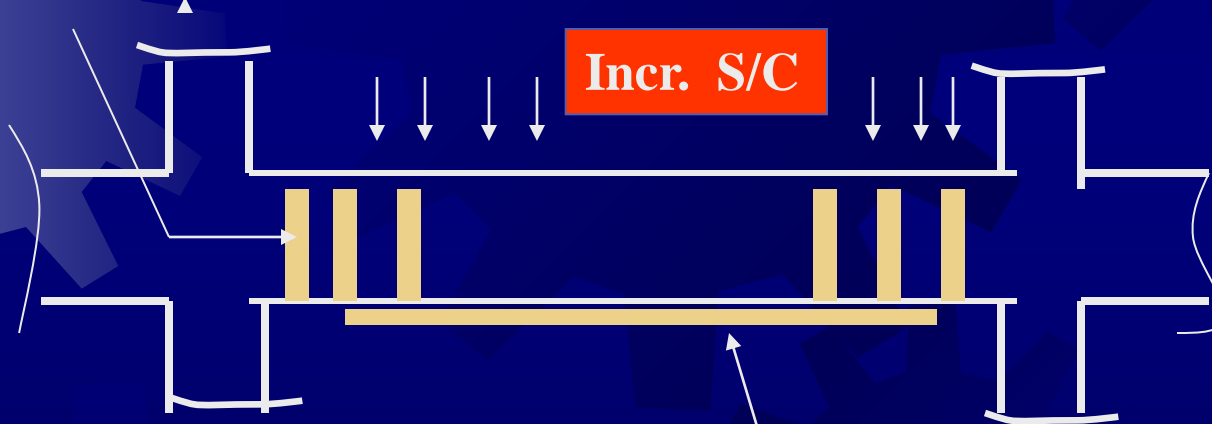
(City bank 5 Sotanos + 16 Pisos)

Febrero - 2002

El Proyecto.

REFORZAMIENTO DE VIGAS Y LOSAS EDIFICIO CHOCAVENTO - CITIBANK

Ref. por Cortante



REFUERZO POR FLEXION

Laminado de las fibras de Carbono (Flexión)



Laminado del Refuerzo por Cortante



Laminado del Refuerzo por Cortante





Experiencias en Diseño y Aplicación

- ★ **Reparación y Reforzamiento
del Puente Pacllo Callún**

Puente Colgante ubicado en
Chasquitambo - ANCASH

I. Puente Paclo Callún



El Problema



Daños Estructurales



Izaje con grúa de 60 tn Apuntalamiento del Pórtico



Aplomado del Pórtico con tirfor

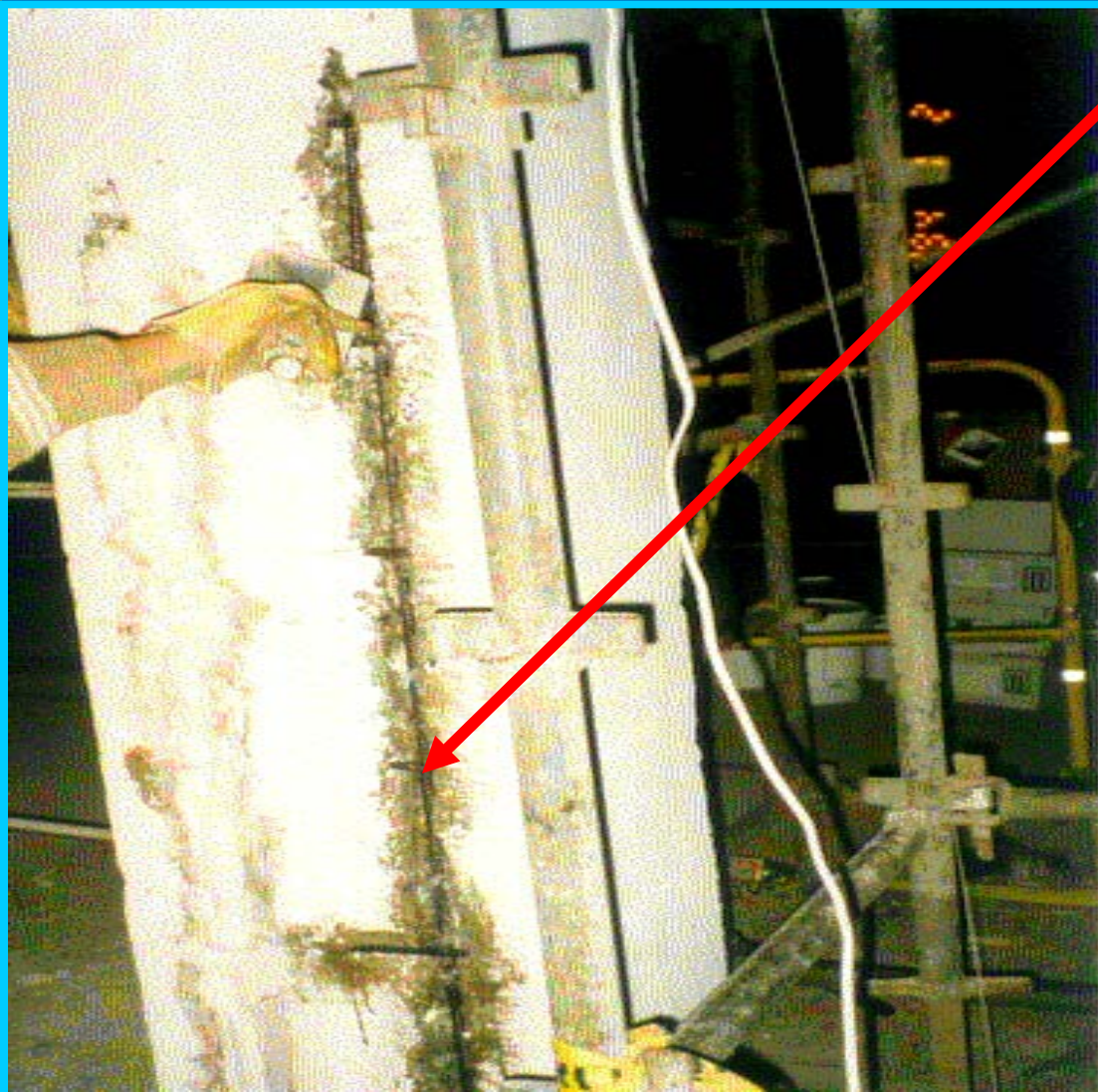


Apoyando los cables sobre carro de dilatación



Reparación de Fisuras

Reemplazo Varillas dañadas



Se reemplazaron barras de acero dañadas por corrosión, estas tenían un recubrimiento inadecuado. Se Inyectó resina en las fisuras

Colocación de fibras de carbono



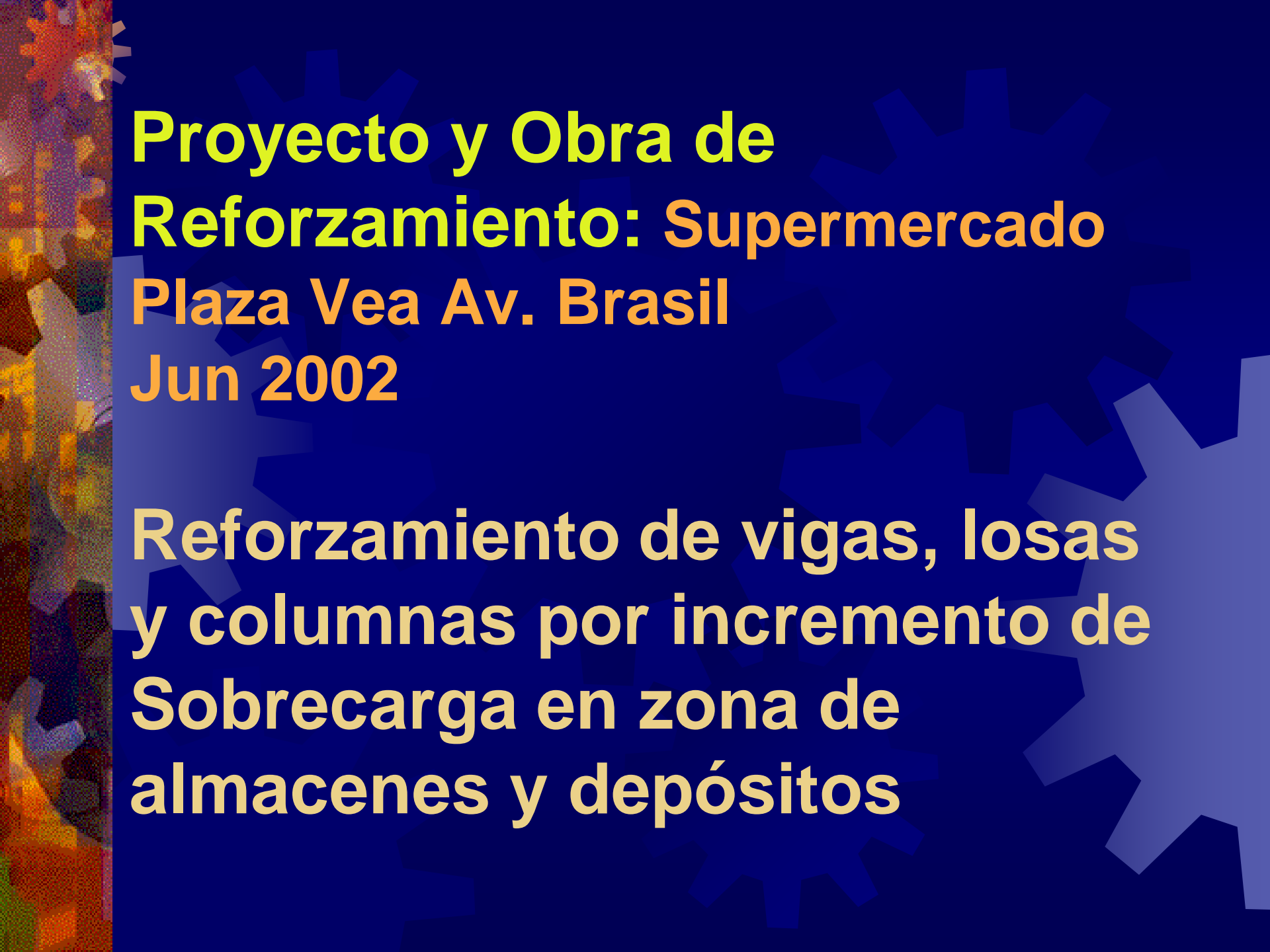
Aplicación del Recubrimiento Protector

Puede ser:

- ✦ Tarrajeo: Para ello se deber usar una resina que permita adherir superficies pulidas con el mortero de tarrajeo.
- ✦ Top Coat: Pintura epóxica - para proteger contra los rayos Ultravioletas
- ✦ Señalizar la ubicación de las fibras para evitar perforaciones para otras instalaciones.

Colocación de capa Protectora sobre fibra

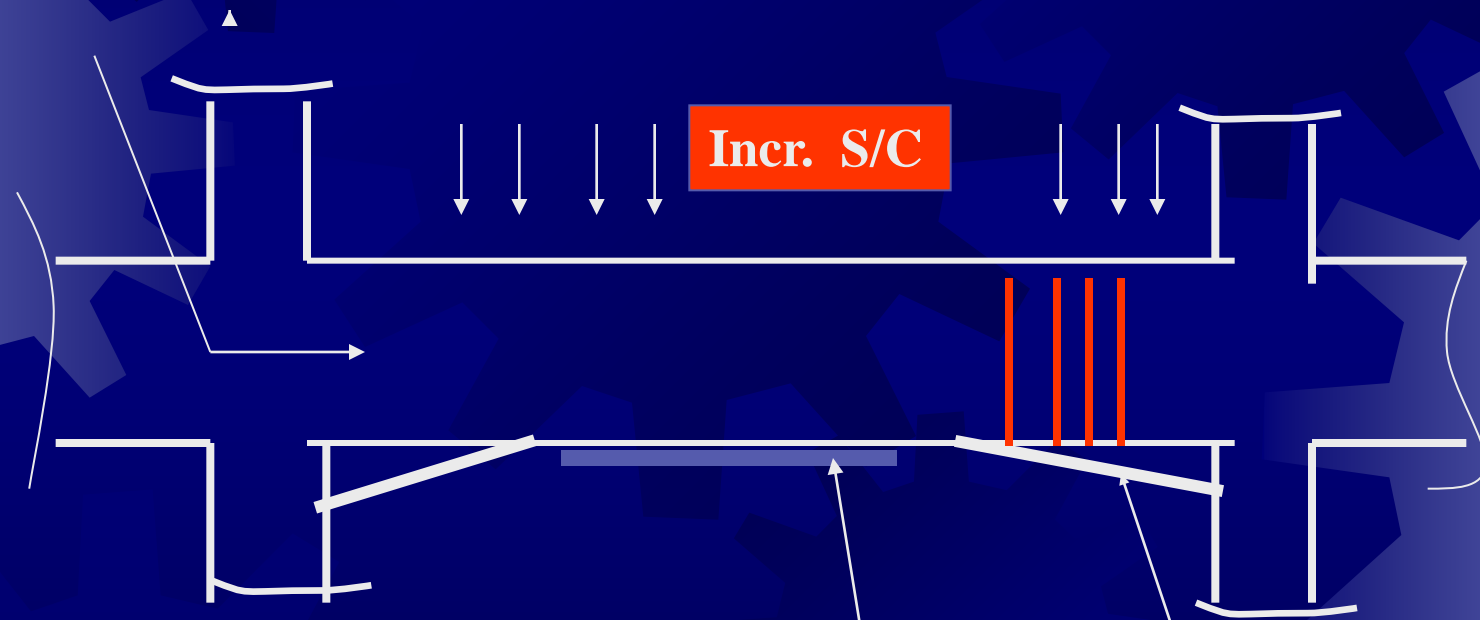


The background features a dark blue field with several large, semi-transparent gears of varying shades of blue. On the left side, there is a vertical strip with a colorful, abstract, and textured pattern in shades of orange, red, and brown.

**Proyecto y Obra de
Reforzamiento: Supermercado
Plaza Veá Av. Brasil
Jun 2002**

**Reforzamiento de vigas, losas
y columnas por incremento de
Sobrecarga en zona de
almacenes y depósitos**

Proyecto de Reforzamiento Vigas



REFUERZO FLEXION (+) FRP

Encamisetado + Estribos M(-) y V

Reforzamiento de Vigas.



Escarificado de la superficie y colocación de estribos nuevos cerrados. (V)

Se aumento peralte M(-)

Se vació concreto reologico f_c 210 a las 24 horas.

Reforzamiento de Vigas.



Reforzamiento de Vigas.



LAS VIGAS
SE REFORZARON
POR FLEXION Y
CORTE
MEDIANTE
ENCAMISADO
DE CONCRETO

Adicionalmente
Por $M(+)$ se reforzó
Con FRP

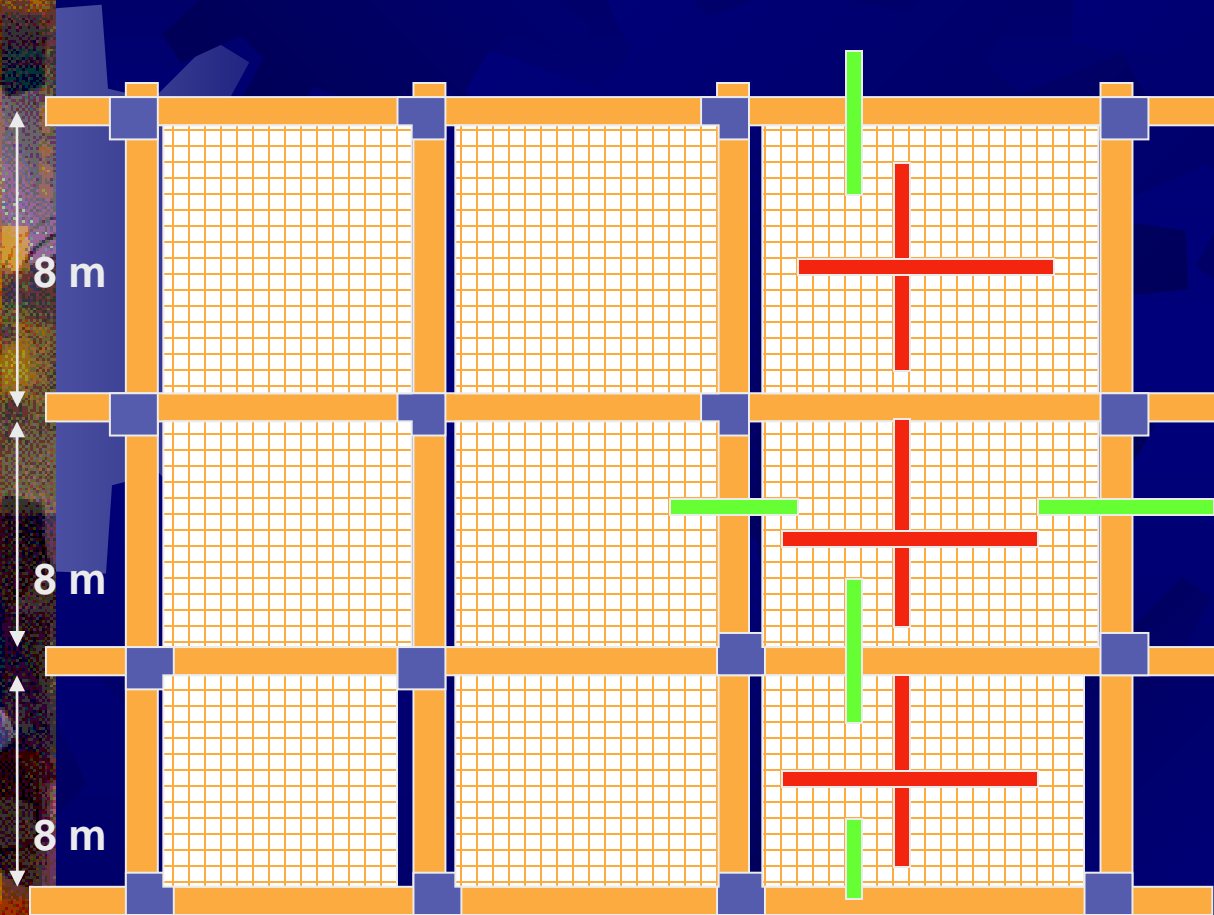
Preparación de superficie




Aspirado del
Polvo de concreto

La superficie de las
vigas y losas
fueron arenadas

Proyecto Reforzamiento Losas



SEINTEC diseñó el reforzamiento a base a bandas de fibras de carbono. FRP

Refuerzo Negativo (Superior) 
No aplicable en algunos sectores

Refuerzazo Positivo (Inferior) 

Reforzamiento de Losas.



Se usó Fibras de carbono CF – 130 Mbrace en 2 direcciones

Reforzamiento por momento negativo de losas



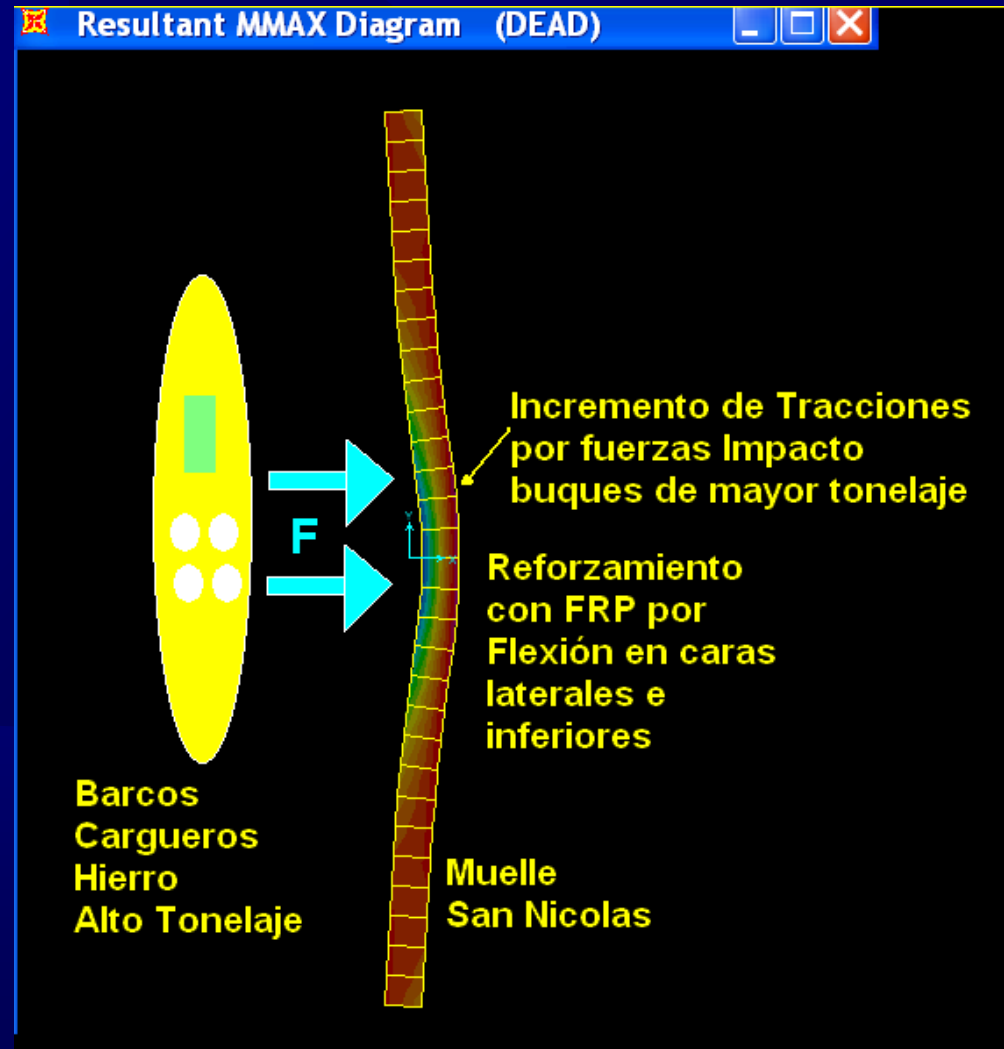
Reforzamiento y Reparación

Muelle San Nicolas – Marcona Nazca Perú - 09



Necesidad de Reforzamiento

- ✦ Se requiere mejorar las condiciones del Muelle
- ✦ Nueva Grúa
- ✦ Barcos de Mayor Tonelaje

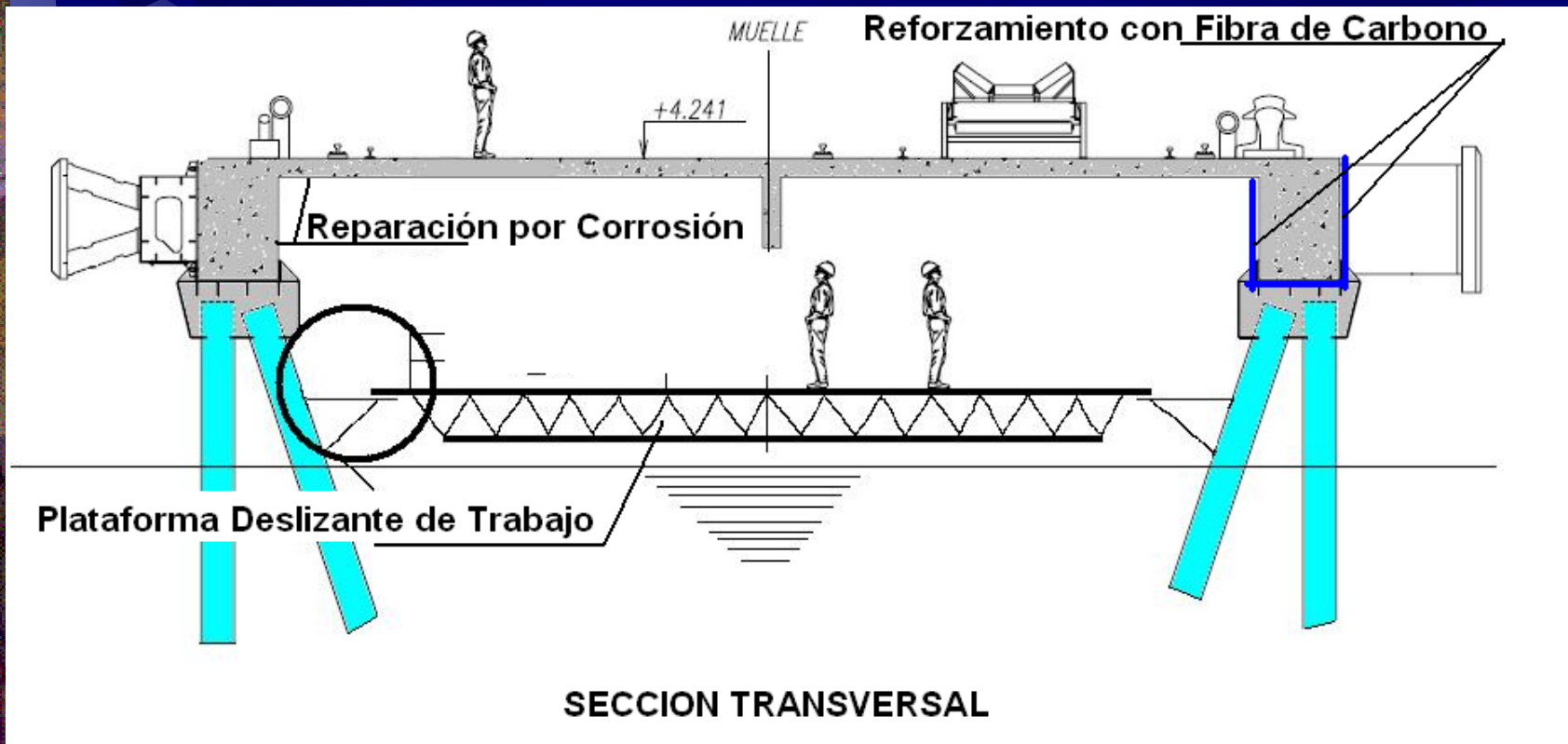


Diagnostico y Solución

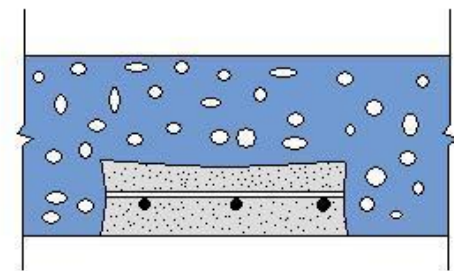
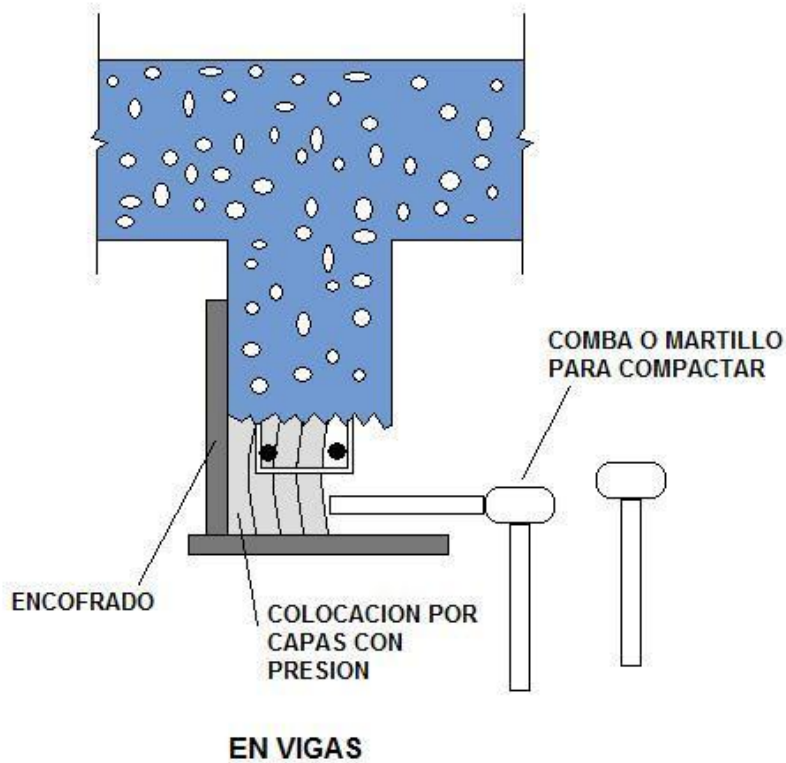
- ☀ Aumento de Capacidad de carga del Muelle, Barcos de Mayor Tonelaje
- ☀ Reparación (Hay Corrosión)
- ☀ Reforzamiento con FRP



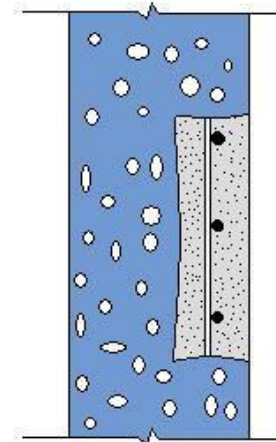
Sección Transversal del Muelle



Reparación con Mortero de Baja Contracción



EN LOSAS



EN SUPERFICIES VERTICALES
(VIGAS MANDIL)

**REPARACION DE ESTRUCTURAS DE
CONCRETO CON MORTERO DE
REPARACION EMACO S88 CI (DRY PACKING)**

Reparación de Zonas Con Corrosión

Procedimiento

- ✦ Determinar zonas a reparar
- ✦ Eliminar concreto superficial
- ✦ Arenar barras corroidas, Verificar perdida de sección reemplazar y/o adicionar si perdida es 10% del Area
- ✦ Empalmar por soldadura
- ✦ Colocar Mortero de Reparación con Inhibidor de Corrosión EMACO S88



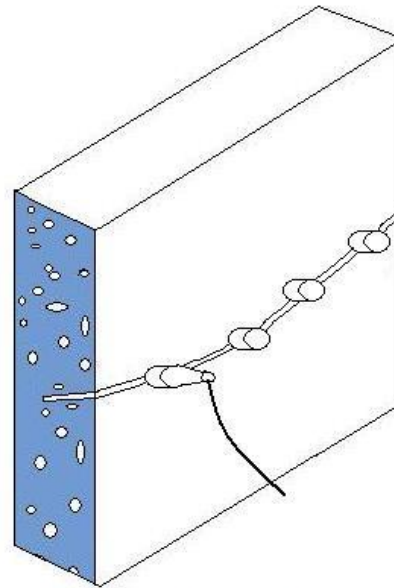
Reparación de Concreto

Luego del arenado de las barras, limpieza, remplazo y adición de nuevas armaduras, se colocó un mortero de corrosión tipo EMACO S88 con Inhibidor de corrosión

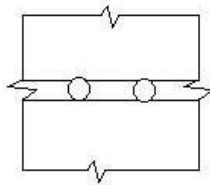


Inyección de Fisuras

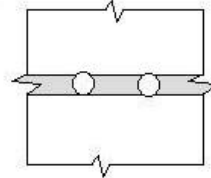
INYECCION DE FISURAS Y GRIETAS



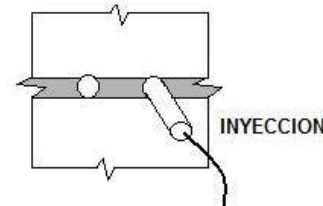
EN MUROS



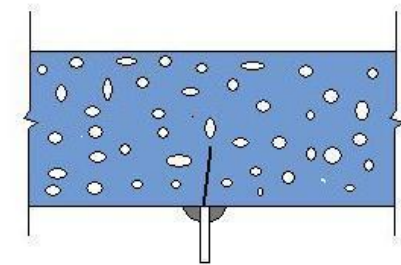
1° FIJAR TUBOS



2° LIMPIAR Y SELLAR FISURAS

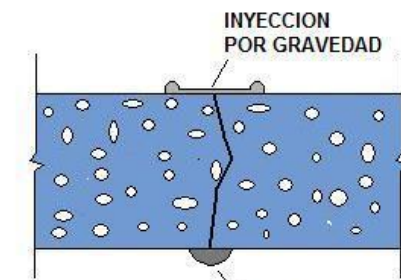


3° COMPROBAR COMUNICACION ENTRE TUBOS E INYECTAR



INYECCION A PRESION

EN LOSAS



INYECCION POR GRAVEDAD

SELLO

EN LOSAS

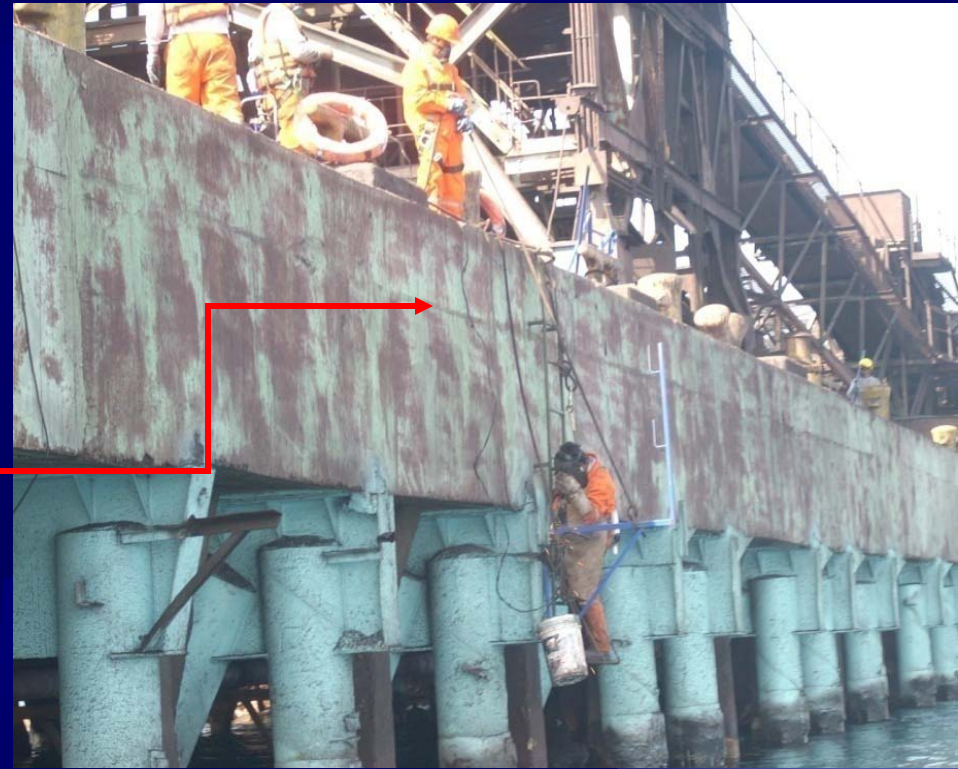
Inyección de Fisuras



Reforzamiento con FRP

Procedimiento

- ✦ Preparar adecuadamente la superficie Arenar.
- ✦ Colocar Reforzamiento FRP 3 a 4 capas CF 160 M Brace según indicaciones en Planos
- ✦ Aplicar Recubrimiento protector Top Coat contra Rayos UV



Reforzamiento con FRP

- ★ Se colocó Reforzamiento de FRP 3 a 4 capas CF 160 M-Brace según Proyecto.



Reforzamiento FRP

- ★ Reforzamiento de vigas transversales afectadas por corrosión y con pérdida de sección en mas del 10% del área de acero



Centro Comercial Jockey Plaza

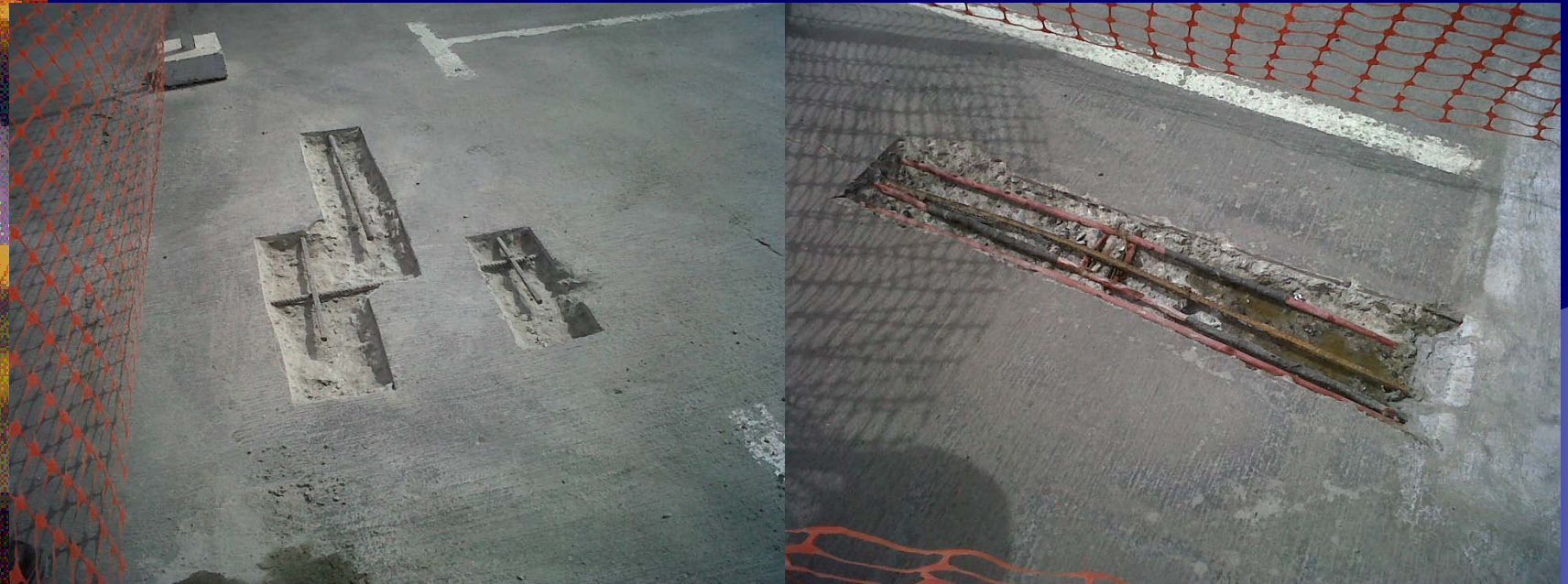
- ✦ El centro comercial tiene 12 años.
- ✦ Se requiere intervención debido a que existen ampliaciones que ameritan el reforzamiento de vigas columnas y losas postensadas por incremento de cargas
- ✦ Hay defectos de corrosión por deficiencias constructivas en los recubrimientos de las armaduras de las losas postensadas

Problemas de Corrosión

Se requiere realizar reparación y Reforzamiento pues existen problemas localizados de inicio de corrosión de algunas barras superiores y algunos cables de postensado de las losas, debido a que estas no tienen un adecuado recubrimiento, se han encontrado recubrimientos de 0.5, 1 y 1.5 cm que está ocasionando el inicio de corrosión de las barras, mas aún considerando la humedad severa de Lima y que estas losas se usan como lavadero de vehiculos con humedecimiento permanente del concreto agravandose la corrosión



Limpieza de Barras



En estas vistas se aprecian los trabajos de martelinado y limpieza de barras corroidas.

Hay algunas barras que han perdido sección y algunos cables de postensado fracturados

Se adicionara armadura convencional y Refuerzo de Fibra de Carbono.

Reforzamiento de Losas Postensadas

Hay sectores que tendrán ampliaciones en la losa superior que requieren reforzamiento por flexión.

Apreciamos los trabajos de Reforzamiento en las losas y vigas para un incremento de carga del orden de 500 kg/m²

La Fibra especificada es Tyfo Sch41 Fyfe



Refuerzo de Vigas, losas y Encamisetado de Columnas



Algunas columnas han tenido que ser reparadas previamente pues durante la preparación de la superficie del concreto se han encontrado cangrejeras y fisuras.

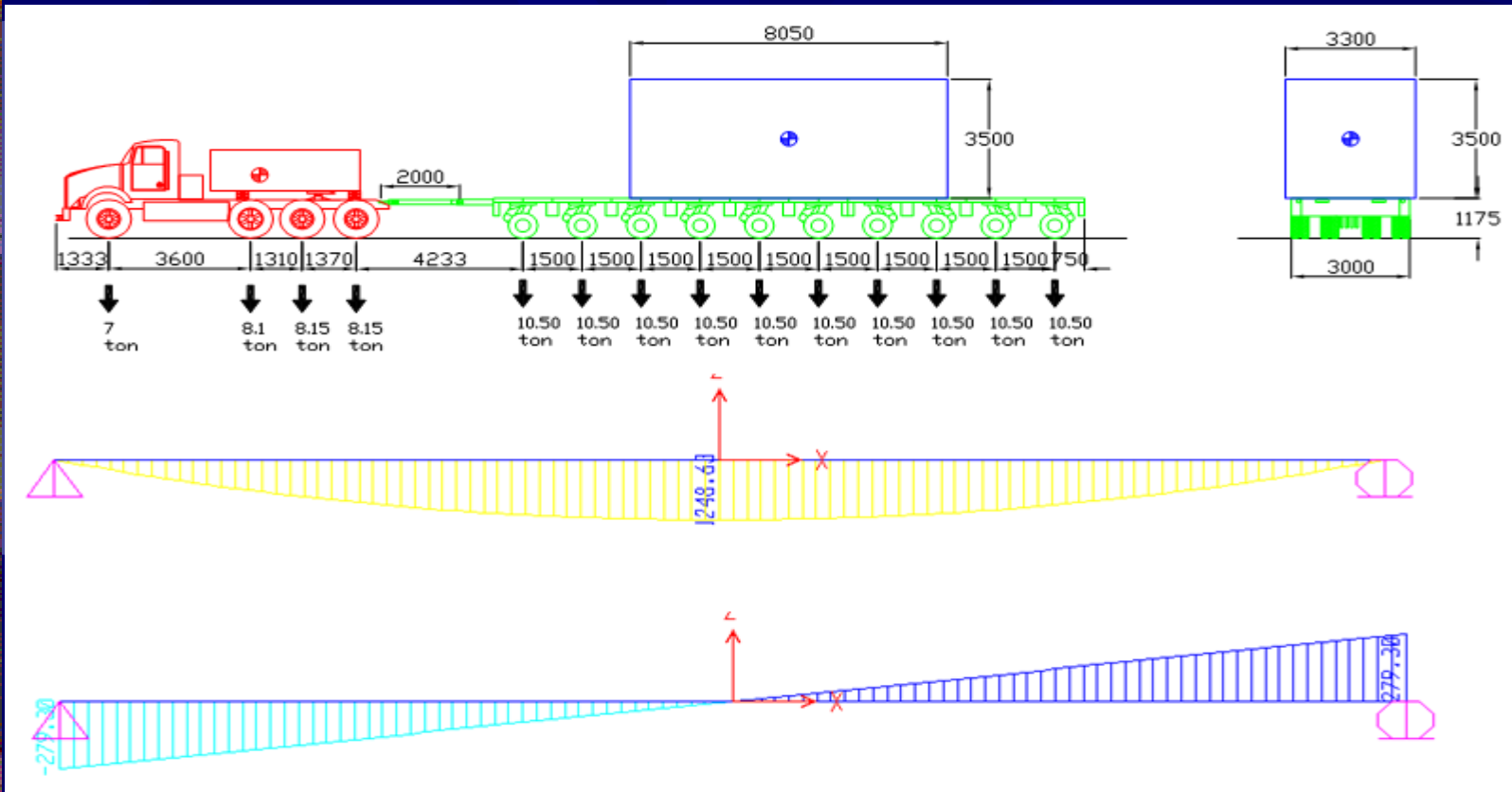
Puente El Mirador

Carretera Chimbote - Huallanca
Oct - 2010



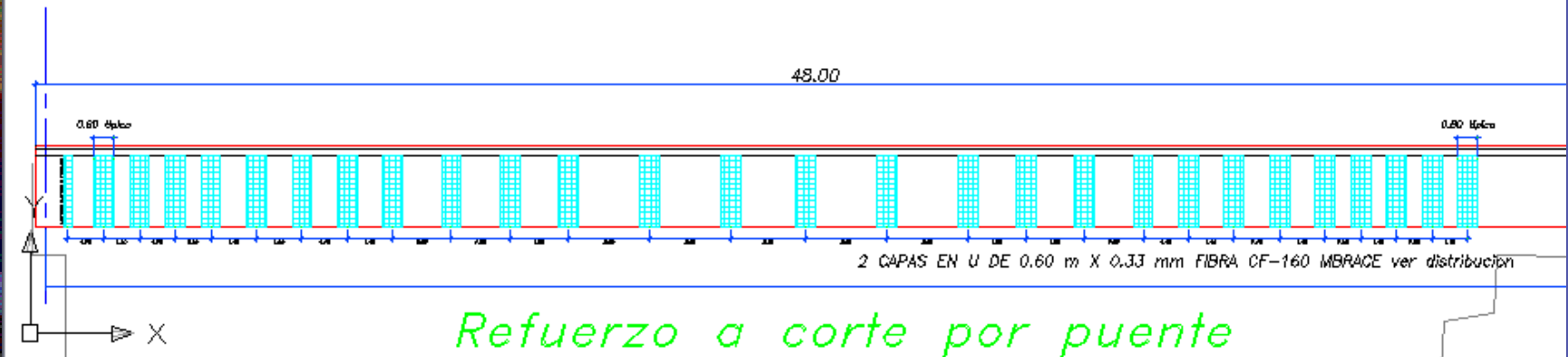
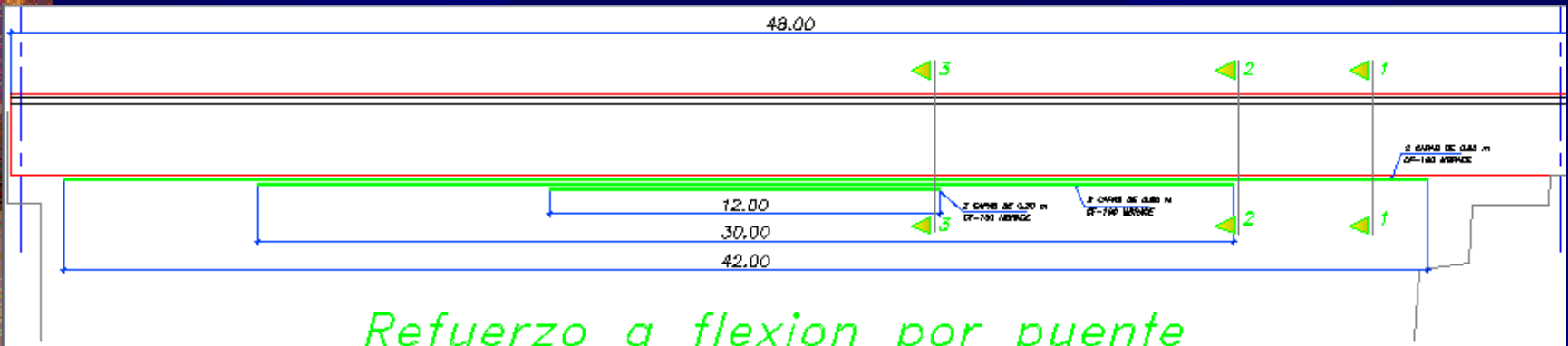
Puente El Mirador

Incremento de Esfuerzos por Carga Extraordinaria

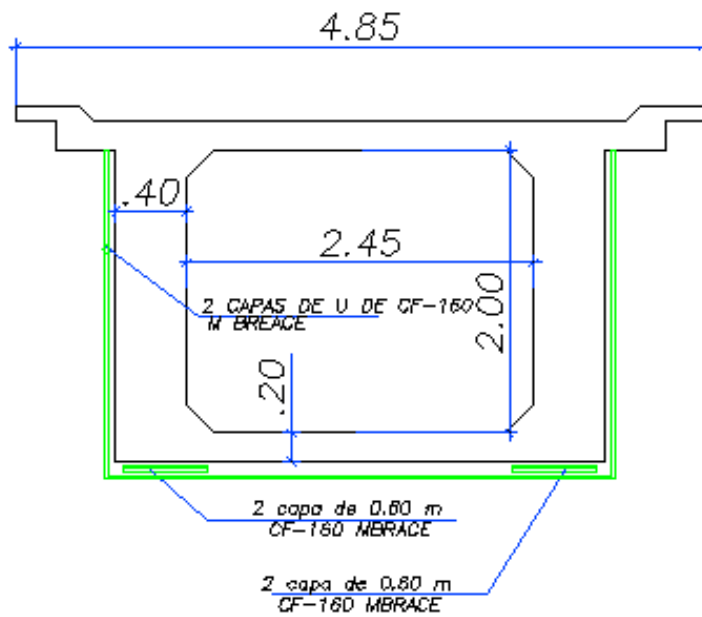


Diseño: Ing. F. Pozo - Sistema Platinas FRP Precuradas
Alternativa: Laminados In Situ (Mbrace) W. Baca

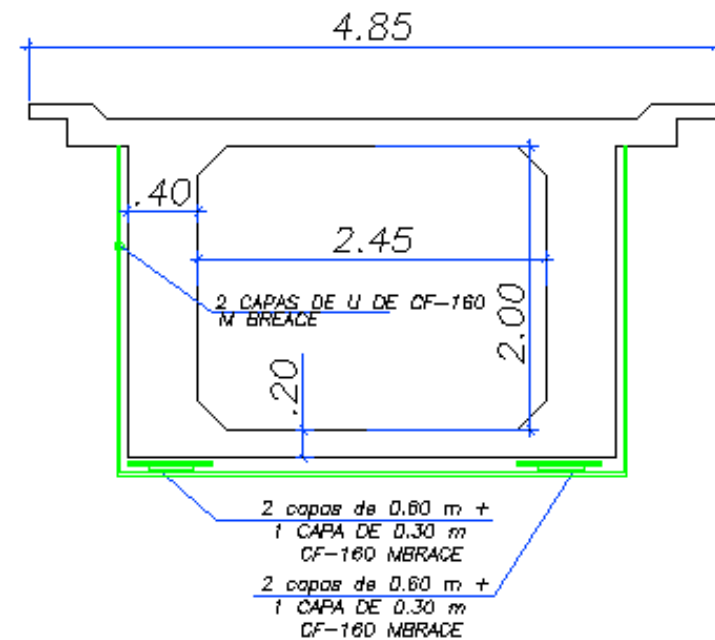
Proyecto de Reforzamiento - Puente El Mirador.



Esquema de Reforzamiento. Por Flexión y Cortante



Seccion 2



Seccion 3

Reforzamiento del Puente El Mirador



Preparación Sustrato Aspirado de Polvo - Imprimación

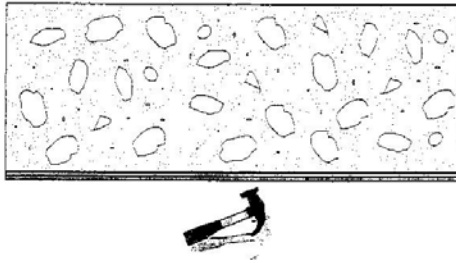
Reforzamiento Puente El Mirador



Colocación de Refuerzo Flexion Cortante – Recubrimiento Anti UV - Pull Off

Control de Calidad

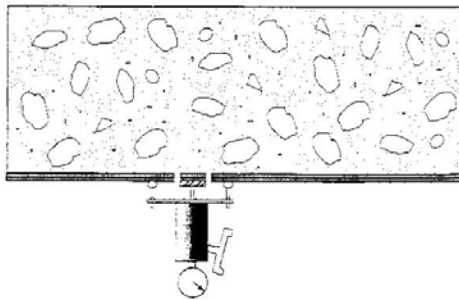
STEP 13: QUALITY CONTROL



13A

Tap Test

- Perform acoustic tap test to check for voids or delaminations (after 24 hours cure).
- Note tap test results on daily field report.



13B

Adhesion Test

- Perform direct tensile adhesion test (Kenkenshiki method).
- Note adhesion test results on daily field report.

Inspección Visual

Sonido

Pull Off
(Adhesión)
14 kg/cm²



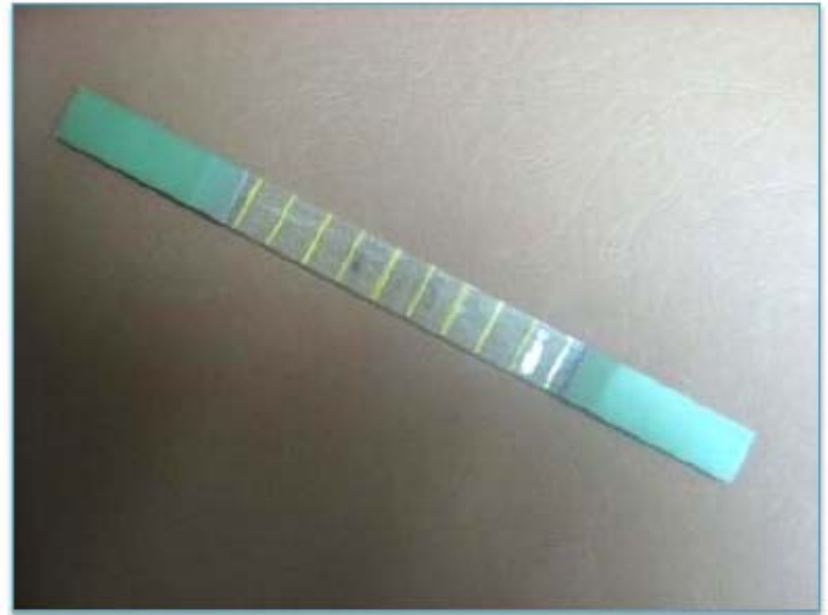
Control de Calidad



Para verificar la correcta aplicación del refuerzo se realiza la prueba de Pull Off (Adherencia a la tensión) según ASTM D4541. El esfuerzo mínimo debe ser de 14 kg/cm² a la tensión. La falla debe ser en el concreto.

Ensayos de Tensión

ESPECIMENES DE PRUEBAS DE TENSION



LOS ESPECIMENES DE PRUEBA DEBERAN SER CORTADOS DE LAS MUESTRAS Y SER PROBADOS AL ESFUERZO ULTIMO DE TENSION, EL MODULO DE TENSION Y EL PORCENTAJE DE ELONGACION COMO SE ESPECIFICA EN LA NORMA ASTM D3039, EN LA DIRECCION LONGITUDINAL DE LA FIBRA.



MUCHAS GRACIAS

Ing. William Baca Escobar

wbaca@constructorarf.com.pe

wbaca@topconsult.com.pe