



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

ESPE



DEPARTAMENTO  
DE CIENCIAS DE LA  
TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN



**TEMA: ESTUDIO DE UNIONES VIGA COLUMNA REFORZADAS CON CFRP EN ESTRUCTURAS DE HASTA CUATRO PISOS DE ALTO, MODELACIÓN DE UNA UNIÓN EN MATLAB, Y ENSAYO PRÁCTICO DE UNA UNIÓN.**

**AUTOR: TAPIA MAZÓN WILLY RICARDO**  
**DIRECTOR: ING. CAIZA SANCHEZ PABLO ENRIQUE PhD.**

2016

# CONTENIDO

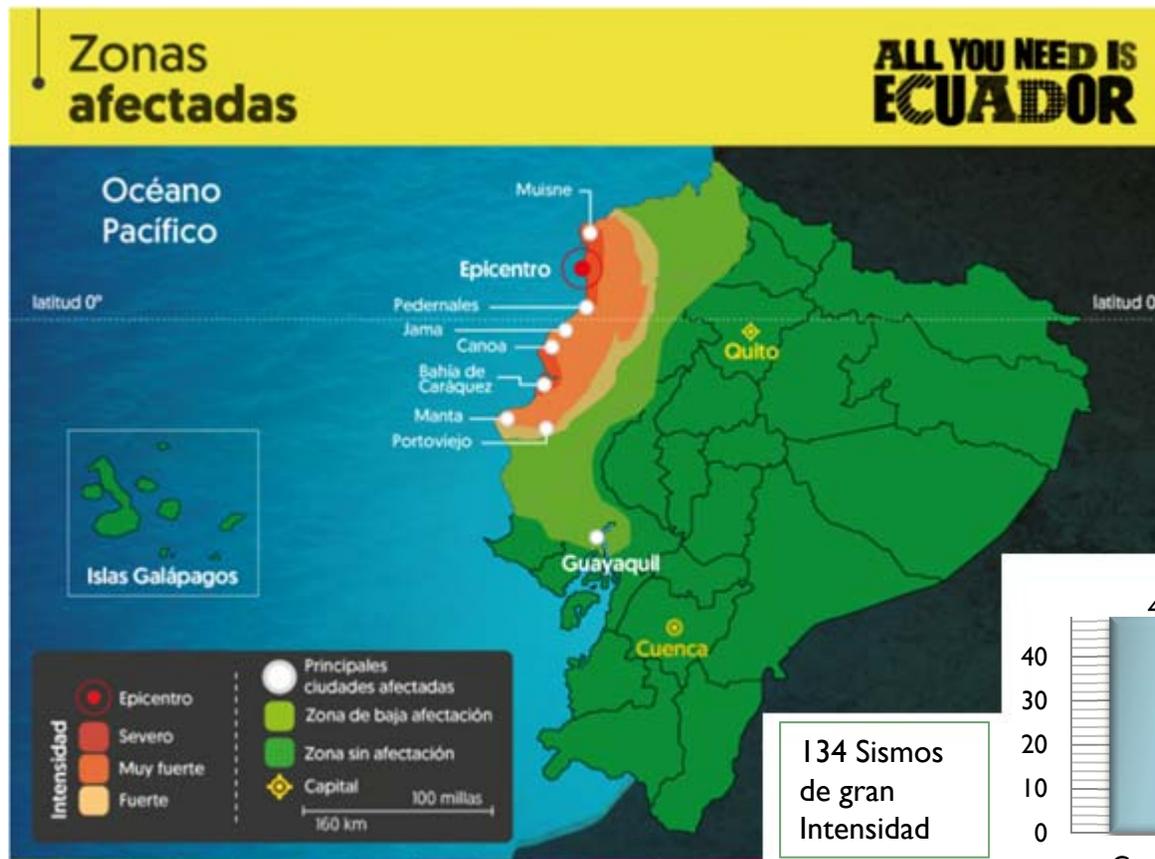
---

- ▶ **INTRODUCCIÓN.**
  - ▶ Estudio del Arte.
- ▶ **ESTUDIO UNIÓN VIGA-COLUMNA.**
  - ▶ Ensayo Practico.
  - ▶ Características de los materiales que serán utilizados en la elaboración del Ensayo.
  - ▶ Proceso constructivo.
  - ▶ Análisis de la probeta antes del reforzamiento.
  - ▶ Preparación de la probeta para el reforzamiento.
  - ▶ Etapas de reforzamiento.
  - ▶ Problemas potenciales en una junta.
  - ▶ Comportamiento de elementos viga y columna que llegan al nudo.
  - ▶ Problemas potenciales en la conexión antes y después del refuerzo
  - ▶ Análisis de la probeta después del reforzamiento.
- ▶ **EJEMPLO.**
- ▶ **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**



# Introducción.

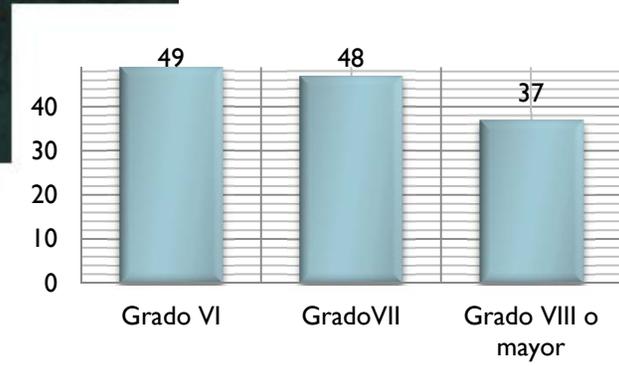
▶ Historia sísmica del Ecuador:



Ecuador

Historia  
458 años

134 Sismos de gran Intensidad



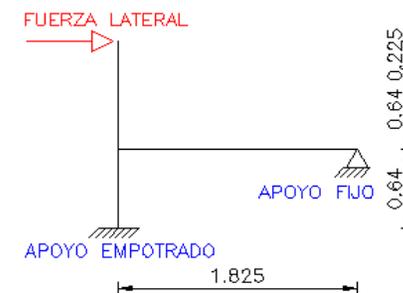
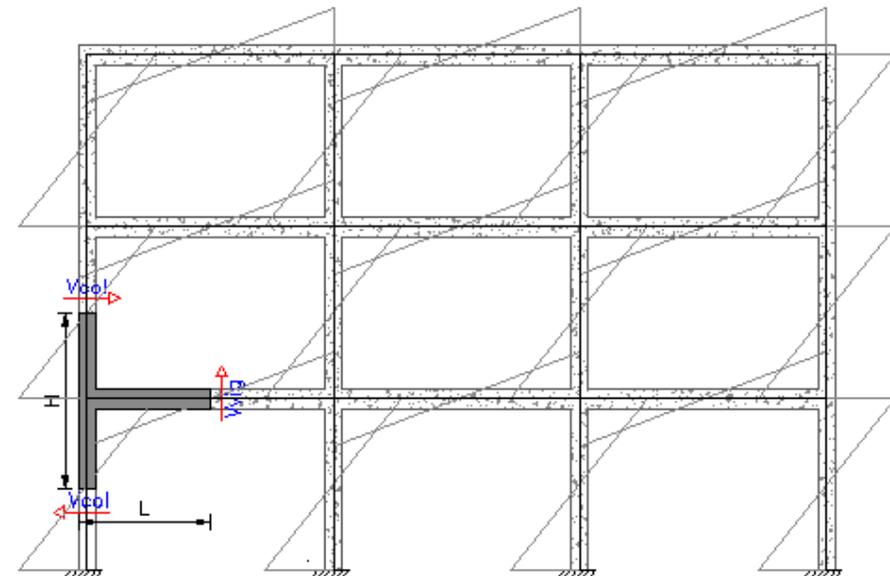
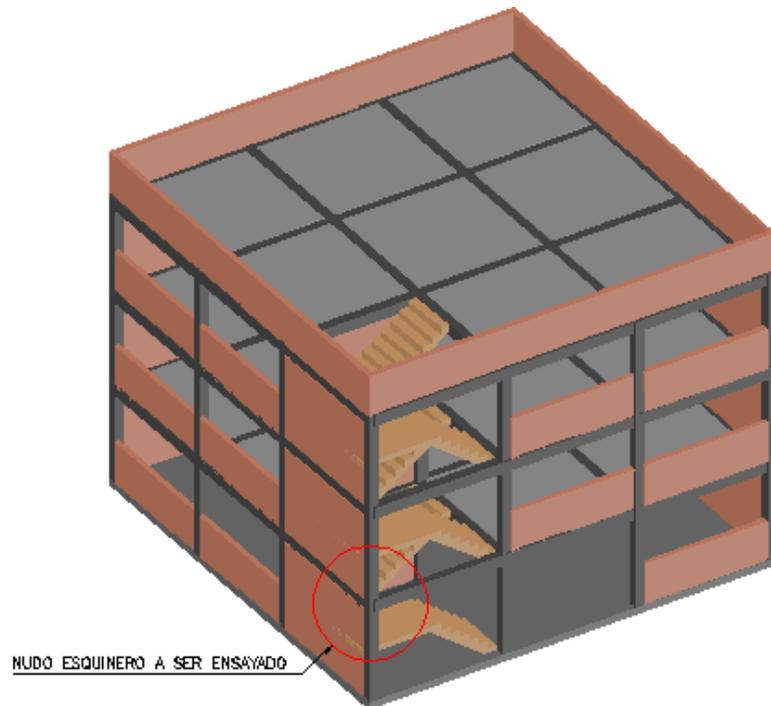
## Estudió del Arte

### ► Estructuras vulnerables.



## Ensayo Práctico

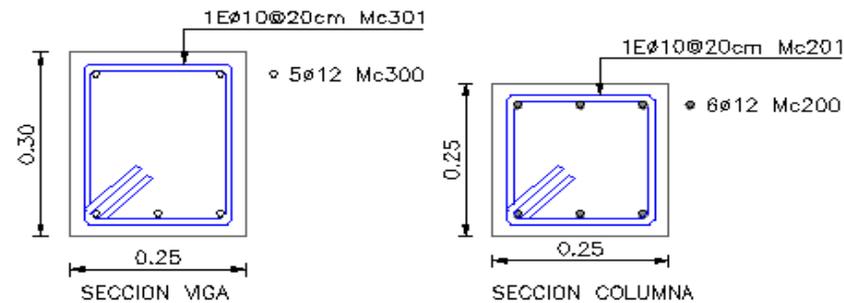
### ► Modelo matemático



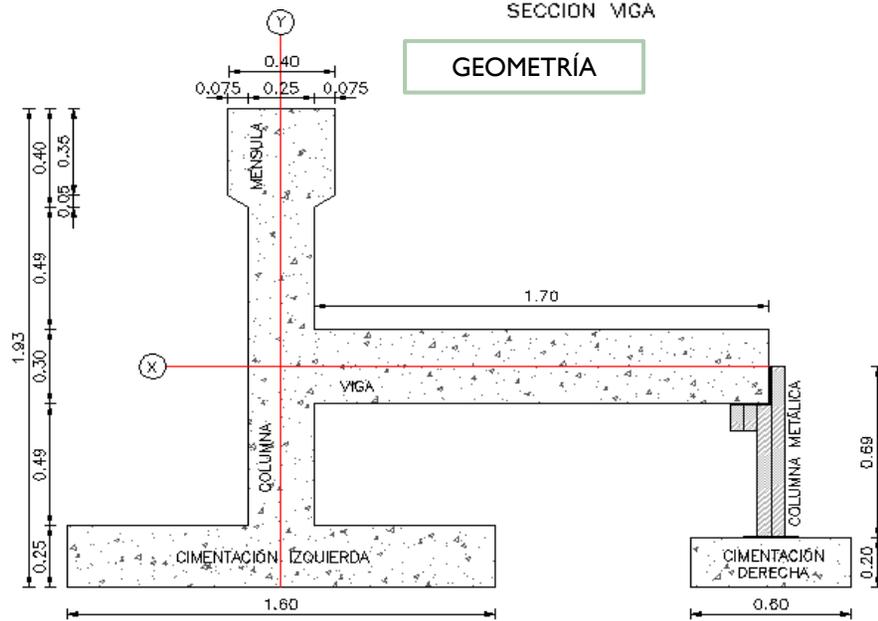
# Ensayo Práctico

## ▶ Geometría y Armadura

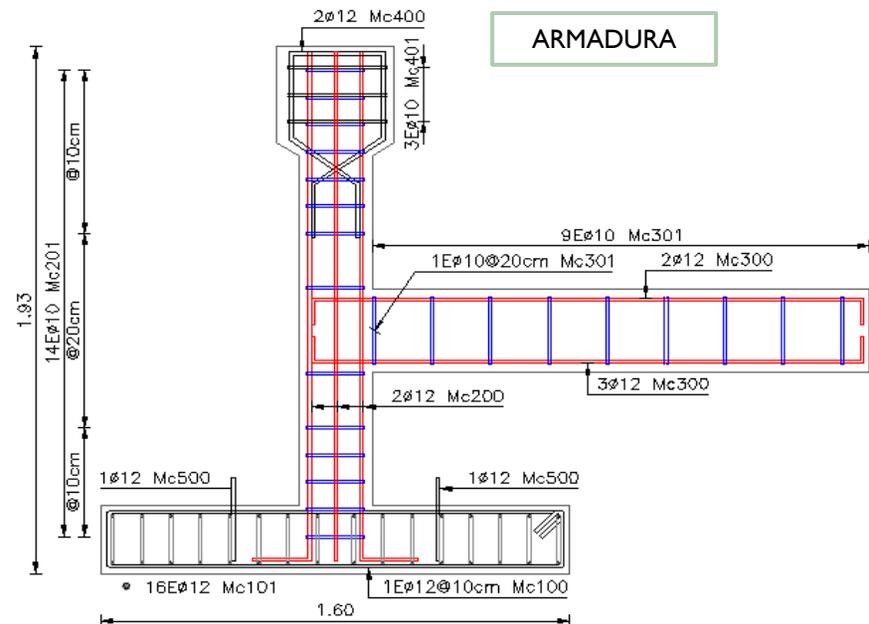
### VIGA FUERTE-COLUMNA DÉBIL



### GEOMETRÍA



### ARMADURA



# Características de los materiales que serán utilizados en la elaboración del Ensayo.

## ▶ Resistencia del hormigón a compresión.

Granulometría	Absorción de agua	
Masa Unitaria	Porcentaje de huecos	
Densidad	Humedad superficial	

$a/c=0.59$

$f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

$f'c=180.28 \text{ kg/cm}^2$

## ▶ Fluencia del Acero de Refuerzo.

4EØ10mm  
 $f_y=4893,68 \text{ kg/cm}^2$

4EØ12mm  
 $f_y=4758,43 \text{ kg/cm}^2$

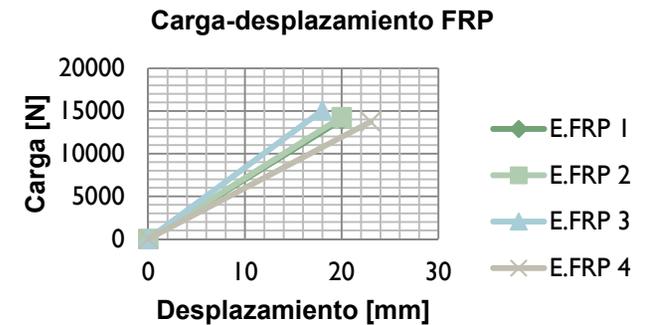
Fabricante:  $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$ .  
Ensayos:  $f_y=4826.06 \text{ kg/cm}^2$ .

## ▶ Ensayo de Tracción de la fibra de carbono.

Fabricante:  
 $E_f=69,6 \text{ GPa}$

↓

Ensayos:  
 $E_f=75,95 \text{ GPa}$



## Proceso constructivo

1



2



3



4

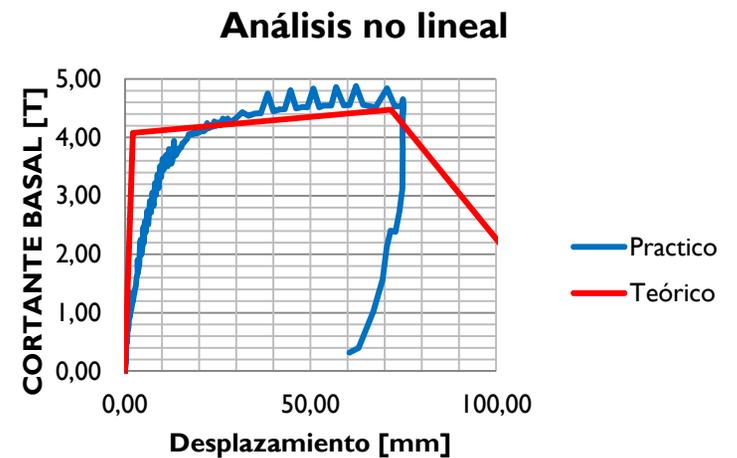


## Análisis de la probeta antes del reforzamiento

MODELO ETABS VS ENSAYO PRÁCTICO



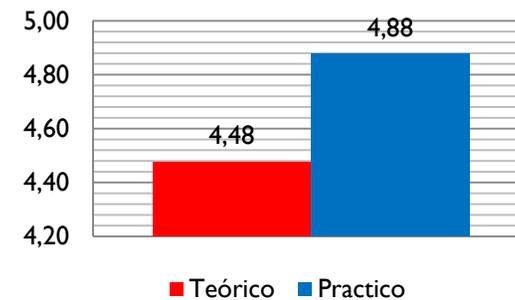
CURVA DE CAPACIDAD



RÓTULA PLÁSTICA



Porcentaje de diferencia: 9%



## Preparación de la probeta para el reforzamiento

1



2



3



4



5

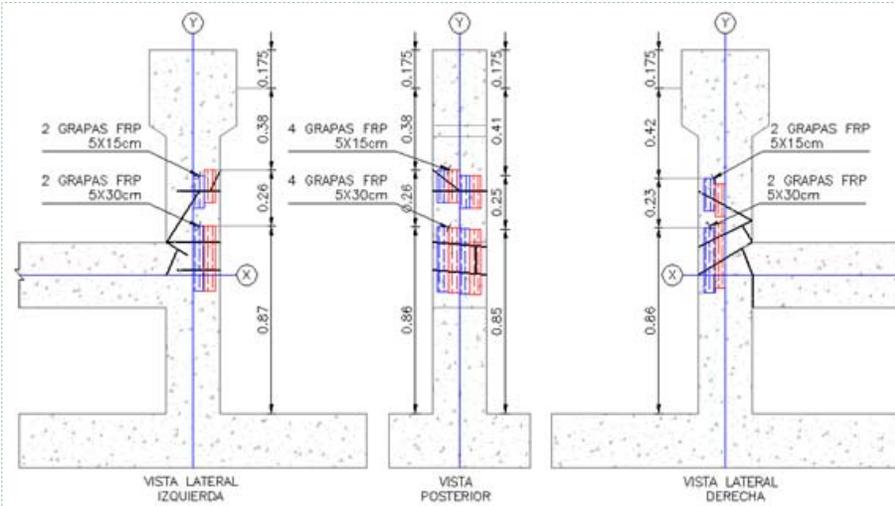


6

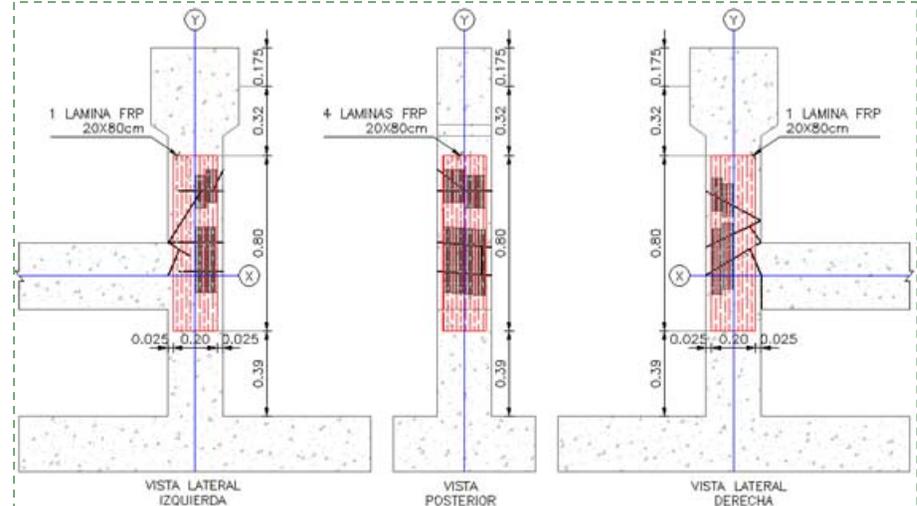


# Etapas de reforzamiento

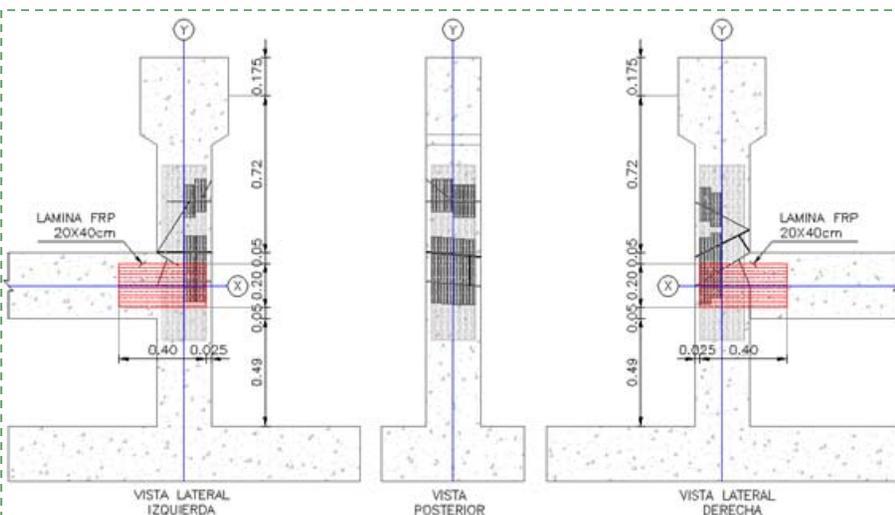
## GRAPAS



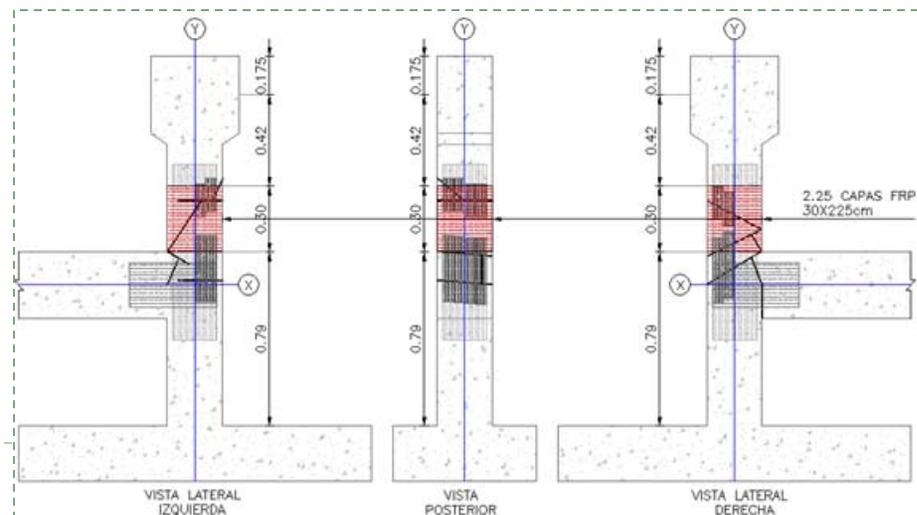
## FLEXIÓN COLUMNA



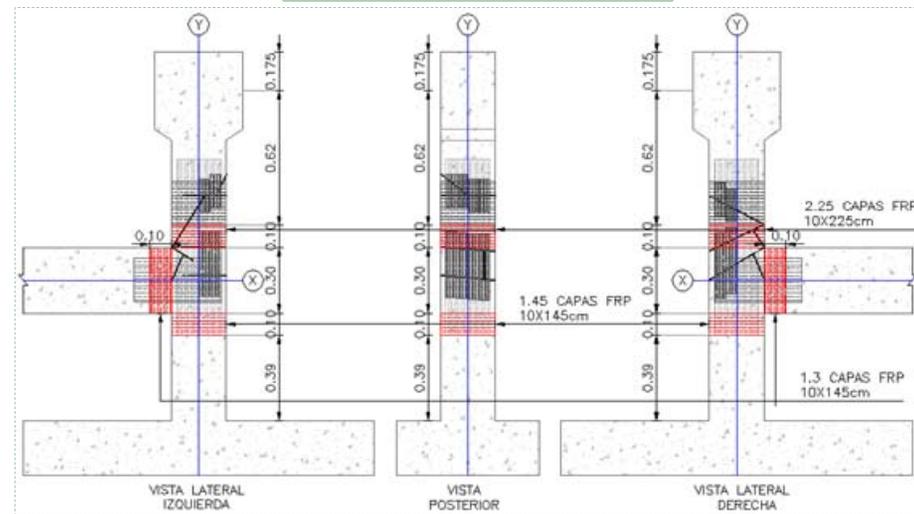
## FLEXIÓN VIGA



## CONFINAMIENTO COLUMNA

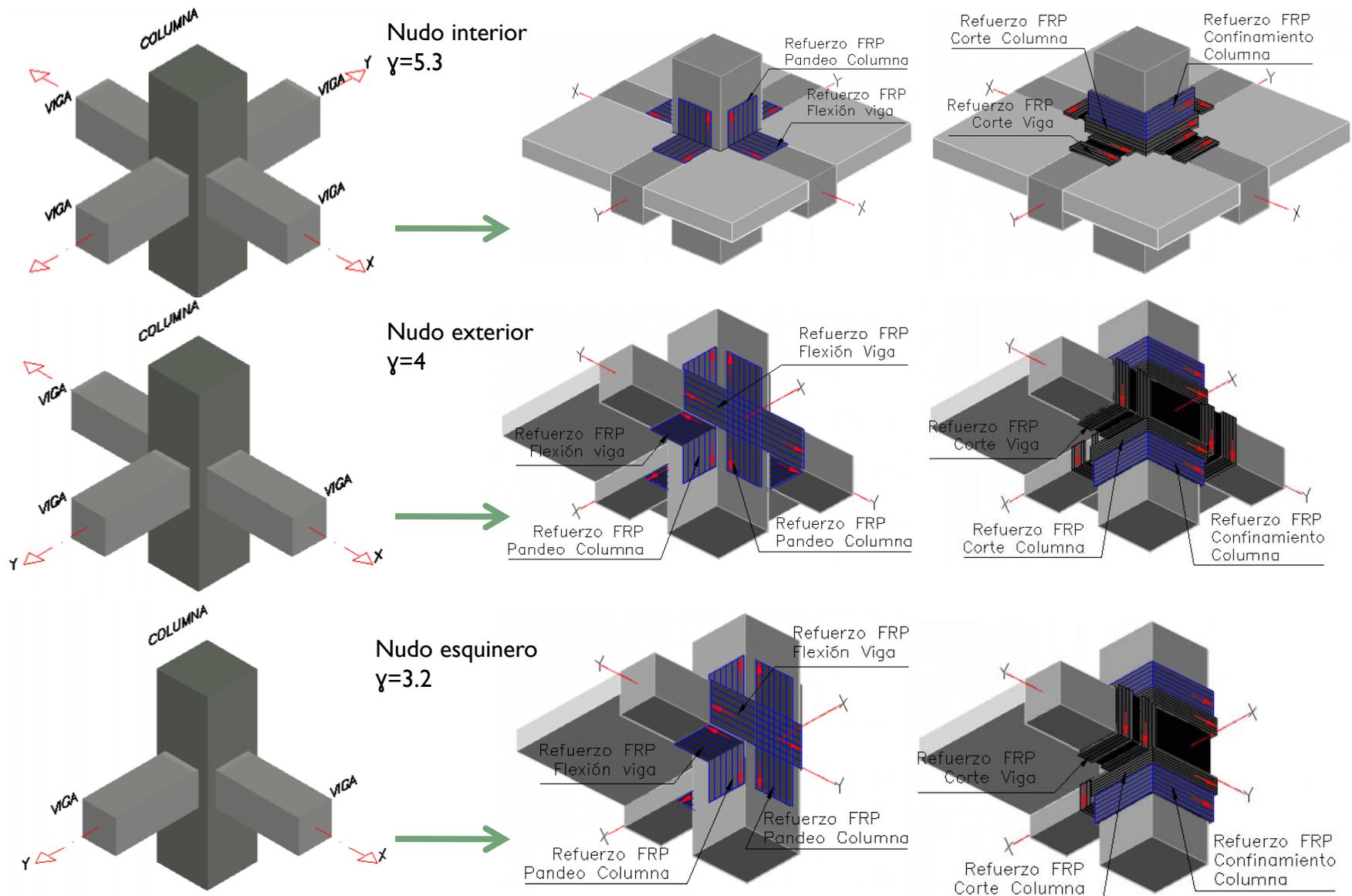


## CORTE VIGA Y COLUMNA





## Problemas potenciales en una junta

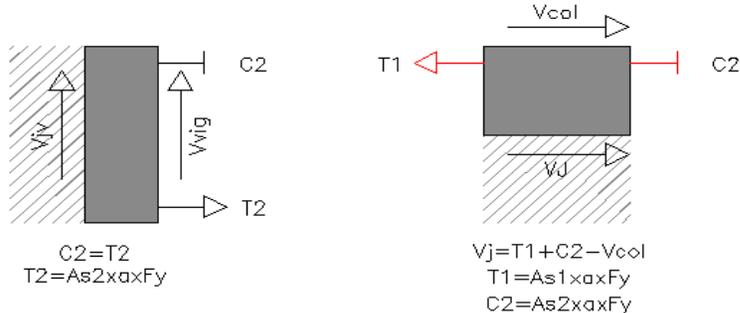


# Control del cortante horizontal

$$\phi V_n \geq V_j$$

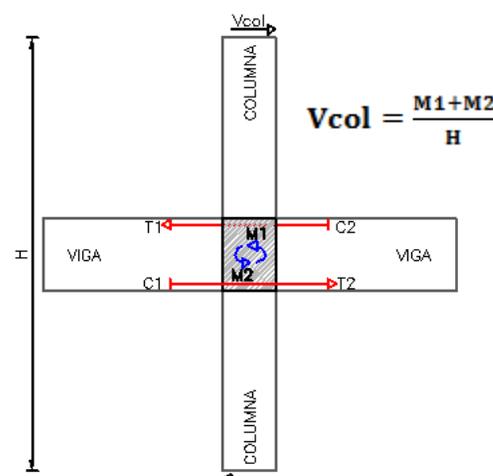
## Resistencia al Cortante horizontal aplicado al nudo

### Antes del refuerzo

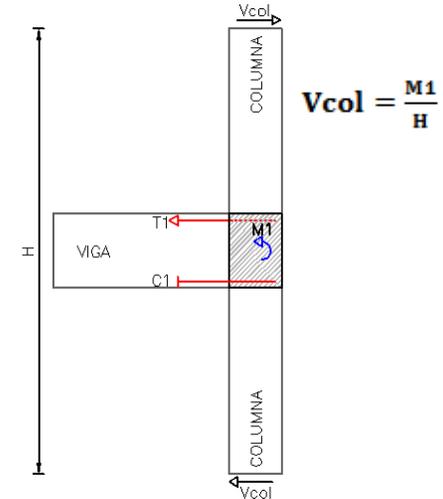


$$M1 = A_s1 \times \alpha \times F_y \times \left( d - A_s1 \times \alpha \times \frac{F_y}{1.7 \times f' \times e \times b} \right)$$

$$M2 = A_s2 \times \alpha \times F_y \times \left( d - A_s2 \times \alpha \times \frac{F_y}{1.7 \times f' \times e \times b} \right)$$

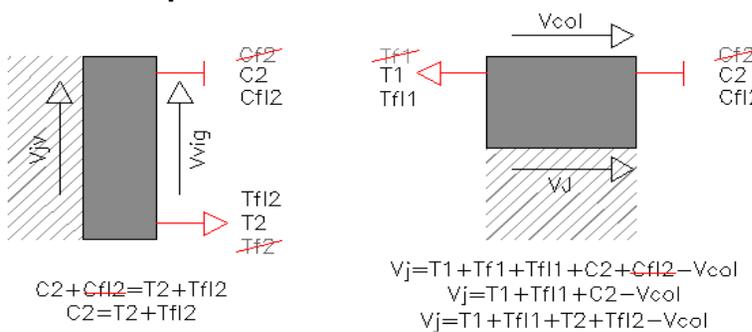


$$V_j = T1 + C2 - V_{col}$$



$$V_j = T1 - V_{col}$$

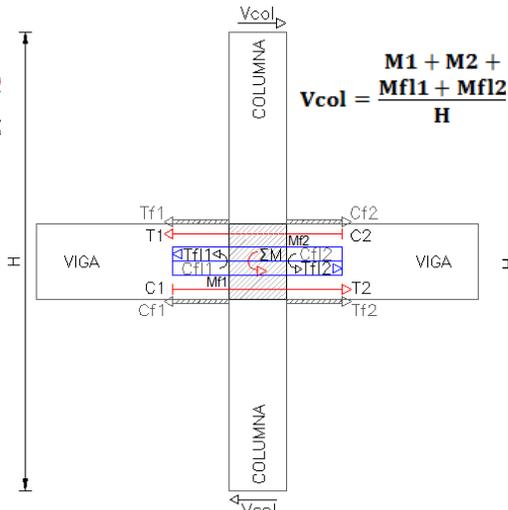
### Después del refuerzo



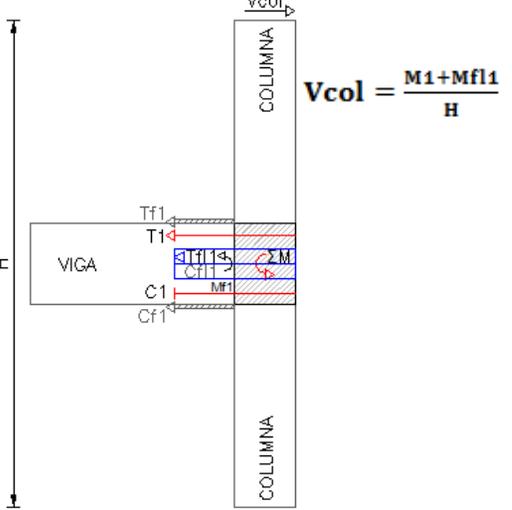
$$Tf11 = Tf12 = f_{fet} \times n_l \times t_f \times hit_f$$

$$MTf11 = \sum Tf11 \times \left[ \left( \frac{h}{2} - (h - c) \right) - y_{tf} \right]$$

$$MTf12 = \sum Tf12 \times \left[ \left( \frac{h}{2} - (h - c) \right) - y_{tf} \right]$$



$$V_j = T1 + Tf11 + C2 + Tf12 - V_{col}$$



$$\Sigma M = M1 + Mf1$$

$$V_j = T1 + Tf11 - V_{col}$$

## Control del cortante horizontal

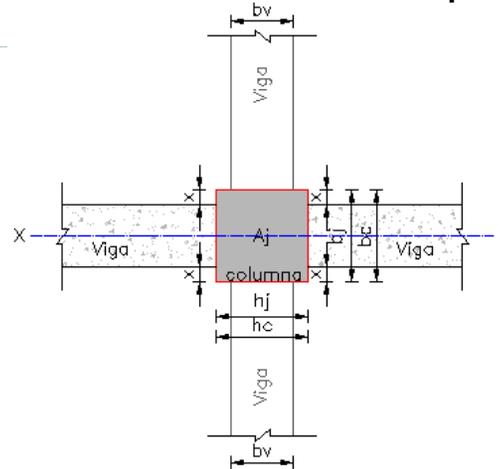
### Resistencia al Cortante horizontal resistido por el nudo

▶ Área efectiva

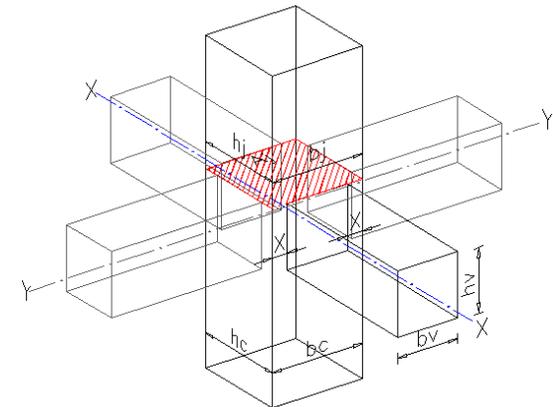
$A_j = b_j \times h_j$



$h_j = h_c$   
 $b_j = b_v + h_j$   
 $b_j = b_v + 2 \times X$



$V_n = \gamma \times \sqrt{f'c} \times A_j$



## Control del cortante Vertical

$V_{jv} < V_j$

### Resistencia al Cortante vertical aplicado al nudo

▶ Antes del refuerzo

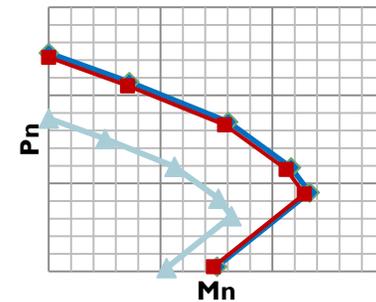
$V_{jv} = V_j \times \left(\frac{h_v}{h_c}\right)$

▶ Después del refuerzo

$\frac{h_v}{h_c} < 1 - \%reducción \rightarrow hc2 = \frac{V_j \times h_v1}{V_{jv}}$

$V_{jv} = V_j \times (1 - \%reducción)$

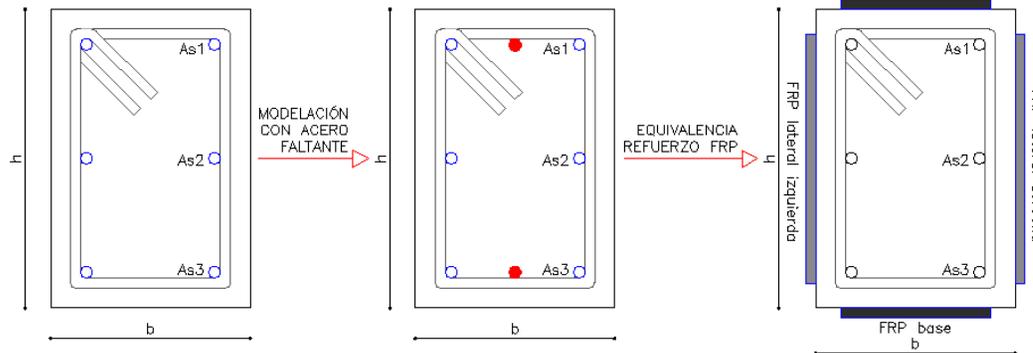
### Curvas de Interacción



### Resistencia al Cortante vertical resistido por el nudo

▶ Antes del refuerzo

▶ Después del refuerzo



## Control de deterioro de adherencia

▶ **Antes del refuerzo.**

$$\alpha \times f_y$$

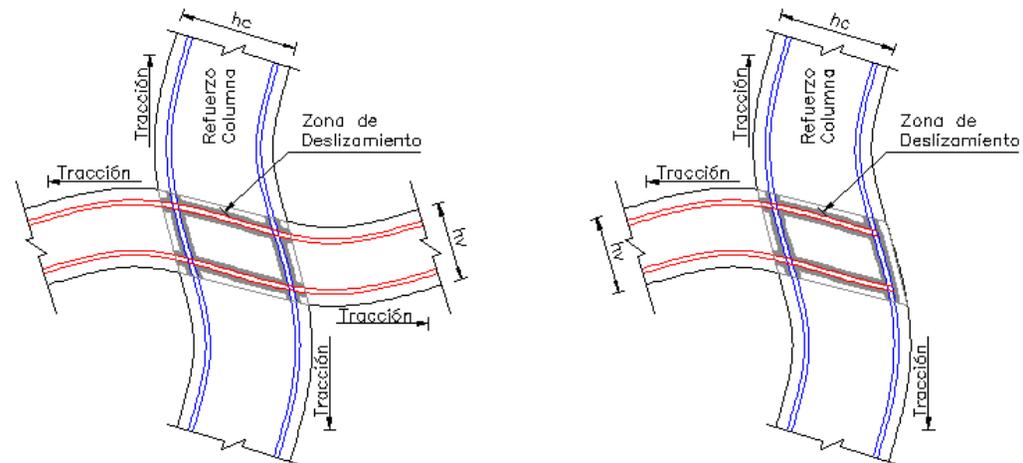
$$h_c > 20 \varnothing_{\text{viga}}$$

$$h_v > 20 \varnothing_{\text{columna}}$$

Gancho anclaje 90° min 12∅.

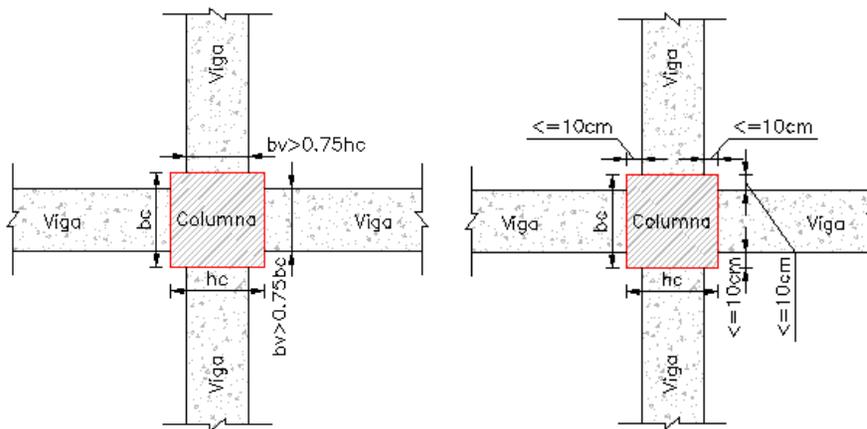
▶ **Después del refuerzo.**

$$e_{st} < e_{sy} \rightarrow e_{sy} = f_y / E_s$$



## Refuerzo de confinamiento

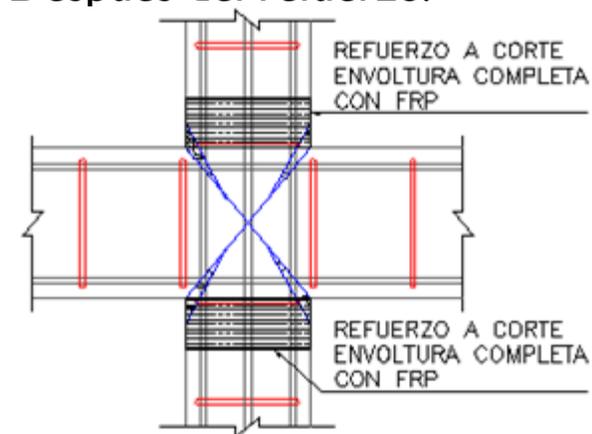
▶ **Antes del refuerzo**



$$A_{sh} = 0.3 \times \frac{Sh \times h \times f_c}{f_y} \times \left[ \left( \frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right] \quad A_{sh} = 0.09 \times \frac{Sh \times h \times f_c}{f_y}$$

▶ 
$$Sh = \min \left[ \frac{bc}{4}; \frac{hc}{4}; 6 \times \varnothing_{col}; 15cm \right]$$

▶ **Después del refuerzo.**



$$A_v = A_{sh}, \quad s = sh, \quad V_s = \frac{A_v \times f_y \times [\text{seno}(\alpha) + \text{coseno}(\alpha)] \times d}{s}$$

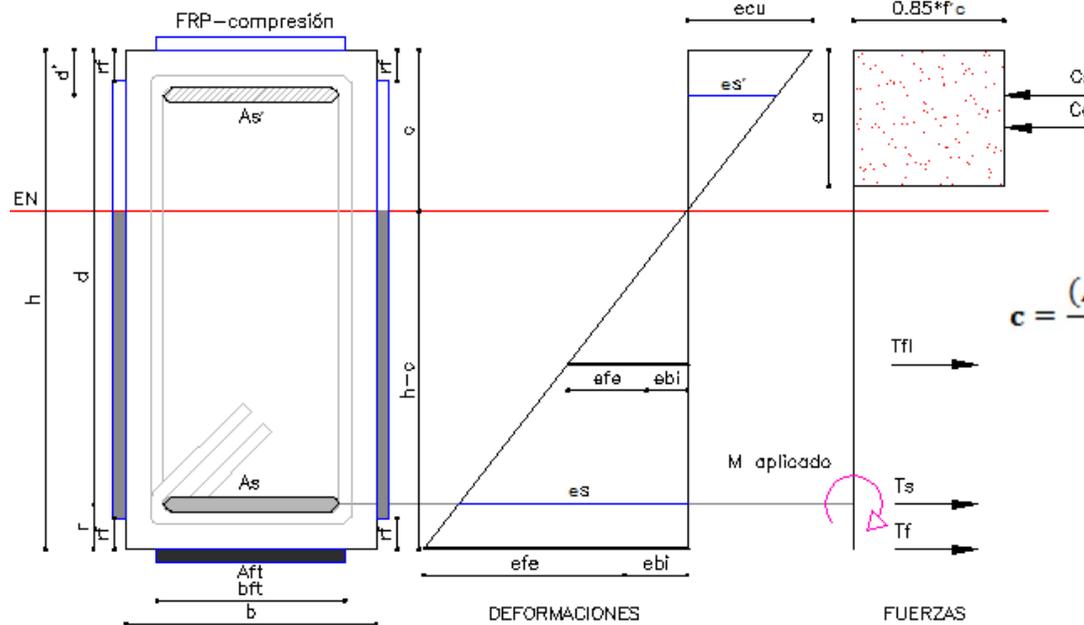
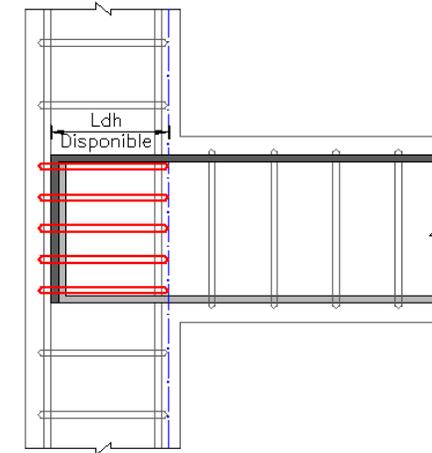
$$V_f = V_s, \quad A_{fv} = \frac{V_f \times s_f}{f_{fe} \times [\text{seno}(\alpha) + \text{coseno}(\alpha)] \times d_{vf}}$$

Longitud de anclaje  $l_{dh_{req}} < l_{dh_{disp}}$

▶ Antes del refuerzo  $l_{dh_{disp}} > \max\left(l_{dh_{req}} = \frac{f_y \times \phi_v}{17.2 \times \sqrt{f'_c}}; 8\phi_v; 150\text{mm}\right)$

▶ Después del refuerzo  $es_y = \frac{f_y}{E_s} \rightarrow est < es_y \rightarrow fs = est \times Es$

$$l_{dh_{req}} = \frac{fs \times \phi_v}{17.2 \times \sqrt{f'_c}}$$



$$c = \frac{(As - As') \times f_y + Tf + f_{fetl} \times nl \times tf \times (h - rf)}{0.85 \times f'_c \times b \times B1 + f_{fetl} \times nl \times tf}$$

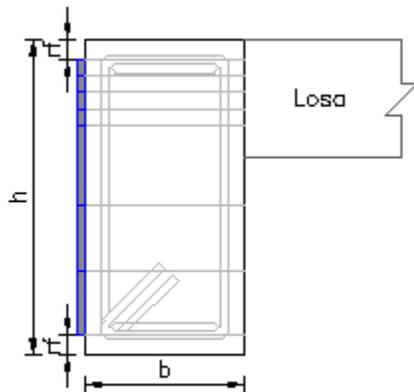
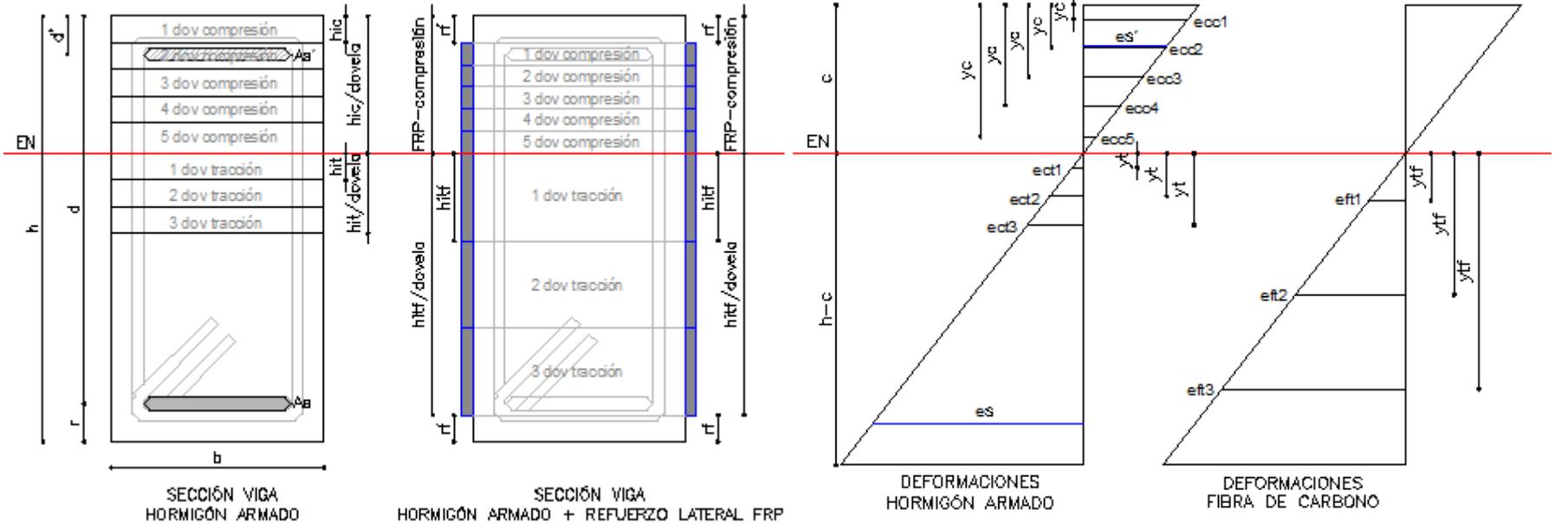
$$Ts = Cc + Cs - Tf - Tfl$$

$$fs = Ts / As$$

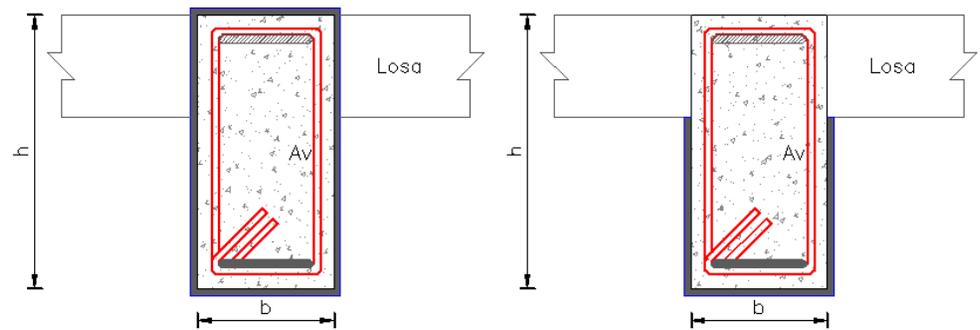
$$Cc = \frac{M_{aplicado} - Cs(d - d') - Tf \times d' + Tfl \times \left(\frac{h - c - 2 \times d' + rf}{2}\right)}{d - (a/2)}$$

# Comportamiento de elementos viga y columna que llegan al nudo.

## ► Comportamiento de vigas



► Refuerzo lateral en una cara.



ENVOLTURA COMPLETA

ENVOLTURA EN U



# Comportamiento de elementos viga y columna que llegan al nudo.

## Resultados Ensayo.

VIGA

MOMENTO RESISTENTE [T.m]			
Flexión fibras superiores		Flexión fibras inferiores	
ANTES DEL REFUERZO	DESPUES DEL REFUERZO	ANTES DEL REFUERZO	DESPUES DEL REFUERZO
2,47	4,85	3,60	5,74

CORTANTE RESISTENTE [T]	
ANTES DEL REFUERZO	DESPUES DEL REFUERZO
11,03	19,25

COLUMNA

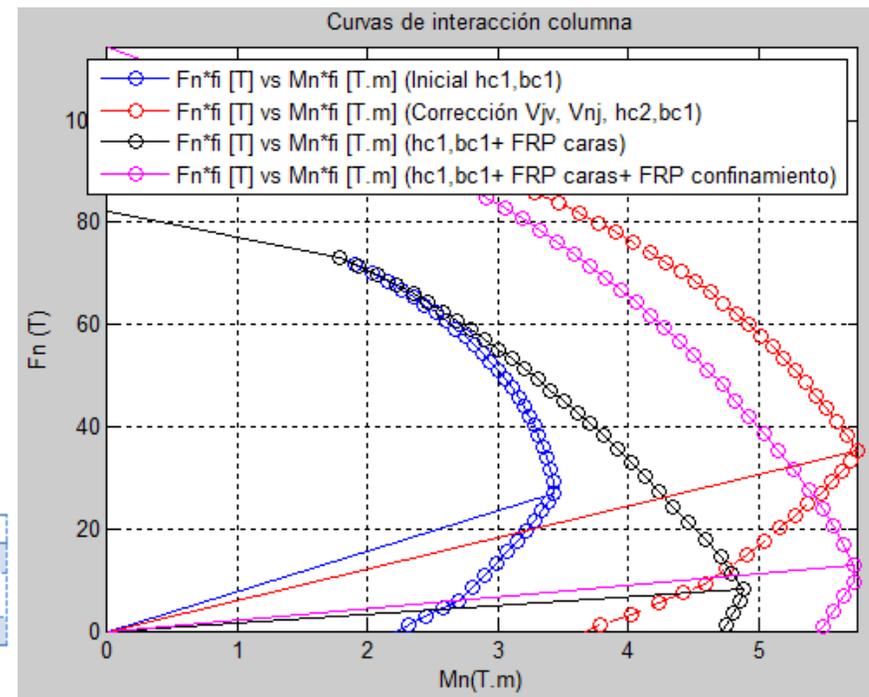
COMPORTAMIENTO DIAGRAMA DE INTERACCIÓN		
ANTES DEL REFUERZO		
C.b. [cm]	$F_n^* \varnothing$ [T]	$M_n^* \varnothing$ [T.m]
12,00	27,08	3,43
COMPORTAMIENTO SIMULADO		
C.b. [cm]	$F_n^* \varnothing$ [T]	$M_n^* \varnothing$ [T.m]
15,08	35,37	5,75
REFUERZO EN CARAS DE COLUMNA		
C.b. [cm]	$F_n^* \varnothing$ [T]	$M_n^* \varnothing$ [T.m]
11,00	8,08	4,89
REFUERZO EN CARAS + CONFINAMIENTO DE COLUMNA		
C.b. [cm]	$F_n^* \varnothing$ [T]	$M_n^* \varnothing$ [T.m]
10,50	12,82	5,74

Columna parte superior	
CORTANTE RESISTENTE [T]	
ANTES DEL REFUERZO	DESPUES DEL REFUERZO
9,68	22,95
Columna parte inferior	
CORTANTE RESISTENTE [T]	
ANTES DEL REFUERZO	DESPUES DEL REFUERZO
8,97	16,71

CONFINAMIENTO				
Sobre resistencia por confinamiento				
$f_c$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	$3,3 \cdot K_a \cdot f_l$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	$f_{cc}$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	$E_c$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	$E_{cc}$ [kg/cm <sup>2</sup> ]
201,91	98,62	300,53	213295,03	260220,49

CONFINAMIENTO + CORTE				
Sobre resistencia por confinamiento				
$f_c$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	$3,3 \cdot K_a \cdot f_l$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	$f_{cc}$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	$E_c$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	$E_{cc}$ [kg/cm <sup>2</sup> ]
300,53	98,62	399,15	260220,49	299891,05

CORTE				
Sobre resistencia por confinamiento				
$f_c$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	$3,3 \cdot K_a \cdot f_l$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	$f_{cc}$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	$E_c$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	$E_{cc}$ [kg/cm <sup>2</sup> ]
180,28	63,55	243,83	201544,86	234392,52



## Problemas potenciales en la conexión antes y después del refuerzo.

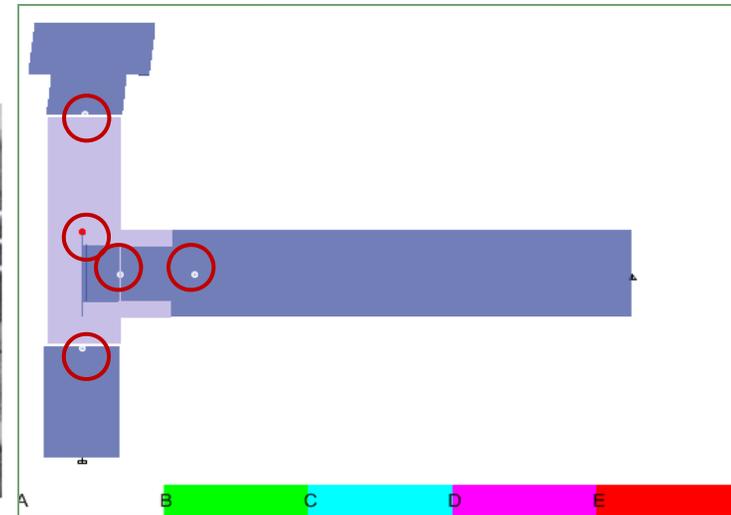
PROBLEMAS POTENCIALES EN CONEXIONES (NUDO ESQUINERO ENSAYO)				
	Control	Antes del refuerzo	Después del refuerzo	Observaciones
<b>Resistencia al contante horizontal</b>	$\emptyset V_n$ [T]	$V_j$ [T]	$V_j$ [T]	Esfuerzo equivalente
	22,826	17,241	17,103	
<b>Resistencia al contante vertical</b>	$V_{jv}$ [T]	$V_j$ [T]	$V_j$ [T]	Esfuerzo equivalente
	20,689	17,241	17,103	
<b>Control de confinamiento</b>	$V_{nv}$ (simetría) N.-Var [u]	N.-Var [u]	N.-Var [u] Equivalente	Esfuerzo equivalente
	8	6	8	
<b>Control de confinamiento</b>	Ash [cm <sup>2</sup> ]	Ast [cm <sup>2</sup> ]	Asf [cm <sup>2</sup> ]	Refuerzo en caras retrasa falla por falta de acero en el núcleo (Refuerzo de columna superior diferente a refuerzo inferior)
	0,614	0,000	4,500 2,900	
<b>Control de confinamiento</b>	Espaciamiento [cm]	Espaciamiento [cm]	Espaciamiento [cm]	El espaciamiento del refuerzo será equivalente a la altura de la viga
	6,25	0,00	30,00	
<b>Control de confinamiento</b>	bv [cm]	0,75bc [cm]	No existe control	Importante que la condición cumpla
	25	18,75		
<b>Longitud de anclaje</b>	l dh disp. [cm]	l dh req. [cm]	l dh req. [cm]	Refuerzo retrasa que el acero fluya
	21	25,077	23,805 23,516	

## Análisis de la probeta después del reforzamiento.

MODELO ETABS VS ENSAYO PRÁCTICO

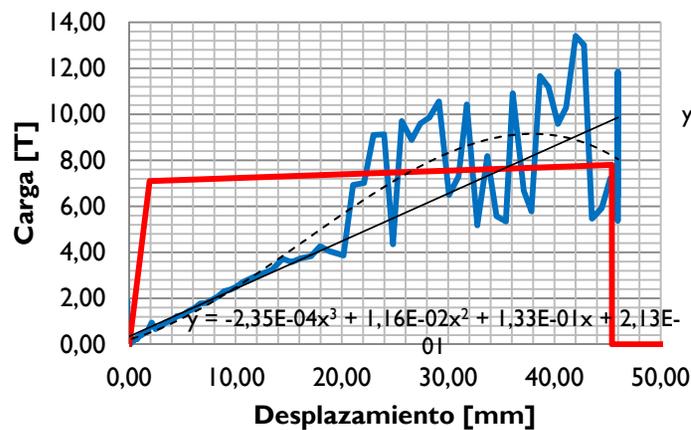


RÓTULA PLÁSTICA



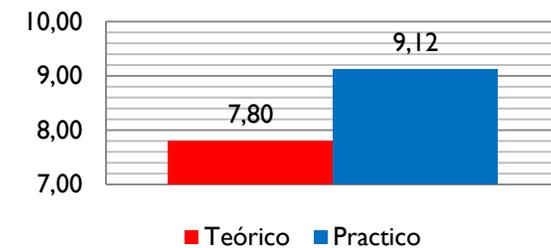
CURVA DE CAPACIDAD

### Análisis no lineal



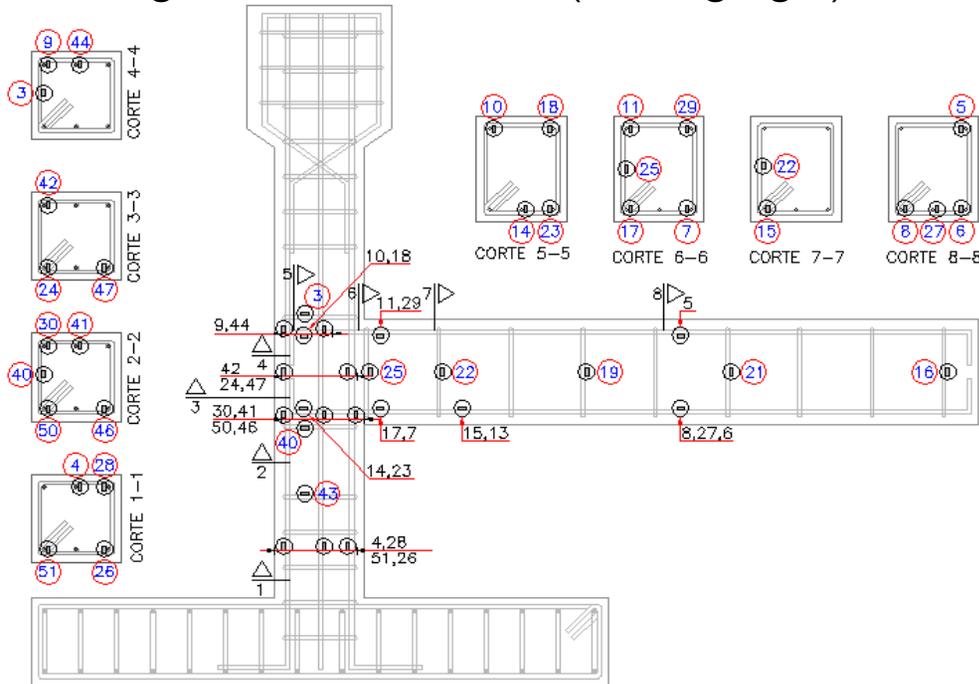
- Practico
- Teórico
- - - - Polinómica (Practico)
- Lineal (Practico)

Porcentaje de diferencia: 17%

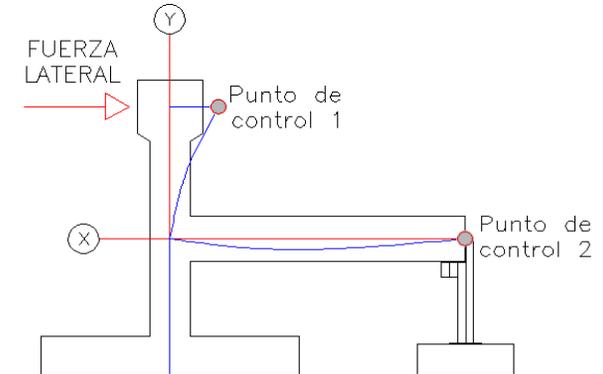


# Sensores antes y después del reforzamiento

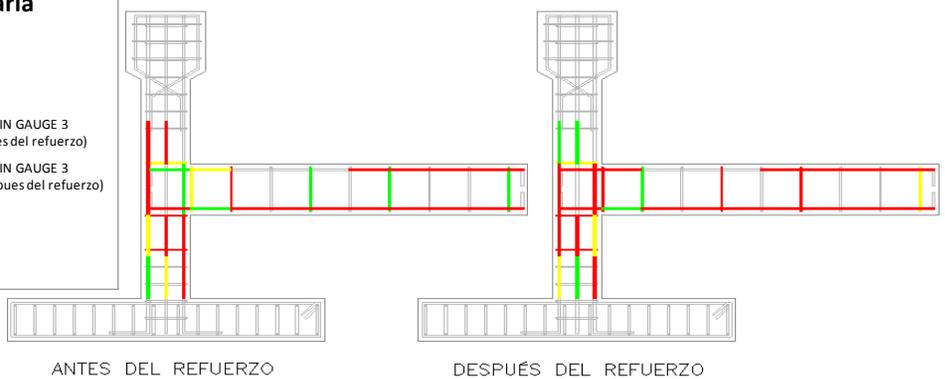
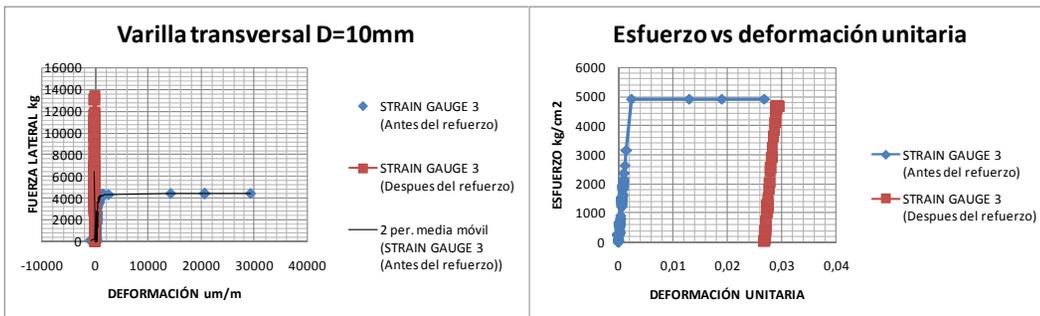
## Galgas extensiométricas (Strain gauges).



## Sensores LVDT

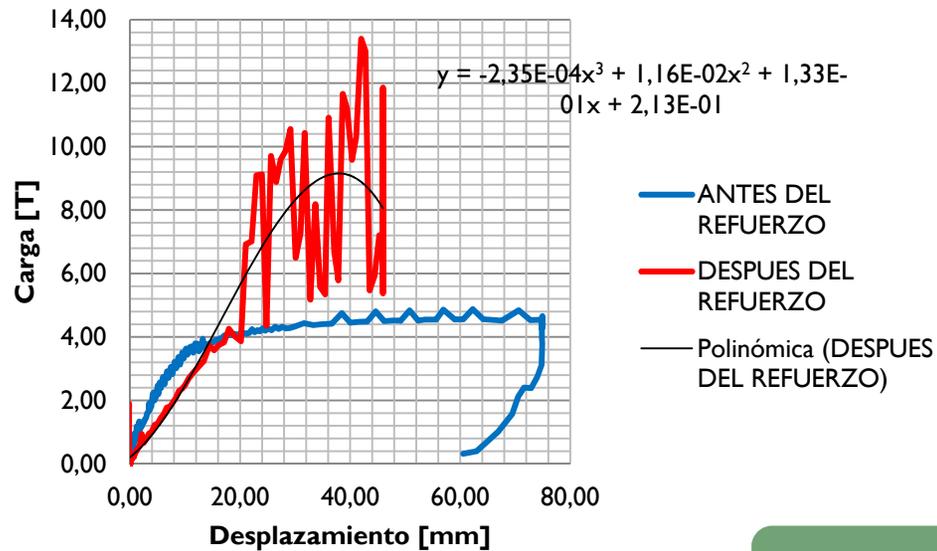


Punto de control	Ensayo Practico Antes del refuerzo [mm]	Ensayo Practico después del refuerzo [mm]
1	8.25	45.97
2	0.68	9.41



# Conclusiones y recomendaciones (ENSAYO)

## Análisis no lineal

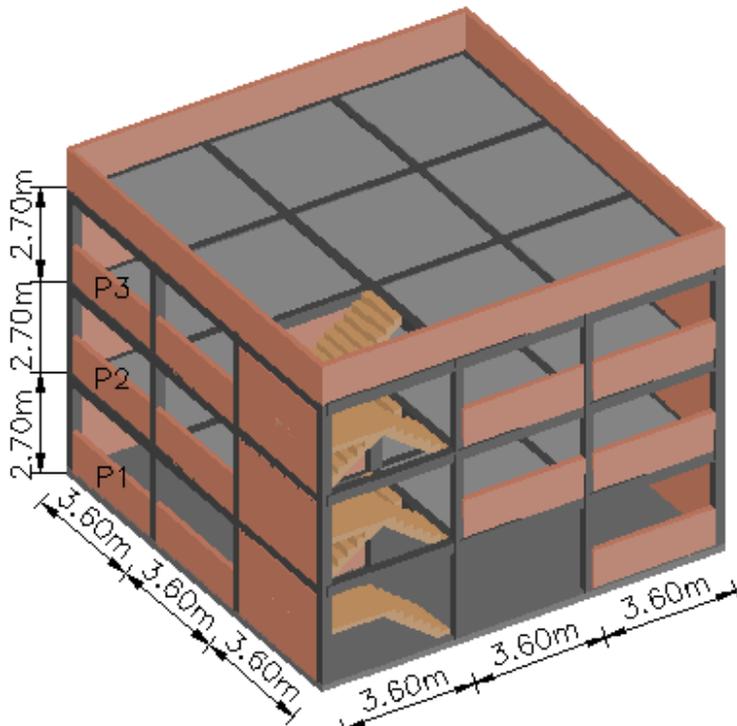


RESISTENCIA INICIAL		
CARGA MAX=	4,88	T
PUNTOS DISPERSOS		
CARGA MAX=	13,40	T
INCREMENTO %=	174,71	%
LÍNEA DE TENDENCIA		
CARGA MAX=	9,12	T
INCREMENTO %=	87,07	%

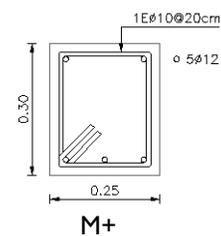
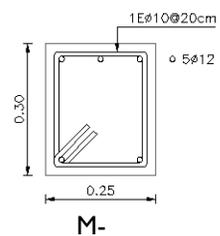
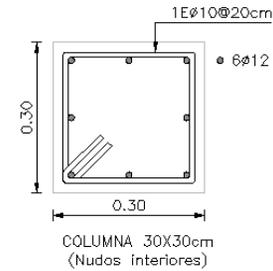
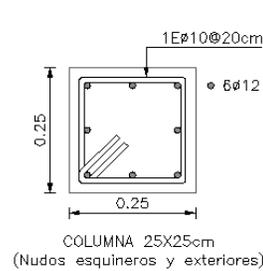


# Ejemplo

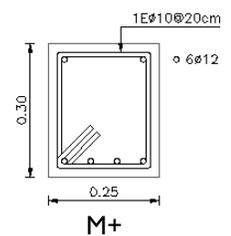
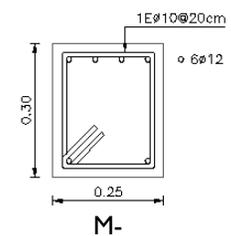
- ▶ Características de los materiales y características de sitio.



Características de la Estructura		
$f'c=$	210	kg/cm <sup>2</sup>
$f_y=$	4200	kg/cm <sup>2</sup>
Suelo:	Tipo C	
Ubicación:	Sierra Ecuatoriana	
Importancia:	1	



Armadura Vigas exteriores

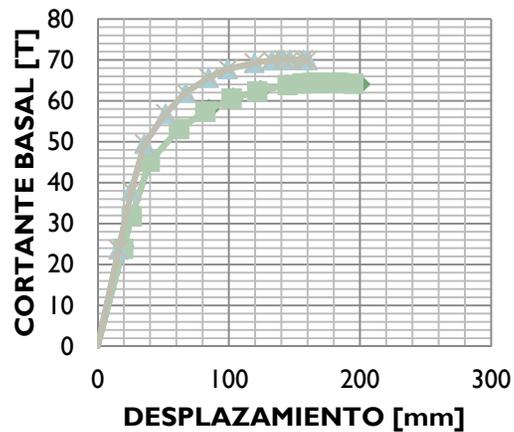
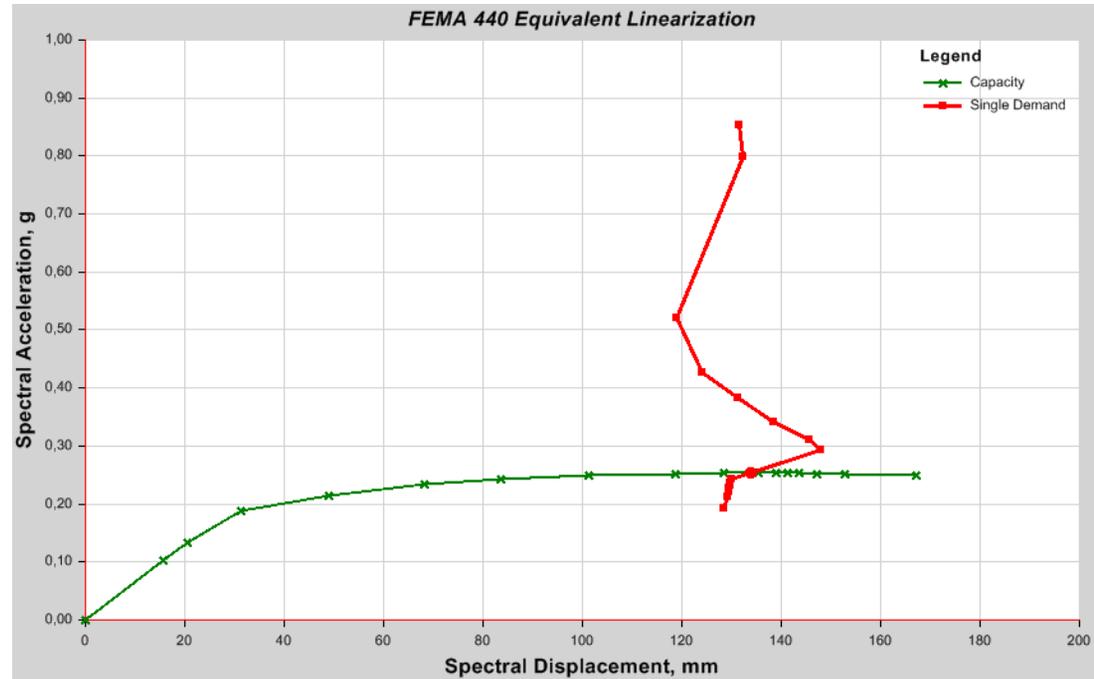
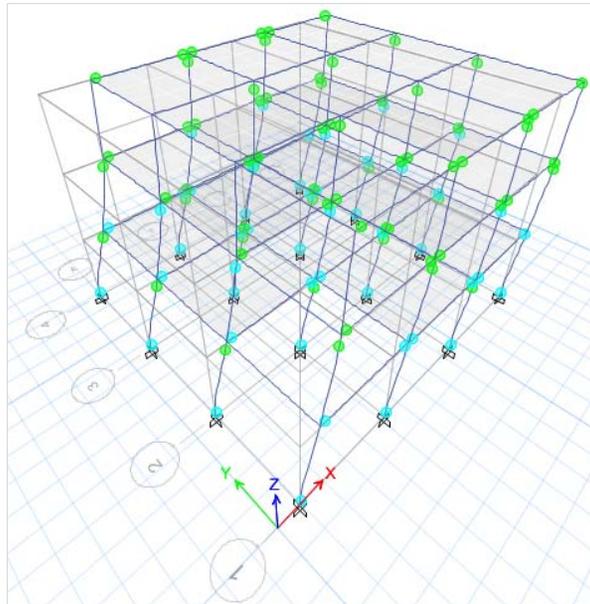


Armadura vigas interiores

CARGAS PERMANENTES	
Losa	
Altura equivalente losa maciza	0,14 m
Carga permanente total	0,37 T/m <sup>2</sup>
SOBRE CARGAS DE USO	
Carga Viva	0,20 T/m <sup>2</sup>

# Estructura antes del refuerzo

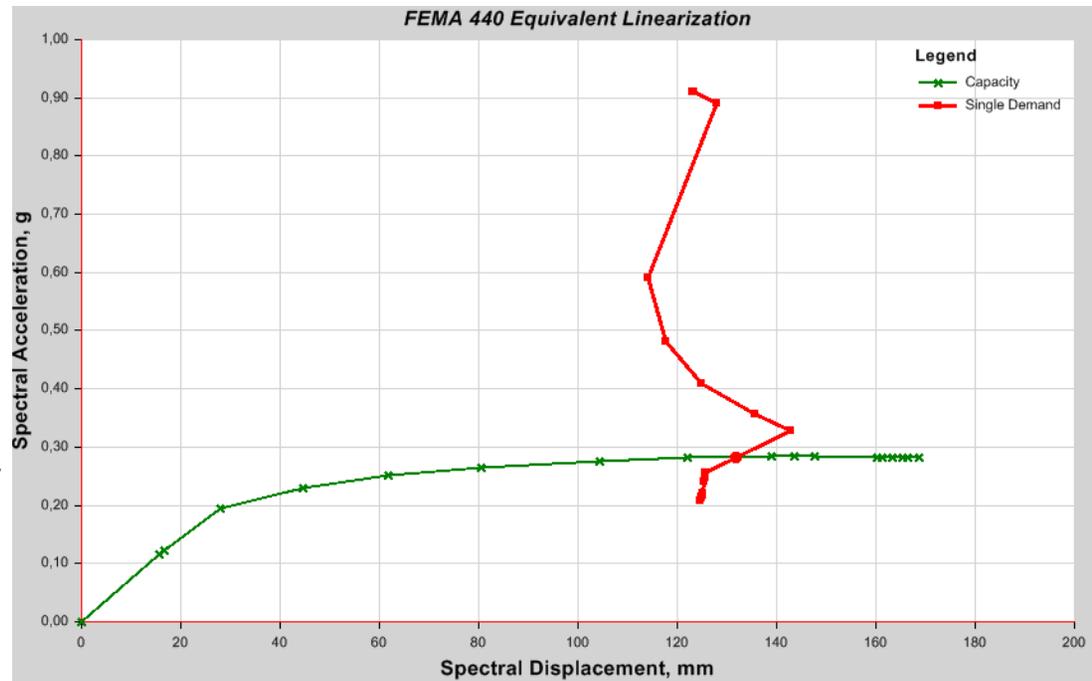
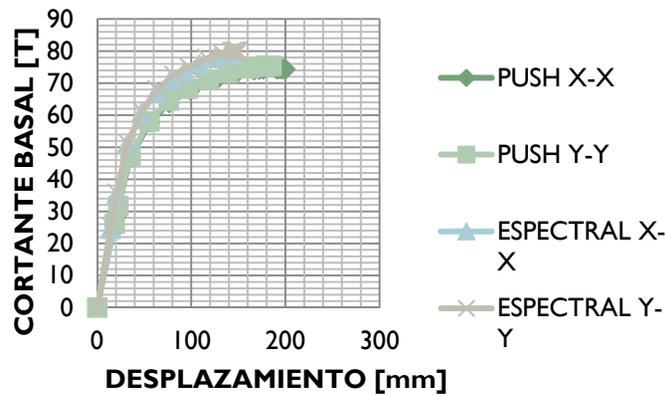
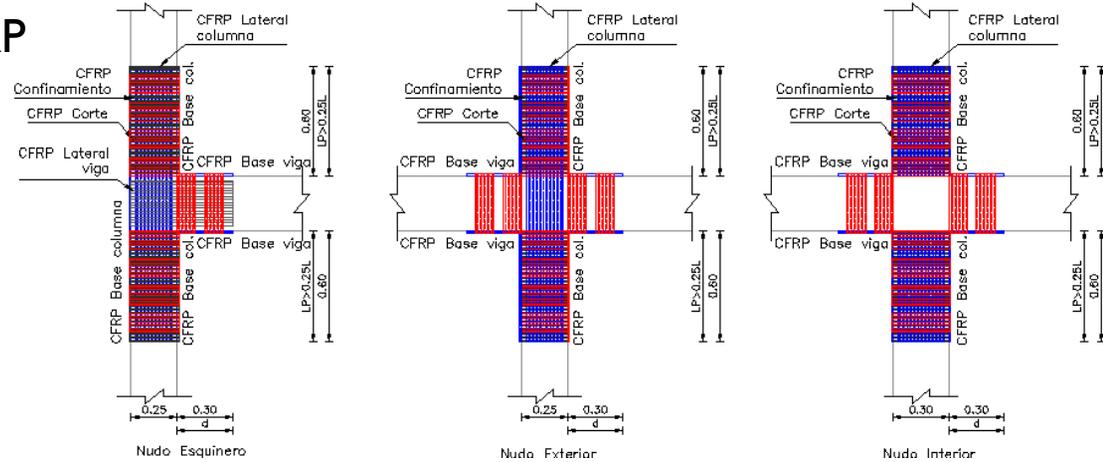
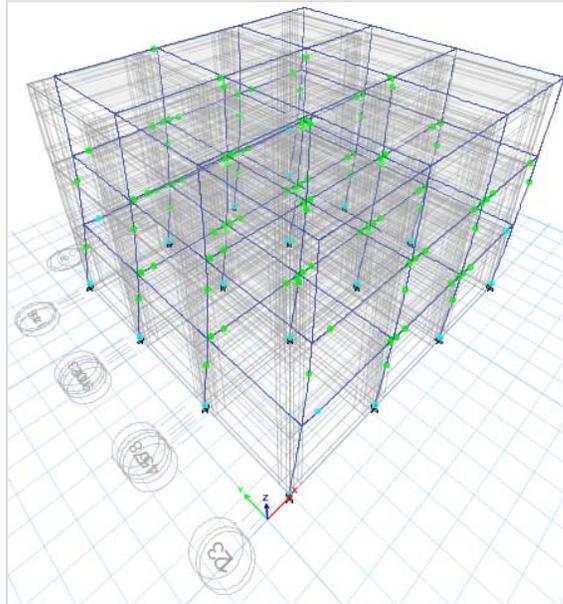
## ► Análisis no lineal.



- ◆ PUSH X-X
- PUSH Y-Y
- ▲ ESPECTRAL X-X
- × ESPECTRAL Y-Y

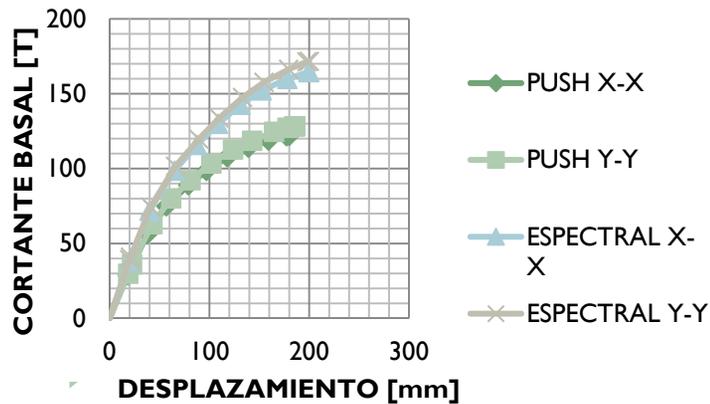
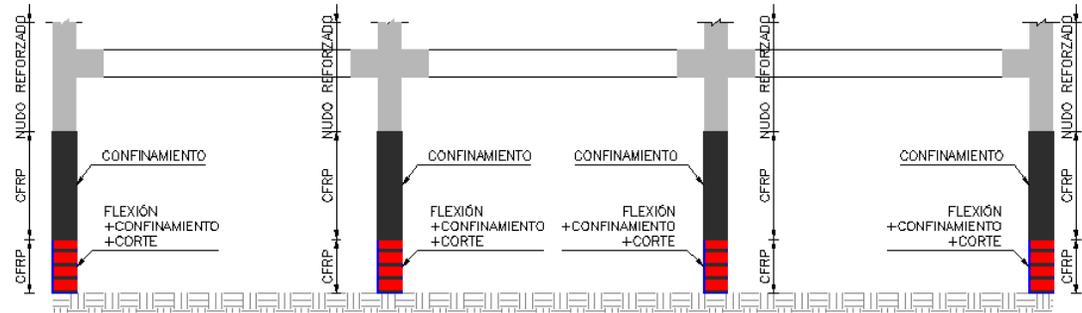
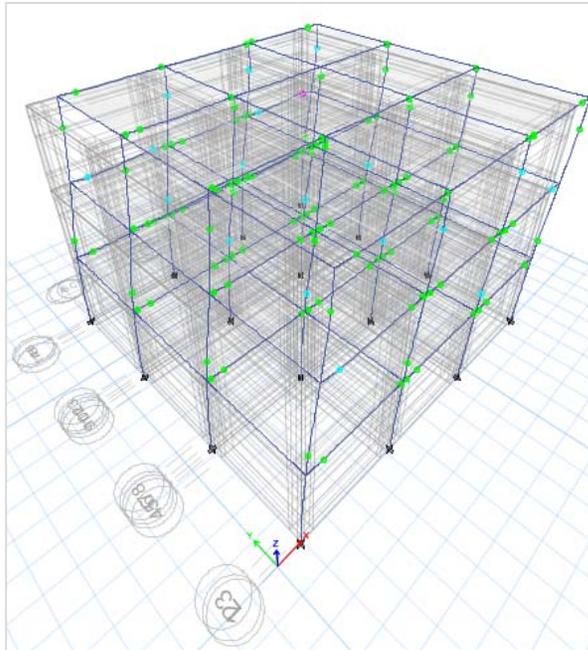
# Estructura después del refuerzo

## ► Nudos Reforzados con CFRP



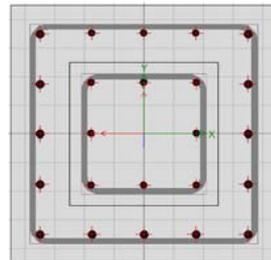
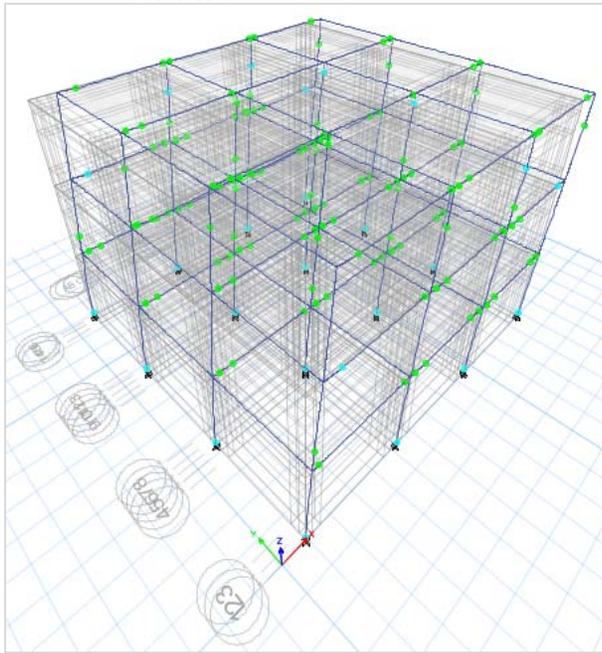
## Estructura después del refuerzo

### ► Nudos y columnas de la primera planta reforzados con CFRP

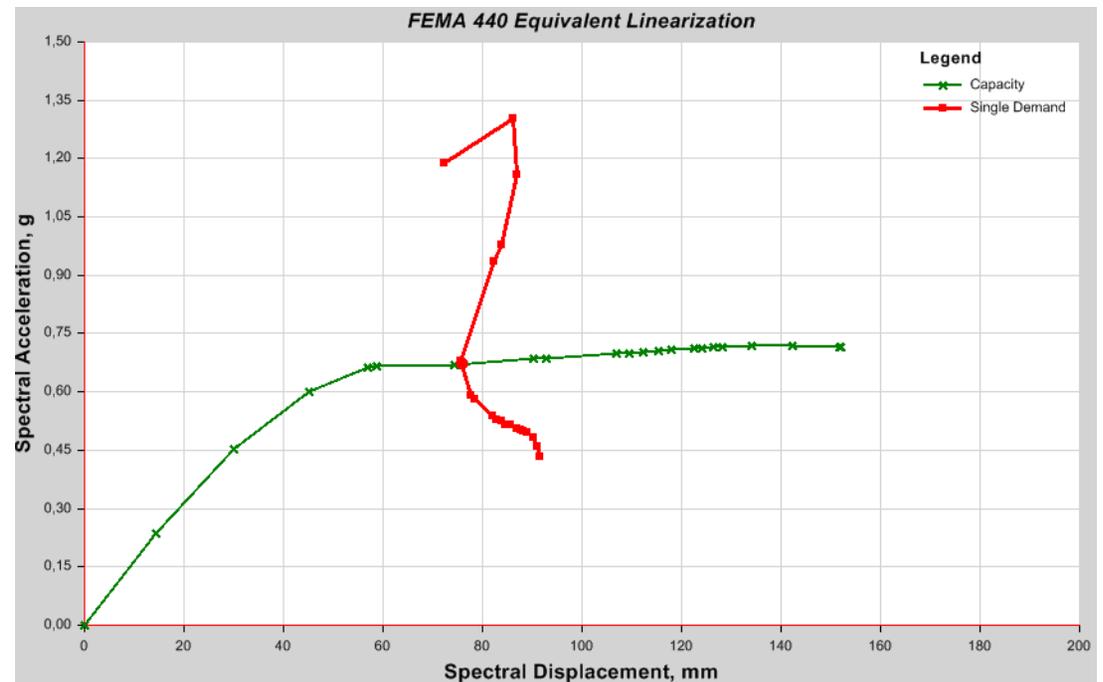
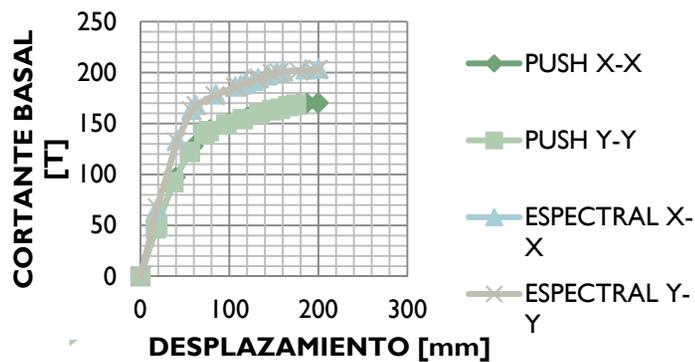
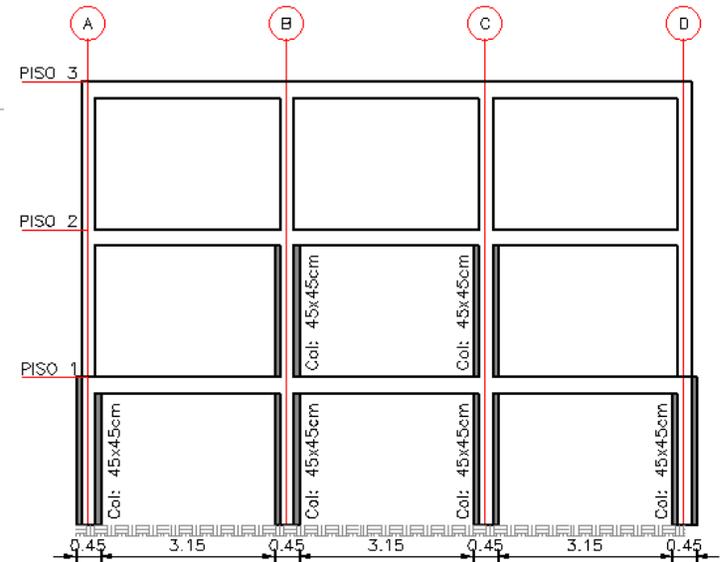


## Estructura después del refuerzo

- ▶ Encamisado de columnas y Nudos reforzados con CFRP.

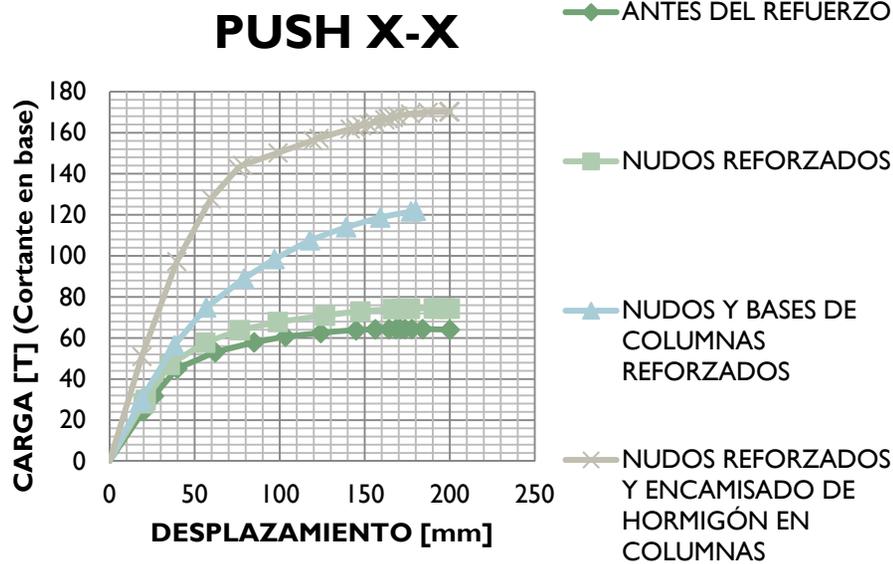


Columna Encamisada



**RECOMENDACIONES**

# Conclusiones y recomendaciones (EJEMPLO)



Ex (Espectro de respuesta)		ANTES DEL REFUERZO		NUDOS REFORZADOS		NUDOS Y BASES DE COLUMNAS REFORZADOS		NUDOS REFORZADOS Y ENCAMISADO DE HORMIGÓN EN COLUMNAS	
Piso	[m]	Dir. X	X Deriva	Dir. X	X Deriva	Dir. X	X Deriva	Dir. X	X Deriva
3	8,1	0,004	0,013	0,002	0,007	0,003	0,007	0,003	0,006
2	5,4	0,008	0,024	0,005	0,016	0,005	0,015	0,005	0,009
1	2,7	0,007	0,021	0,007	0,022	0,006	0,017	0,002	0,004
Base	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Ey (Espectro de respuesta)		ANTES DEL REFUERZO		NUDOS REFORZADOS		NUDOS Y BASES DE COLUMNAS REFORZADOS		NUDOS REFORZADOS Y ENCAMISADO DE HORMIGÓN EN COLUMNAS	
Piso	[m]	Dir. Y	Y Deriva	Dir. Y	Y Deriva	Dir. Y	Y Deriva	Dir. Y	Y Deriva
3	8,1	0,004	0,013	0,002	0,007	0,003	0,007	0,003	0,006
2	5,4	0,008	0,024	0,005	0,016	0,005	0,015	0,005	0,009
1	2,7	0,007	0,021	0,007	0,022	0,006	0,017	0,002	0,004
Base	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

	CORTANTE BASAL [T]	DESPLAZAMIENTO [mm]	DUCTILIDAD [R]
ANTES DEL REFUERZO	64,36	162,34	4,03
NUDOS REFORZADOS	73,65	158,52	4,13
NUDOS Y BASES DE COLUMNAS REFORZADOS	121,53	176,24	3,69
NUDOS REFORZADOS Y ENCAMISADO DE HORMIGÓN EN COLUMNAS	150,77	100,90	2,21



## Conclusiones y recomendaciones (MATERIAL)

### CFRP

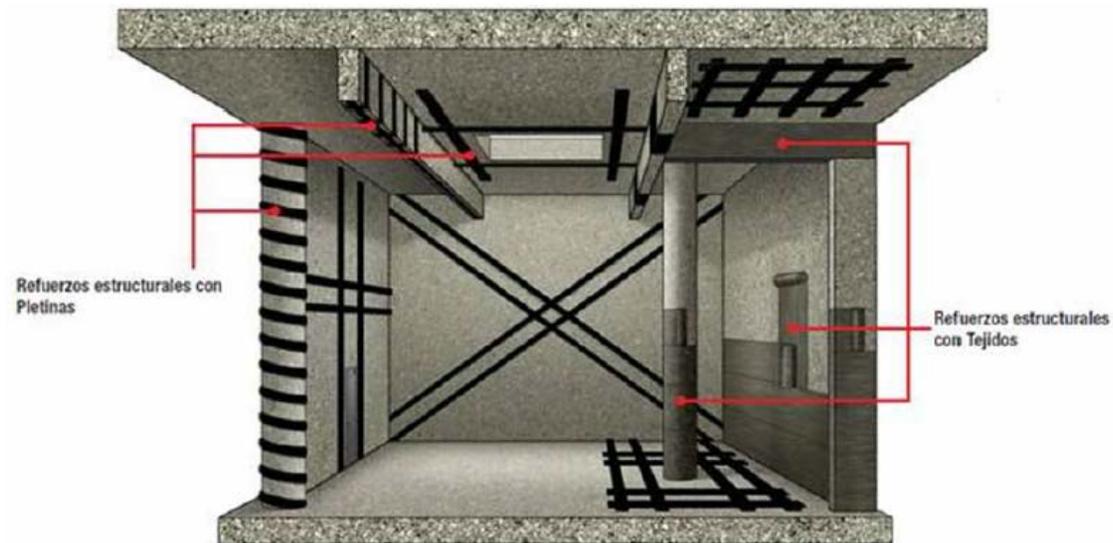
- >Resistencia mecánica.
- >Durabilidad.
- <espesor

Adaptable

Liviana

### Refuerzo CFRP Nudos

- Curación detallada.
- Fiscalización.
- Envolturas completas (Corte).



(Palazzo, s.f.)

Gracias!!!

---

