



**INSTITUTO DE INGENIERÍA
 UNAM, MÉXICO**

ESTADO DEL ARTE DE LA CONSTRUCCION DE EDIFICIOS PREFABRICADOS EN MEXICO

**Mario E. Rodriguez
 Instituto de Ingenieria, UNAM**

12 de Marzo, 2013 Facultad de Ingeniería, UNAM

RECONOCIMIENTOS

ANIPPAC
ANIVIP
CONACYT
INSTITUTO DE INGENIERIA (UNAM)
Dr. Jose Restrepo (UCSD)

Estudiantes:

JJ Blandon (Doctorado)
M. Torres (Doctorado)
E .Vasquez (Maestría)
G. León (Maestría)
H. Cabrera (Maestría)

INDICE

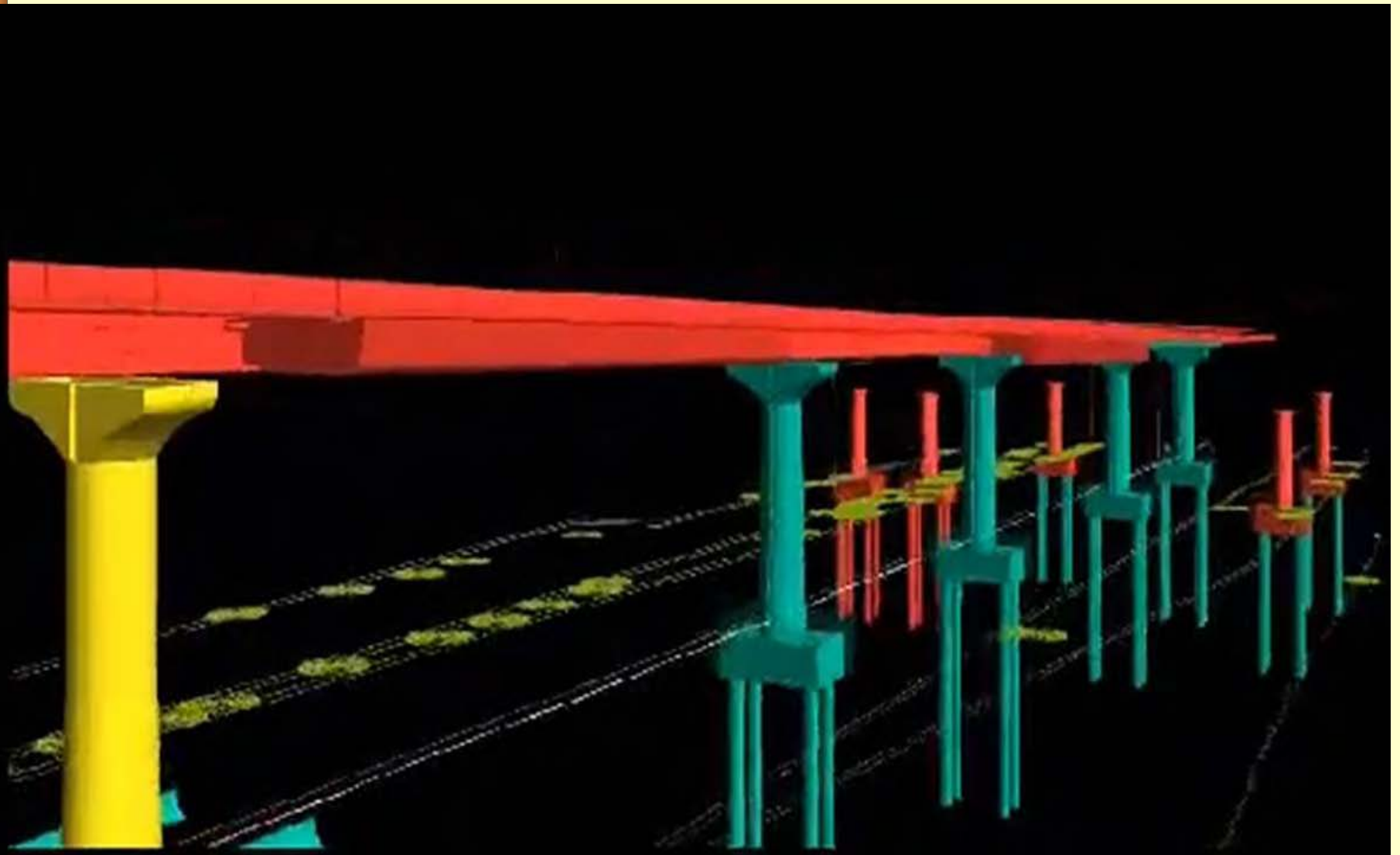
- 1. Comportamiento de estructuras prefabricadas en sismos**
- 2. Conexiones entre elementos estructurales de edificios**
- 3. Diafragmas en edificios**
- 4. Prefabricación en puentes**



**Construcción de un
edificio prefabricado de
15 niveles en el DF
(Hotel en Gran Sur, DF)**



PUENTES EN LA CIUDAD DE MEXICO



Ventajas de las estructuras prefabricadas respecto a las estructuras de concreto coladas en sitio

Rapidez

Control de calidad

Medio ambiente (sustentabilidad)



¿Por que no se usa tanto las estructuras prefabricadas de Concreto?

- 1. Inercia al cambio***
- 2. Tiempo***
- 3. Experiencias observadas en terremotos***



ASPECTOS RELEVANTES A CONSIDERAR EN EL DISEÑO Y COMPORTAMIENTO SISMICO DE ESTRUCTURAS PREFABRICADAS:

- 1. CONEXIONES**
- 2. SISTEMAS DE PISO (Diafragmas)**



COMPORTAMIENTO SISMICO OBSERVADO EN ESTRUCTURAS PREFABRICADAS

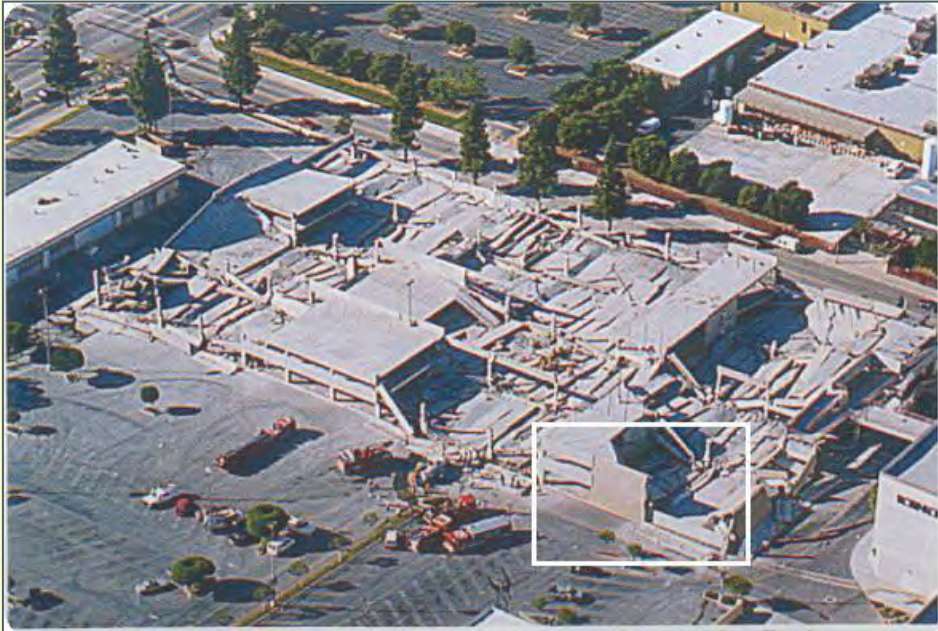




Armenia, 1988

<http://www.construaprende.com>

DAÑOS OBSERVADOS EN TERREMOTOS



1994 Terremoto de Northridge



ESTRUCTURAS DE CONCRETO PREFABRICADO, TERREMOTO DE CHILE, MARZO 2010





Edificio prefabricado de CR en Ciudad Empresarial





EMPLEO DEL CONCEPTO DE EMULACION

<http://www.construaprende.com>

ASPECTOS RELEVANTES A CONSIDERAR EN EL DISEÑO Y COMPORTAMIENTO SISMICO DE ESTRUCTURAS PREFABRICADAS:

- 1. CONEXIONES**
- 2. SISTEMAS DE PISO (Diafragmas)**



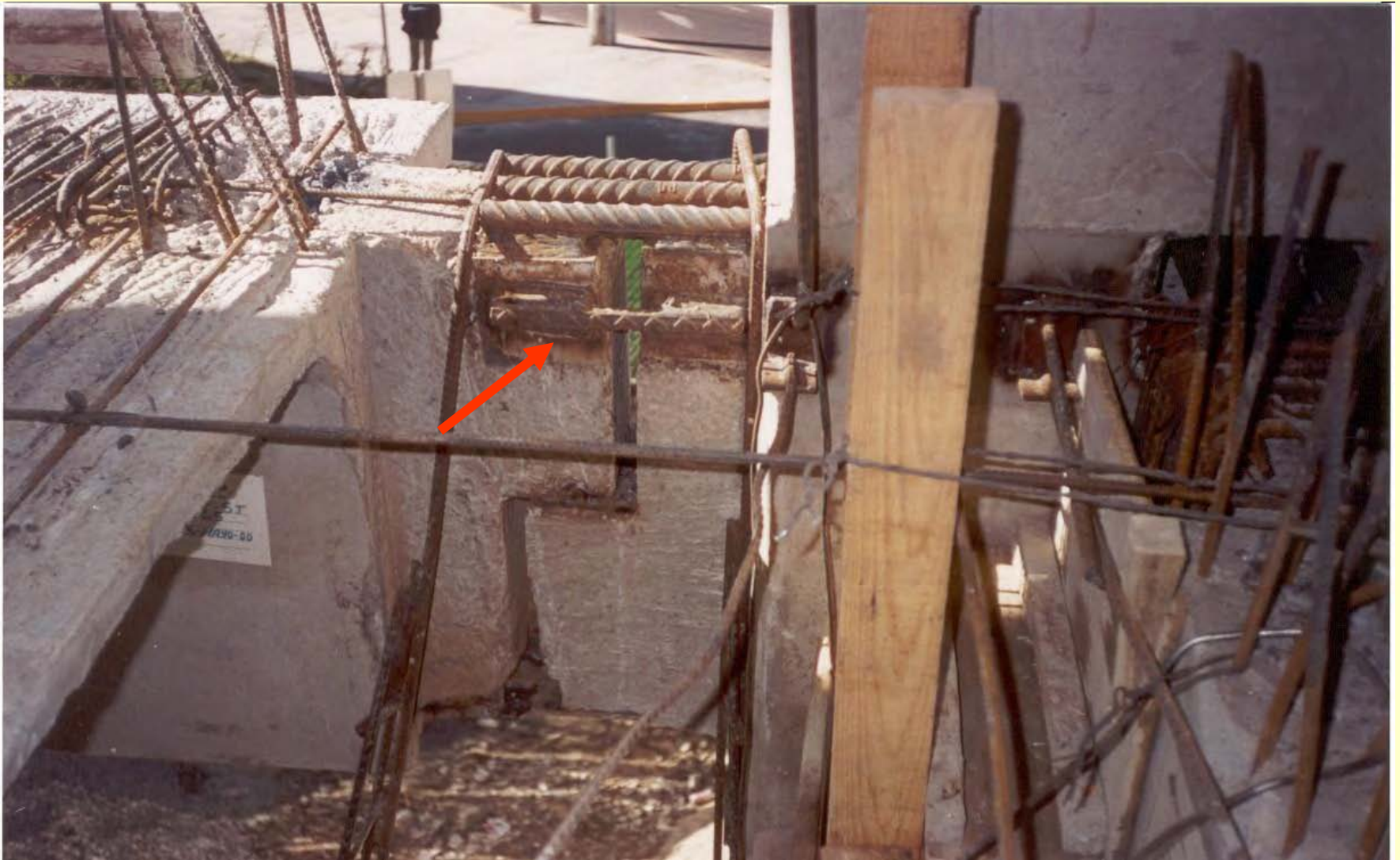
1. CONEXIONES ENTRE ELEMENTOS PREFABRICADOS DE CONCRETO





CONEXIÓN TIPO “VENTANA”

<http://www.construaprende.com>



CONEXIÓN CON BARRAS DE REFUERZO SOLDADAS



**Construcción de un
edificio prefabricado de
15 niveles en el DF
(ventanas y varillas
soldadas en traves)**



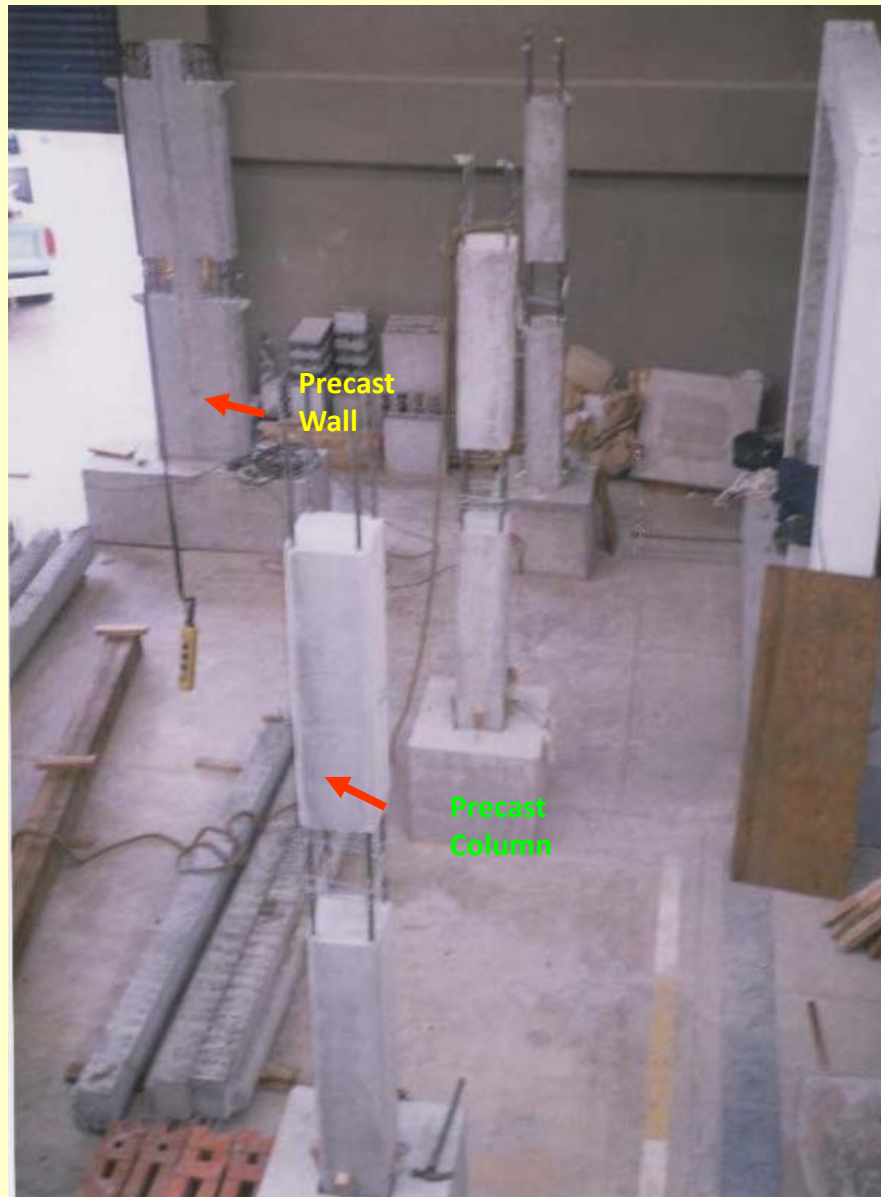
**ESTUDIOS EXPERIMENTALES EN MEXICO
(II, UNAM) DEL COMPORTAMIENTO DE
CONEXIONES VIGA-COLUMNA EN
MARCOS DE CR PREFABRICADOS**





**EDIFICIO PREFABRICADO EN MEXICO CON
CONEXION TIPO “VENTANA”**

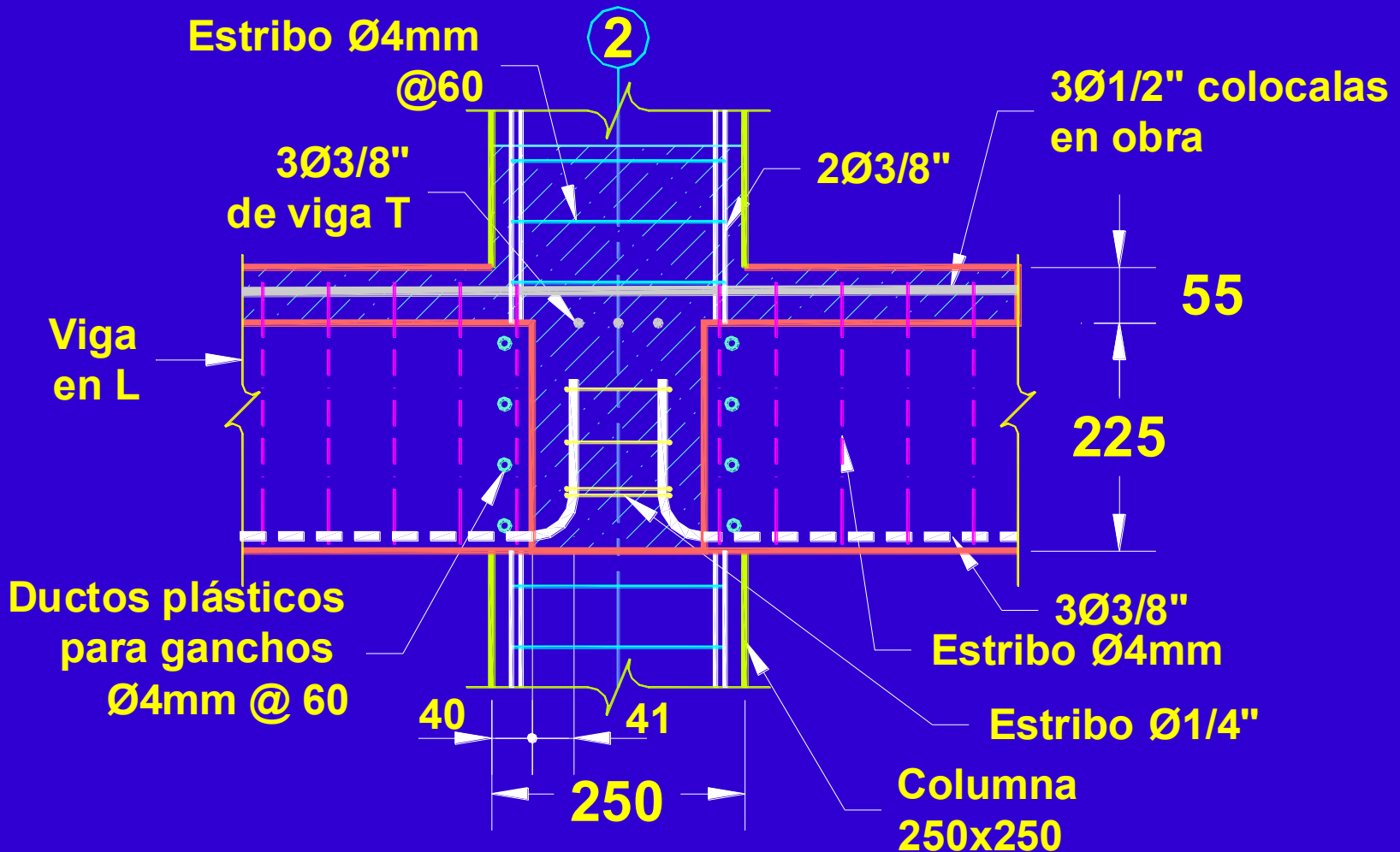




VISTA DEL MODELO DURANTE SU CONSTRUCCIÓN

<http://www.construaprende.com>

CONEXION PREFABRICADA VIGA-COLUMNA INTERIOR (CORTE A-A)



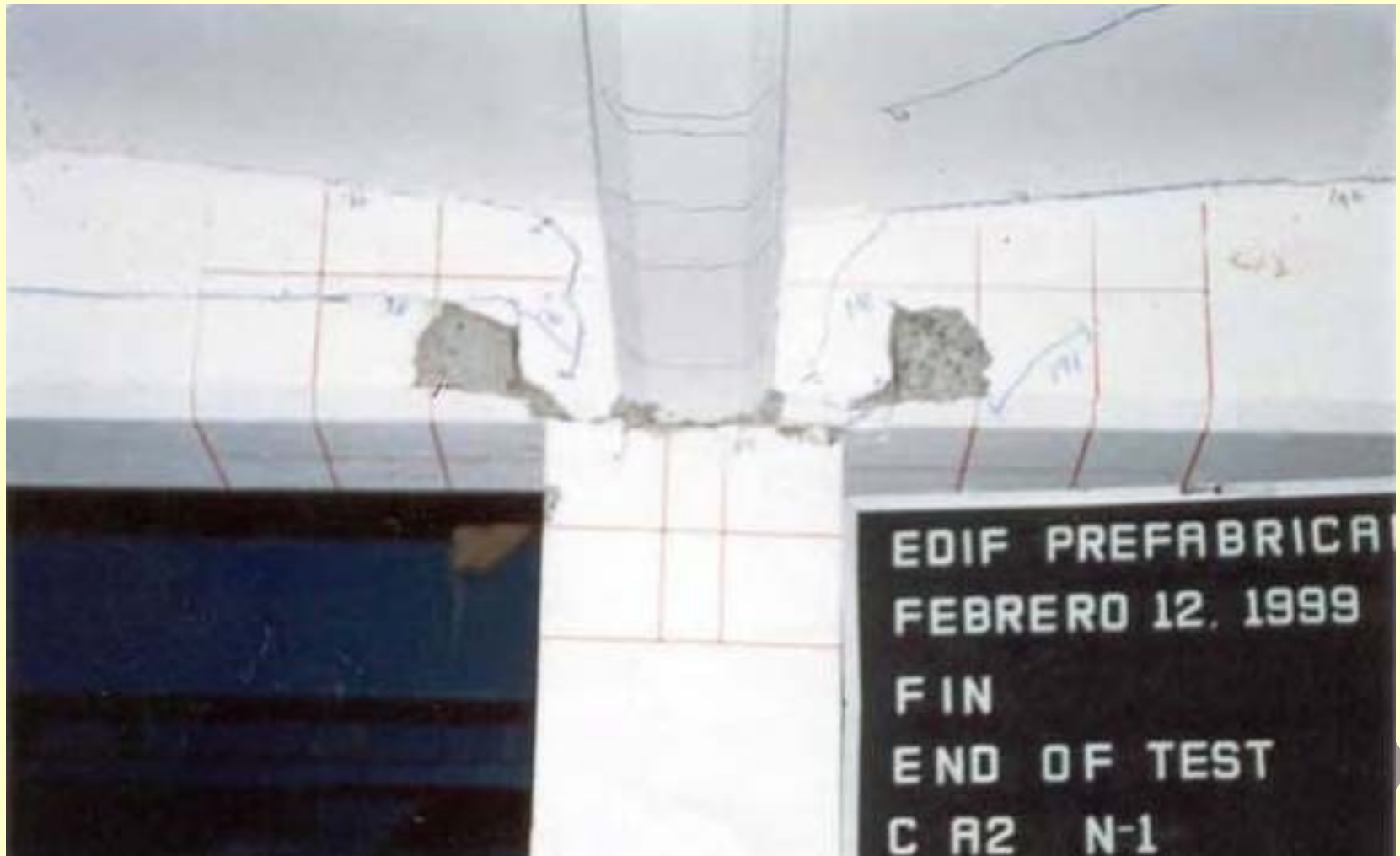
ESTUDIO EXPERIMENTAL EN EL II

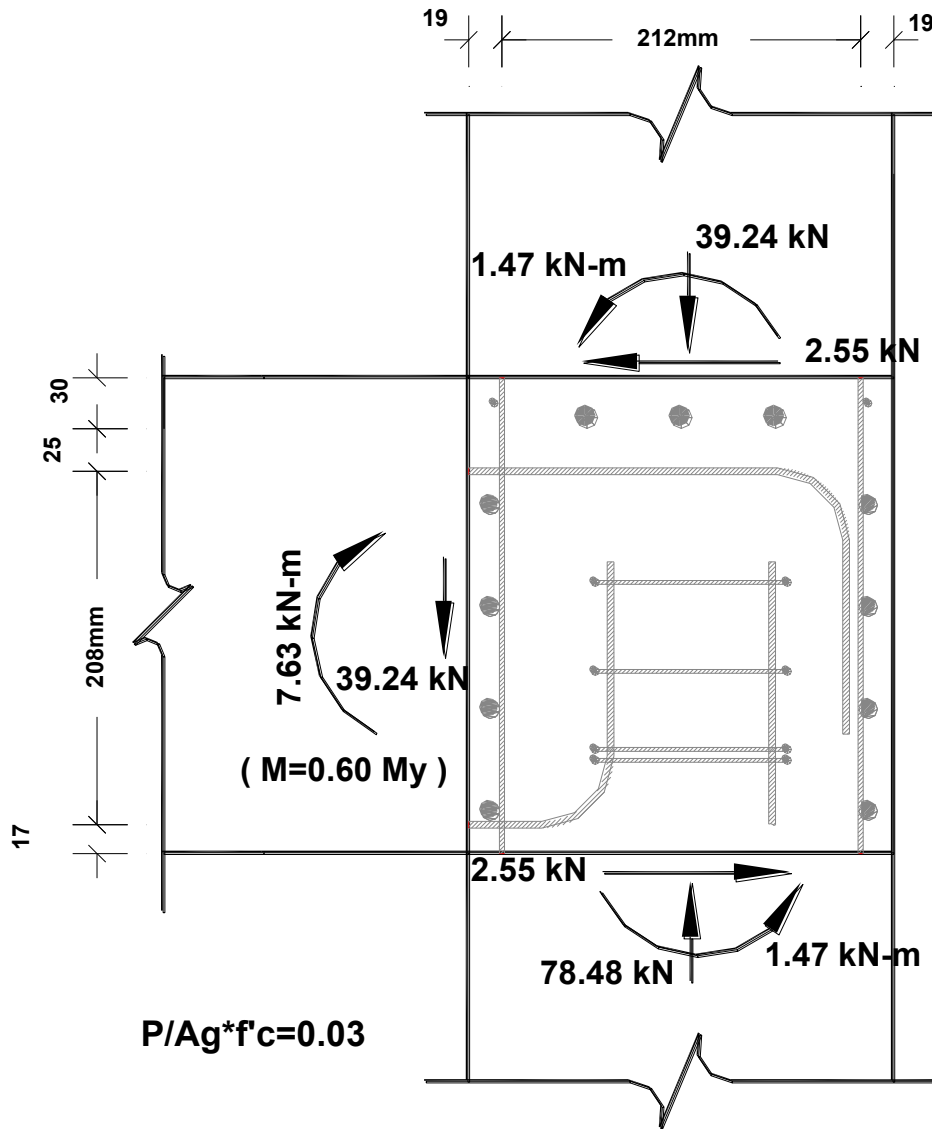




**DAÑO OBSERVADO EN MARCO LATERAL AL
FINAL DEL ENSAYE**

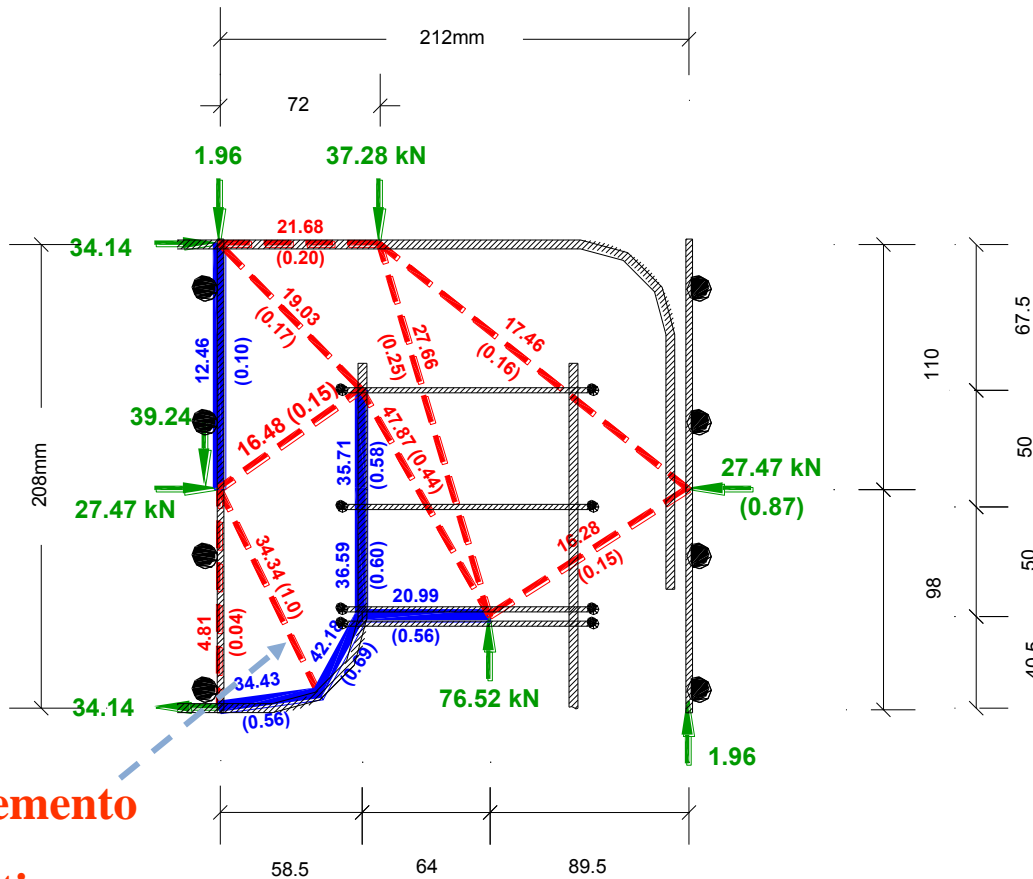
DAÑO OBSERVADO EN LA CONEXION TRABE-COLUMNA EN EL EDIFICIO PREFABRICADO ENSAYADO



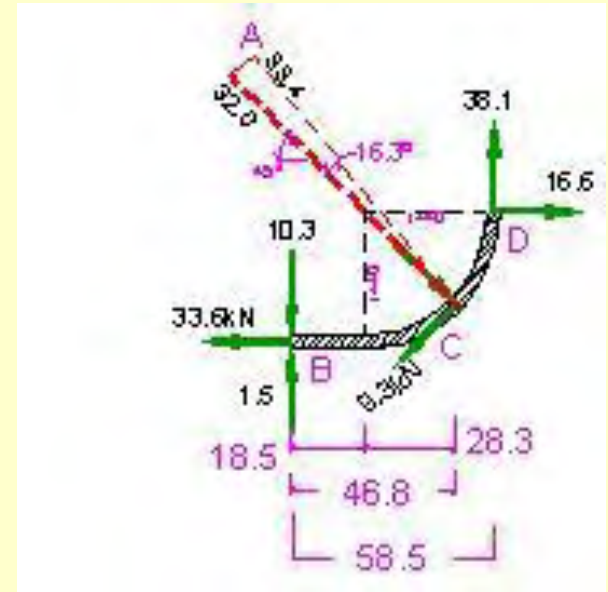


DIMENSIONES Y FUERZAS EXTERNAS CALCULADAS EN LA CONEXION TIPO "VENTANA"





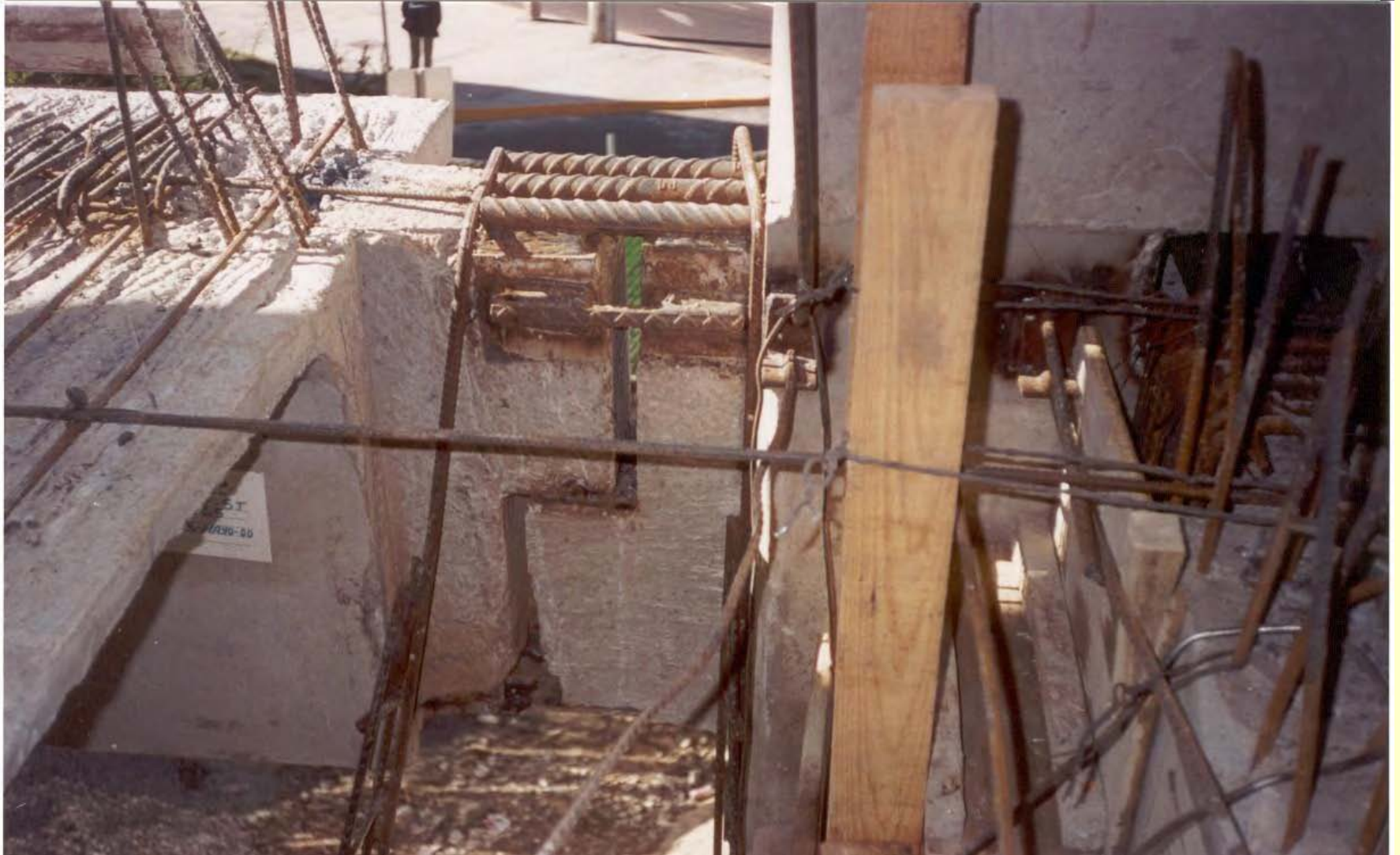
**Elemento
critico**



Para $F=32.0$ kN se produce el aplastamiento del concreto, $f_c=0.87 f'c$

APLICACIÓN DEL MODELO DEL PUNTAL Y TIRANTE PARA EL ANALISIS DE LA CAPACIDAD RESISTENTE DE LA CONEXION

ESTUDIOS EN MEXICO DE CONEXIONES CON BARRAS DE REFUERZO SOLDADAS

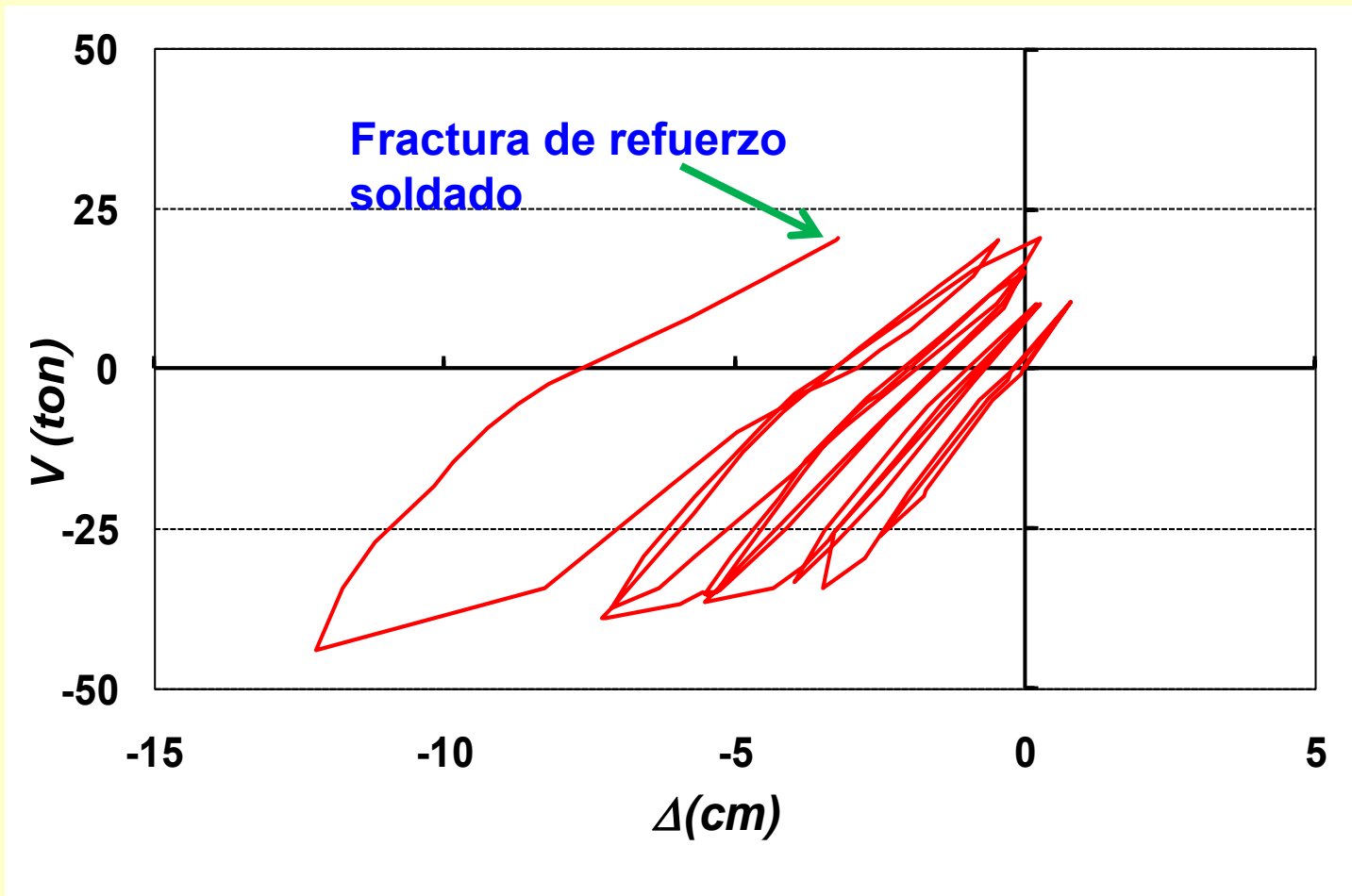


ENSAYES EN MEXICO DE UNA CONEXIÓN PREFABRICADA TRABE-COLUMNA (Zermeño, 1992)



VISTA DE UN ENSAYE TÍPICO DE LA CONEXIÓN TRABE-COLUMNA PREFABRICADA





CICLOS CARGA LATERAL-DESPLAZAMIENTO MEDIDOS EN EL ENSAYE DE LA CONEXION TRABE-COLUMNA PREFABRICADA





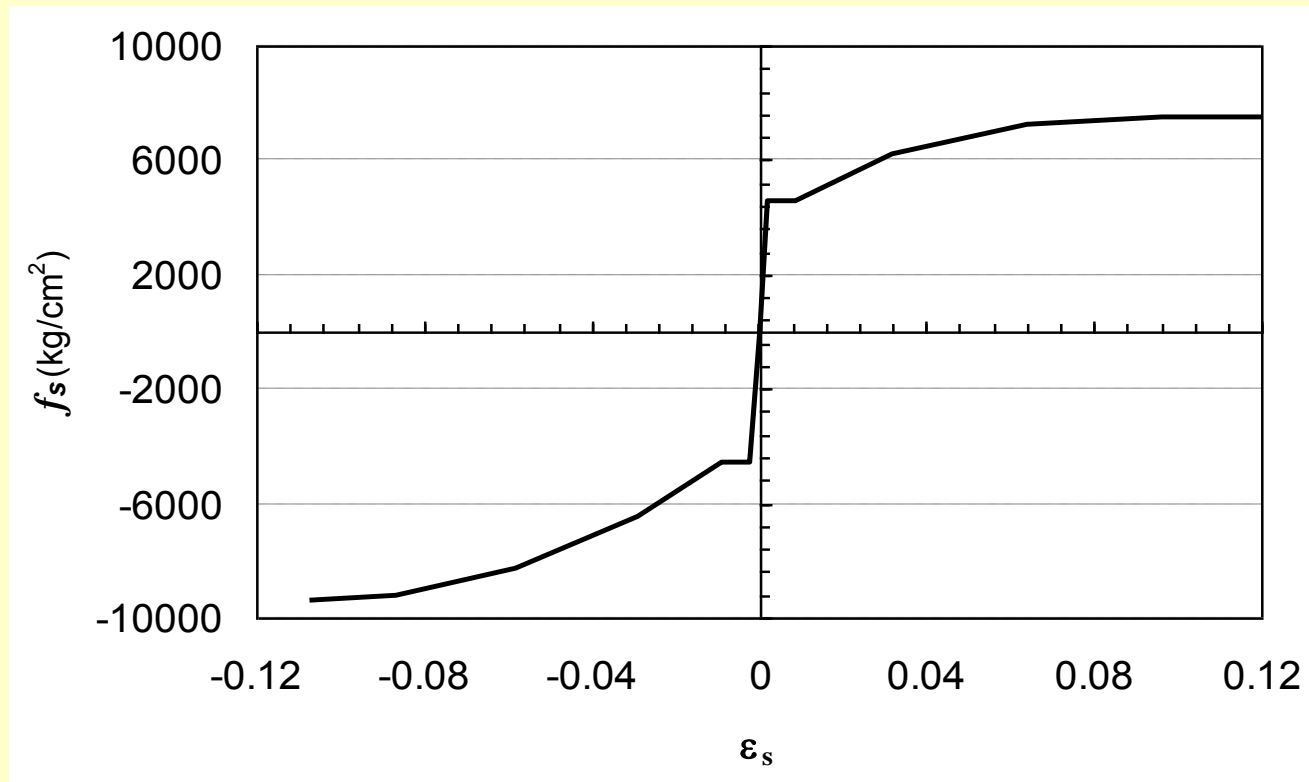
Fractura de refuerzo soldado

**OPINION DE LOS PREFABRICADORES
QUE PATROCINARON EL ESTUDIO
(ANIPPAC):**

**MALA SOLDADURA
MAL SOLDADOR
LOS DEL II SON MALOS, ETC ETC**

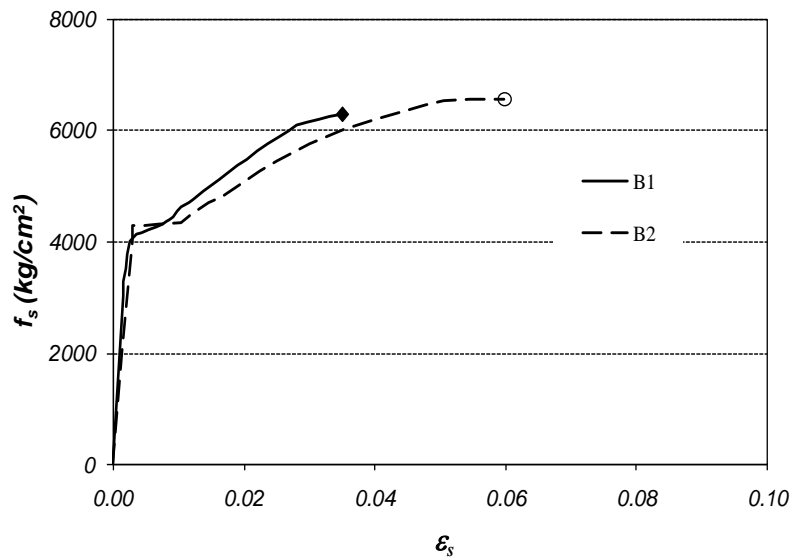


**ENSAYES EN TRACCION EN MEXICO (RODRIGUEZ et al.,2006)
DE VARILLAS DE REFUERZO DE 25 MM SIN Y CON SOLDADURA
($f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$)**

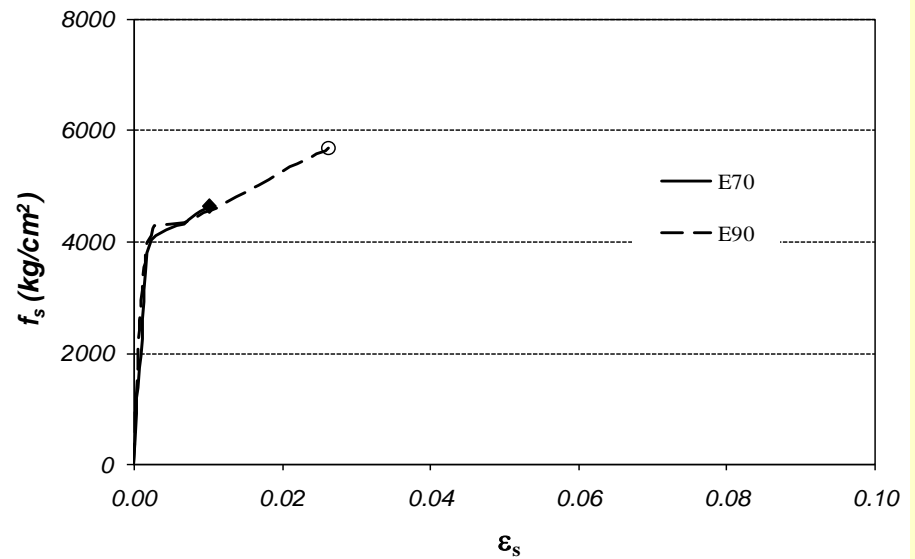


VARILLA SIN SOLDAR

ENSAYES EN TRACCION EN MEXICO (RODRIGUEZ et al.,2006) DE VARILLAS DE REFUERZO DE 25 MM SIN Y CON SOLDADURA ($f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$)

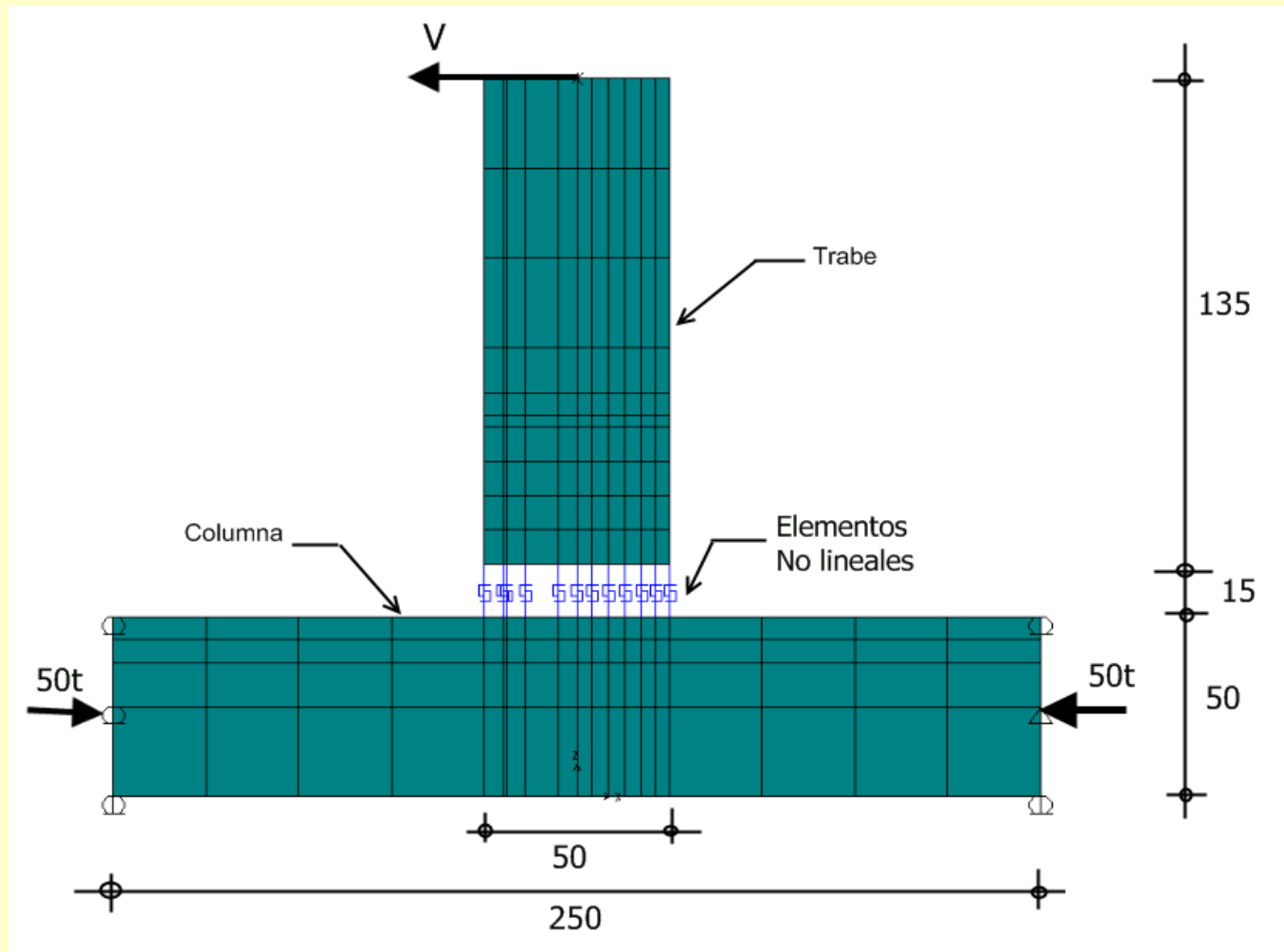


**VARILLA SOLDADA,
ELECTRODO E90 CON
PRECALENTAMIENTO**

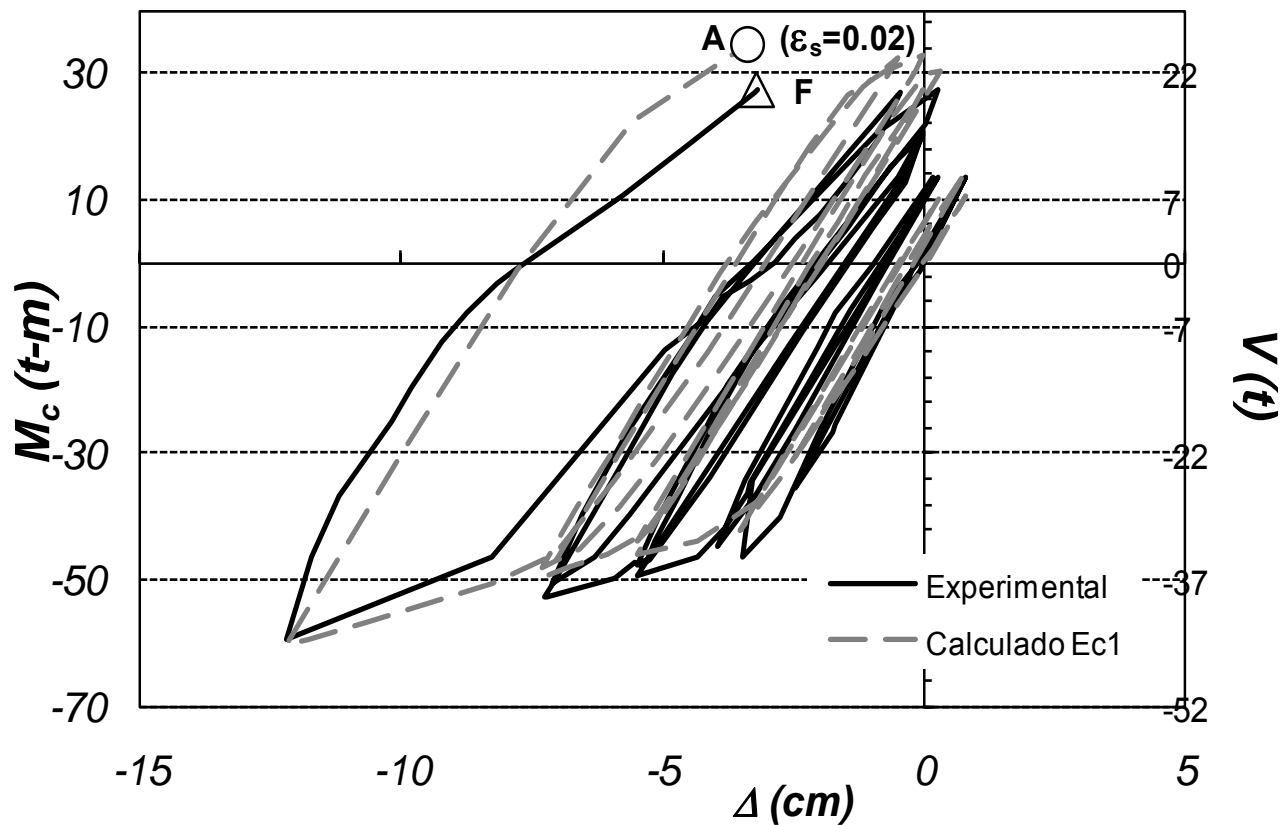


**VARILLA SOLDADA,
BISEL B1 SIN
PRECALENTAMIENTO**





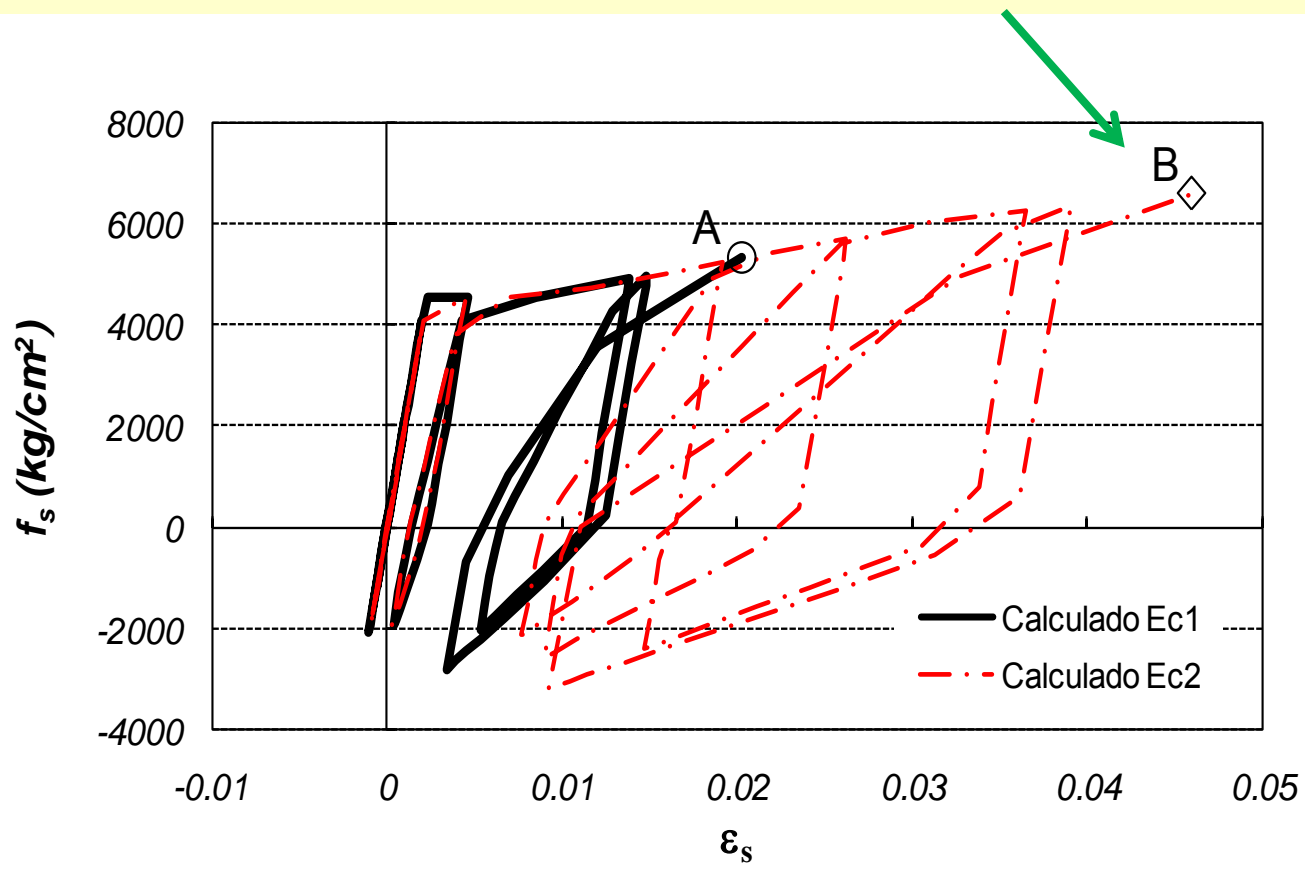
MODELO ANALITICO EMPLEADO (Rodriguez y Torres, 2012)



COMPARACION ENTRE CICLOS DE HISTERESIS EXPERIMENTALES Y CALCULADOS



DEMANDA VERSUS CAPACIDAD



**CURVAS ESFUERZO-DEFORMACION CALCULADAS
PARA LA VARILLA SOLDADA EN LA ZONA CRITICA**



CONCLUSIONES:

- LAS CONEXIONES PREFABRICADAS EN LAS QUE SE SUELDA LAS VARILLAS DE REFUERZO SON **FRAGILES**. NO TIENEN CAPACIDAD DE DEFORMACION
- ES NECESARIO **REFORZAR** LAS ESTRUCTURAS EXISTENTES CON ESTE TIPO DE CONEXION
- ESTAS CONEXIONES **SE DEBEN DEJAR DE USAR** EN EL PAIS Y SE DEBEN EMPLEAR CONEXIONES DE OTRO TIPO COMO LAS QUE EMPLEAN EL CONCEPTO DE **EMULACION**

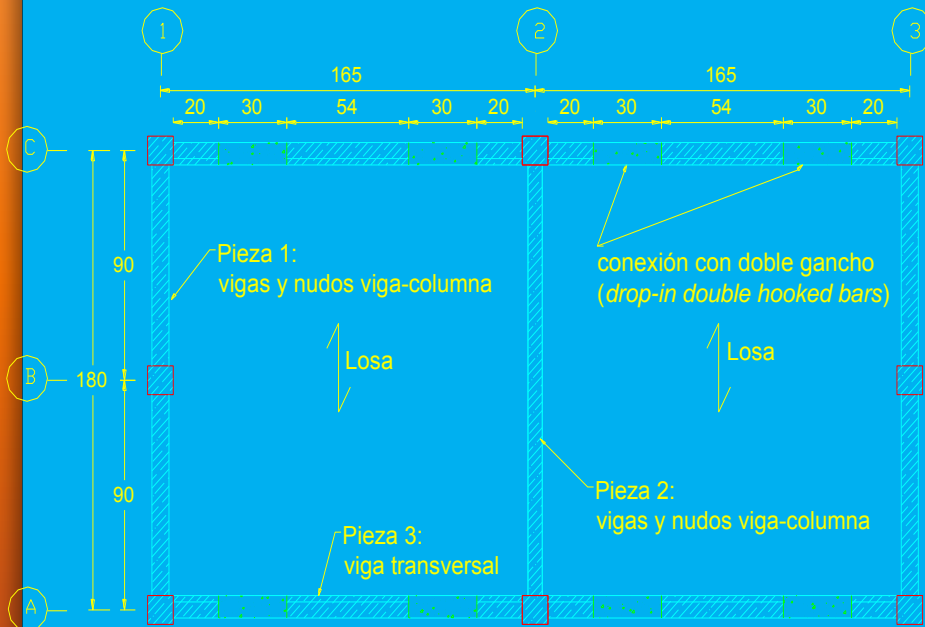


**ESTUDIOS EXPERIMENTALES EN
MEXICO DE UN EDIFICIO PREFABRICADO
EN EL QUE SE EMPLEO EL CONCEPTO
DE EMULACION**

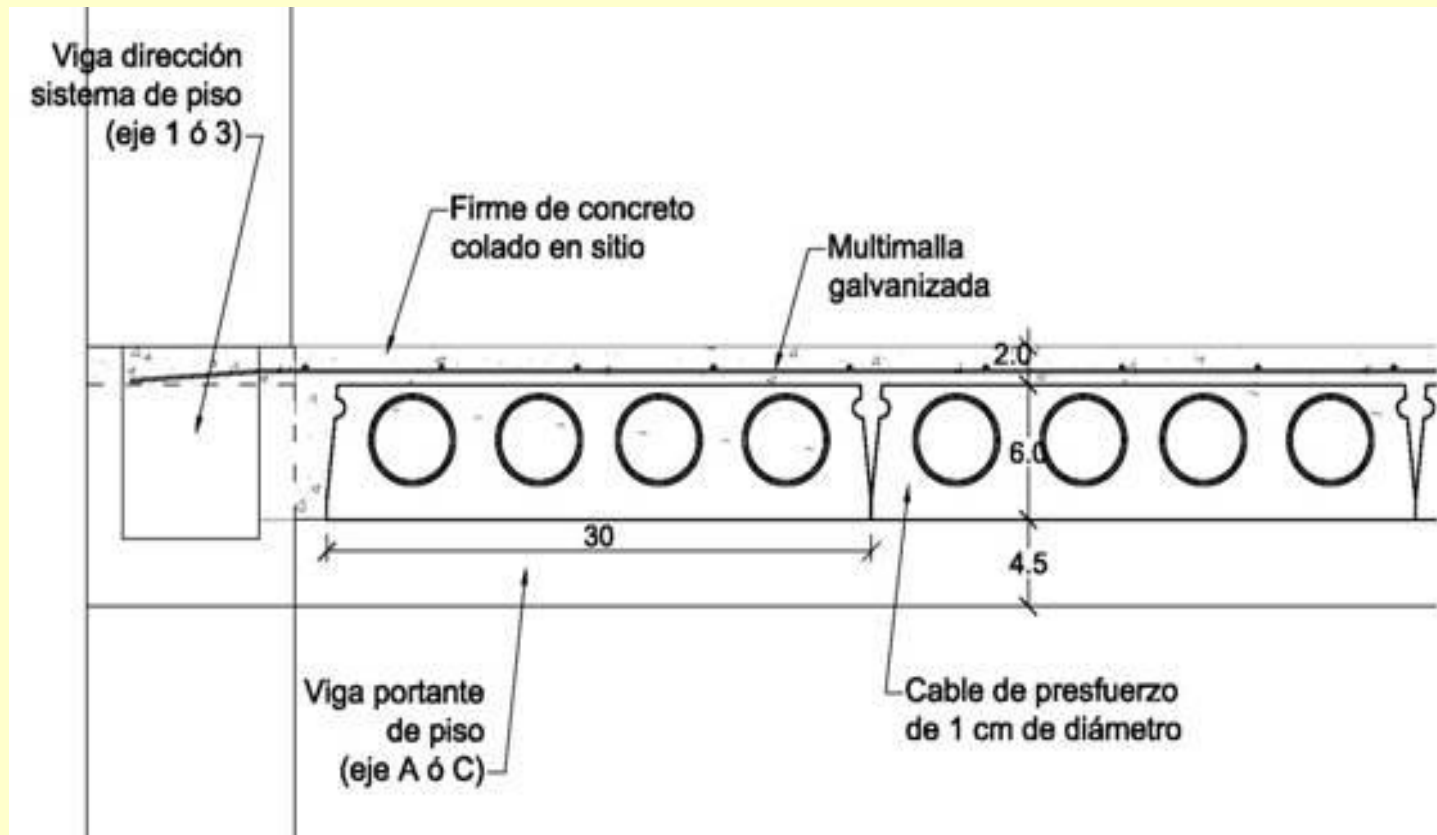


ESPÉCIMEN PREFABRICADO EMPLEANDO EL CONCEPTO DE EMULACIÓN

Modelo a escala 1:4 del edificio prototipo



SISTEMA DE PISO DEL ESPÉCIMEN





CONCEPTO DE EMULACIÓN (NO SE EMPLEA SOLDADURA) DE UN EDIFICIO DE CR PREFABRICADO PARA ENSAYE EN LA MESA VIBRADORA UNAM (2005-2006)

**COLADO DE
GROUT EN
ESPECIMEN
PREFABRICADO
ENSAYADO EN
MESA
VIBRADORA**

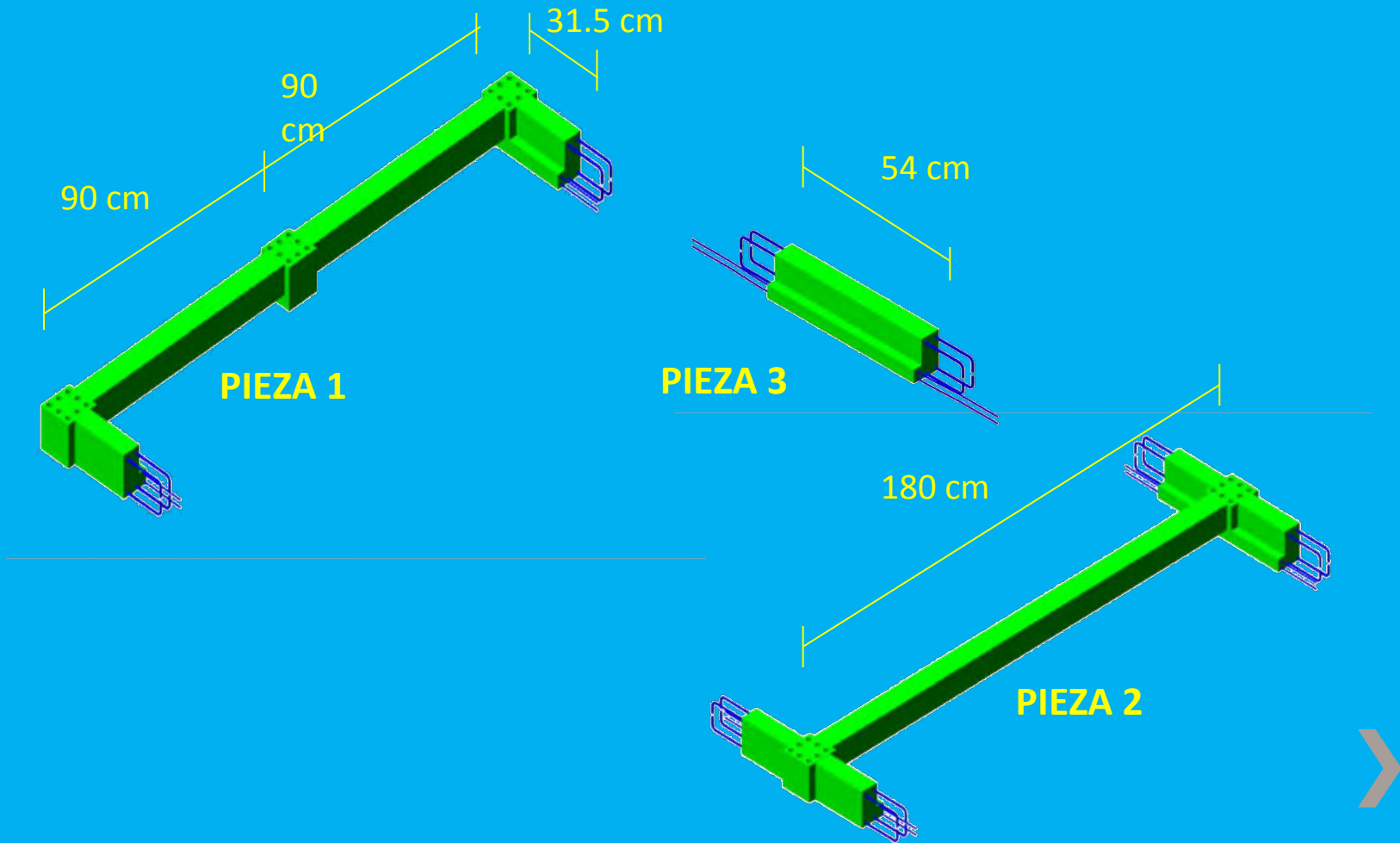




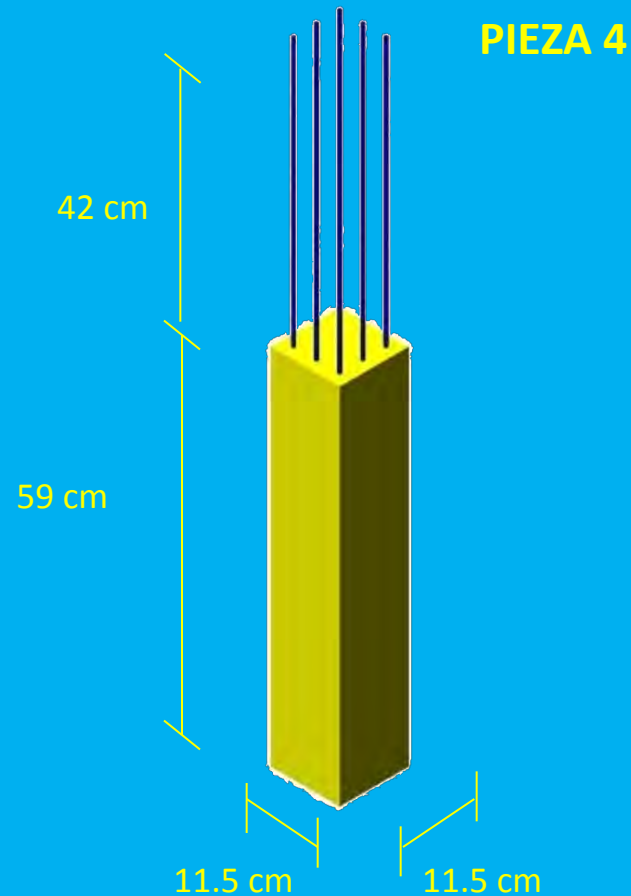
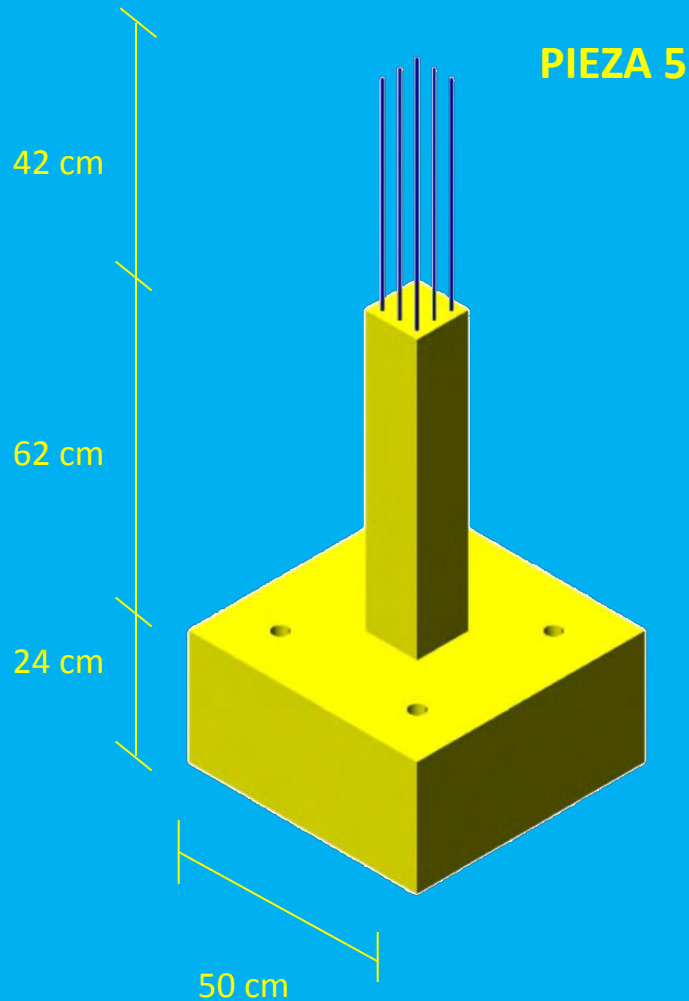
**COLADO DE GROUT EN DUCTOS DE CONEXIÓN
NUDO-COLUMNA DEL ESPECIMEN PREFABRICADO
ENSAYADO EN MESA VIBRADORA (DUCTOS $D=13$
MM, BARRA $D= 6$ MM)**

CONSTRUCCIÓN DEL ESPÉCIMEN

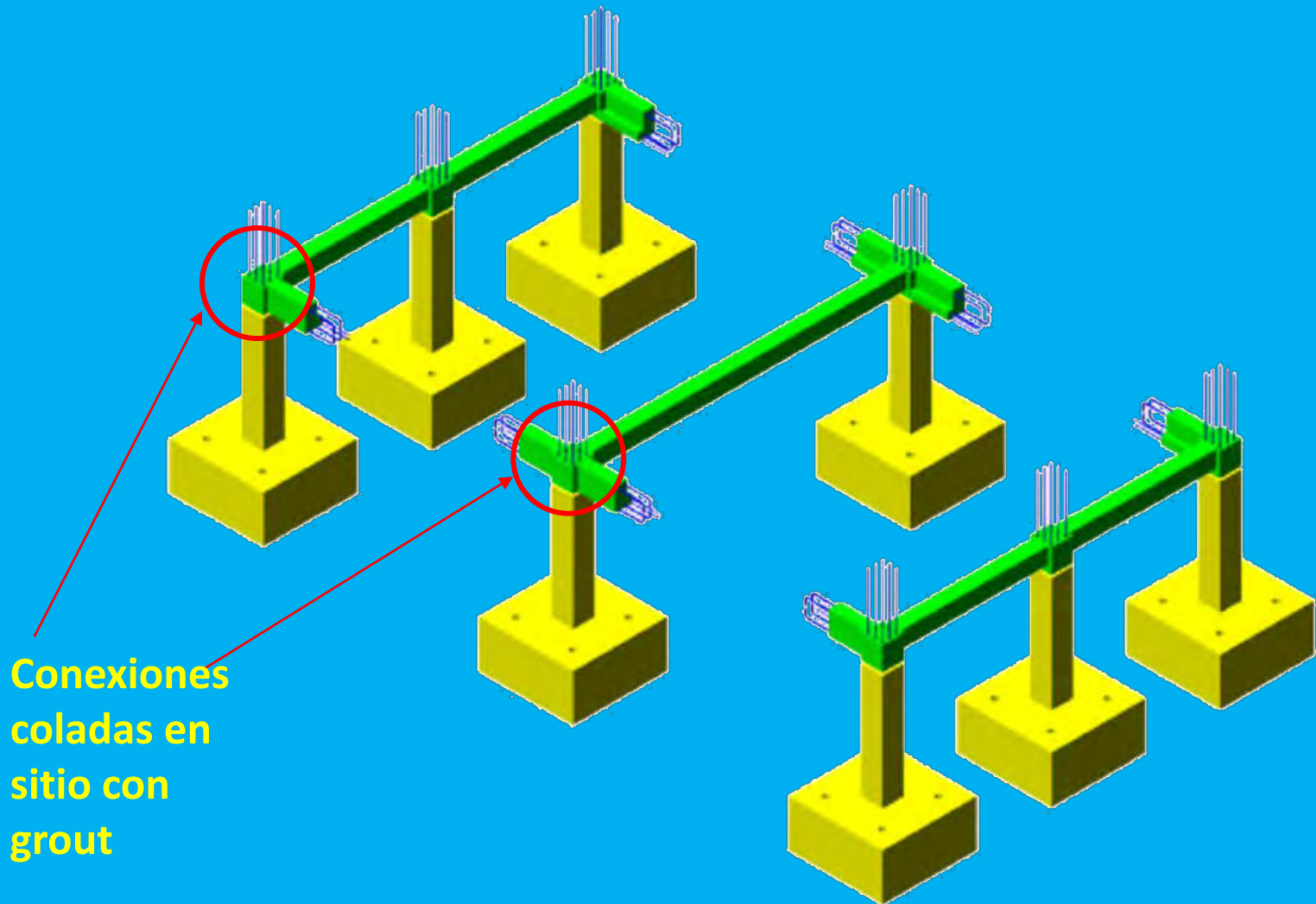
Vigas prefabricadas



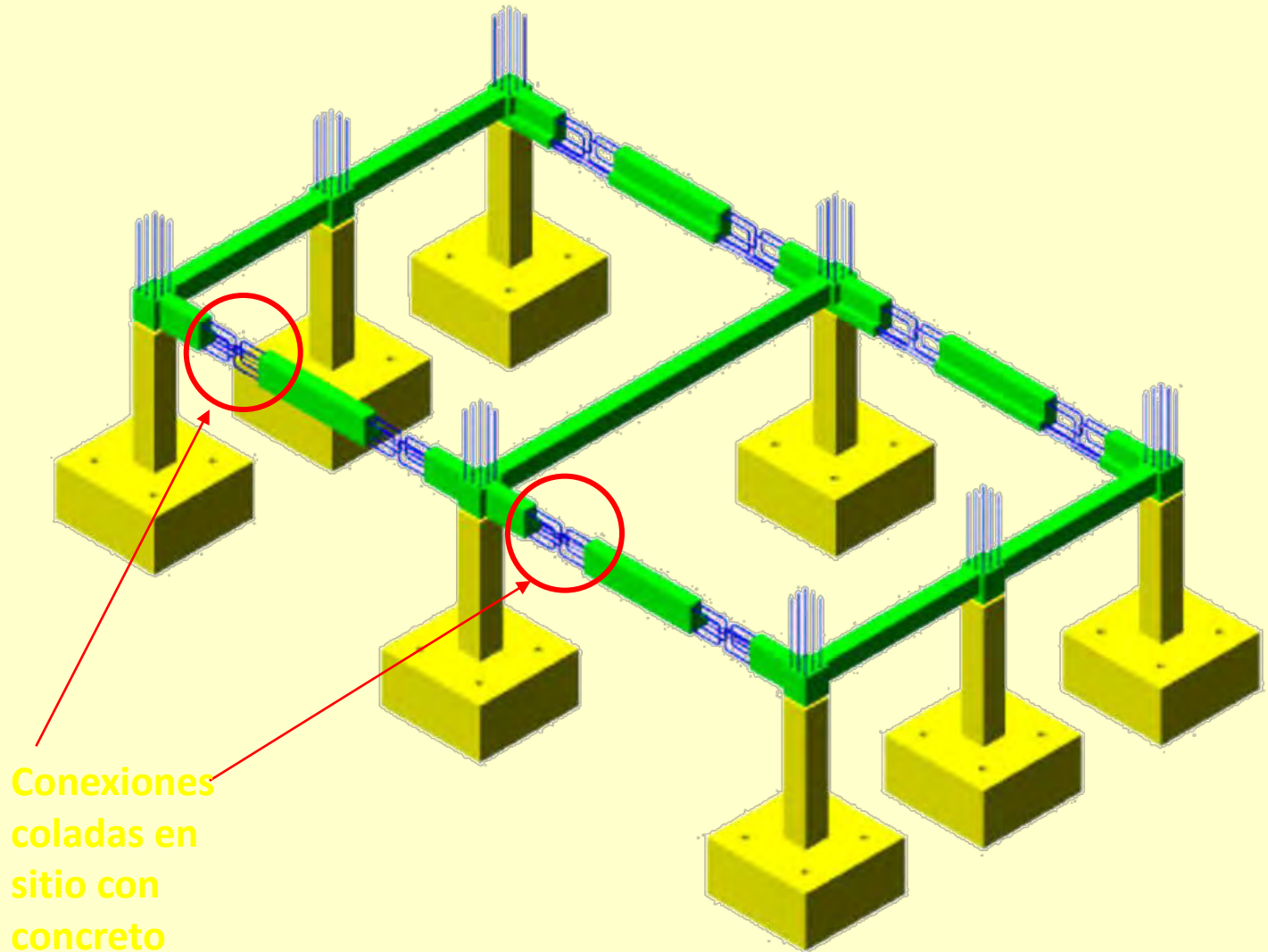
CONSTRUCCIÓN DEL ESPÉCIMEN



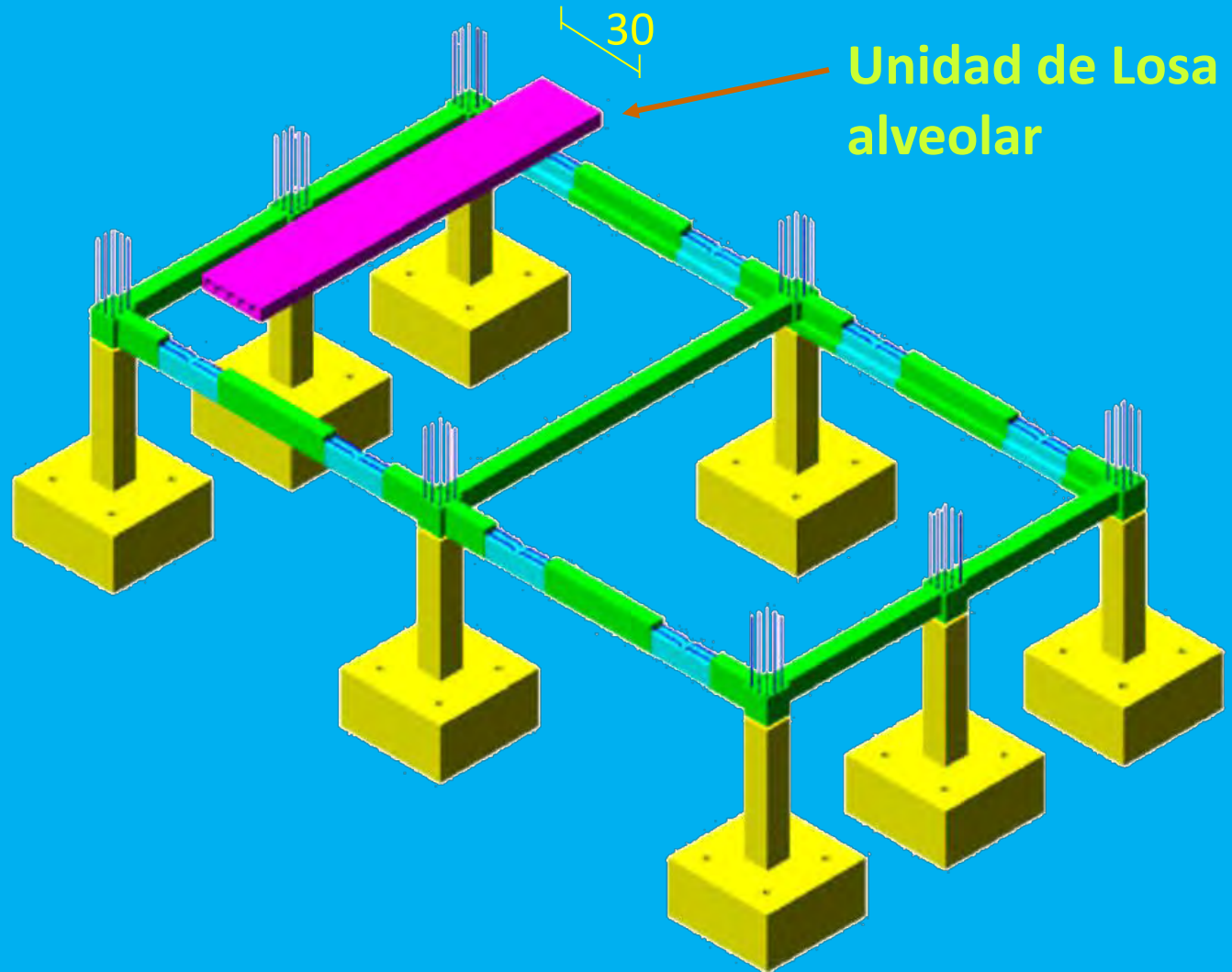
CONSTRUCCIÓN DEL ESPÉCIMEN



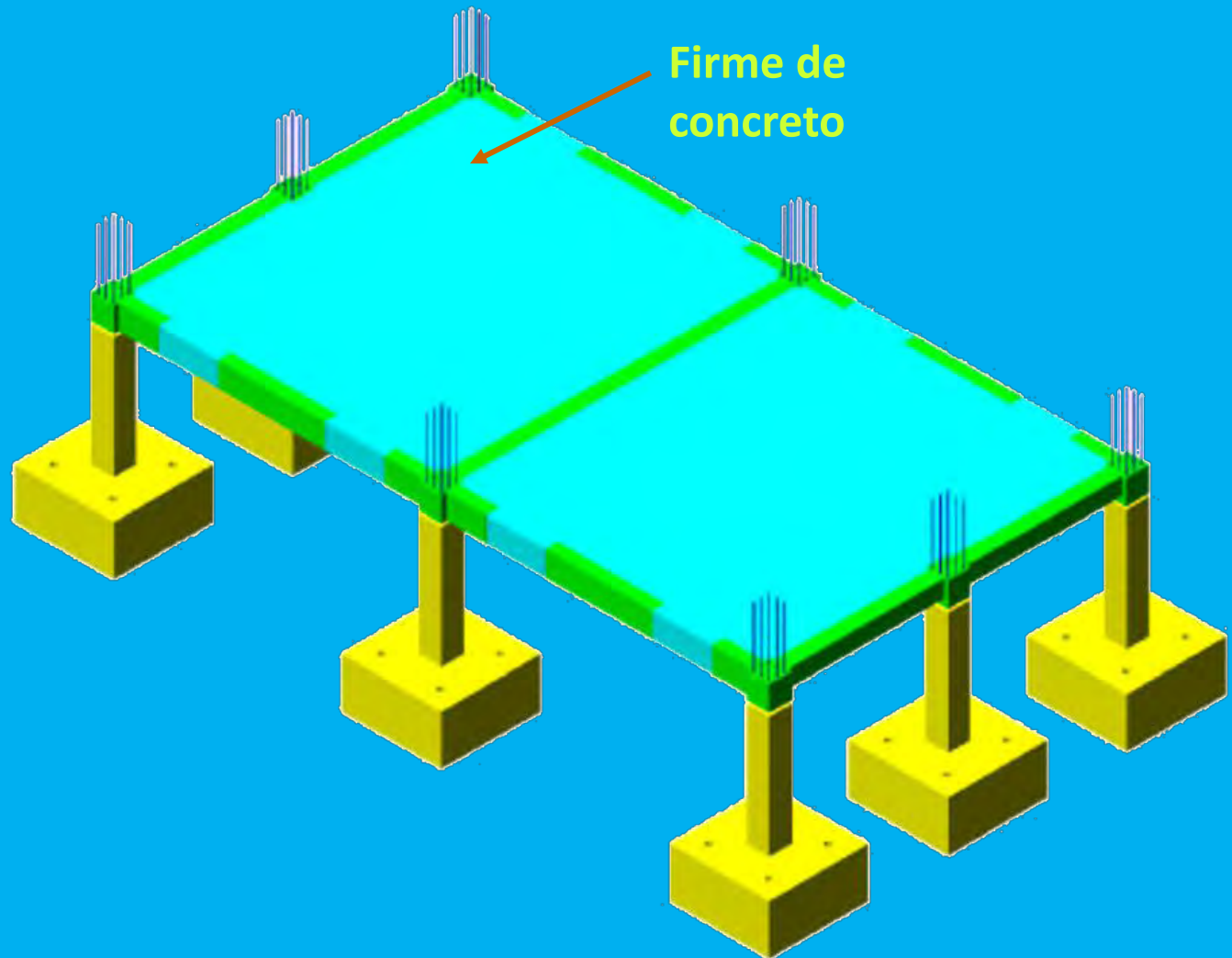
CONSTRUCCION DEL ESPECIMEN



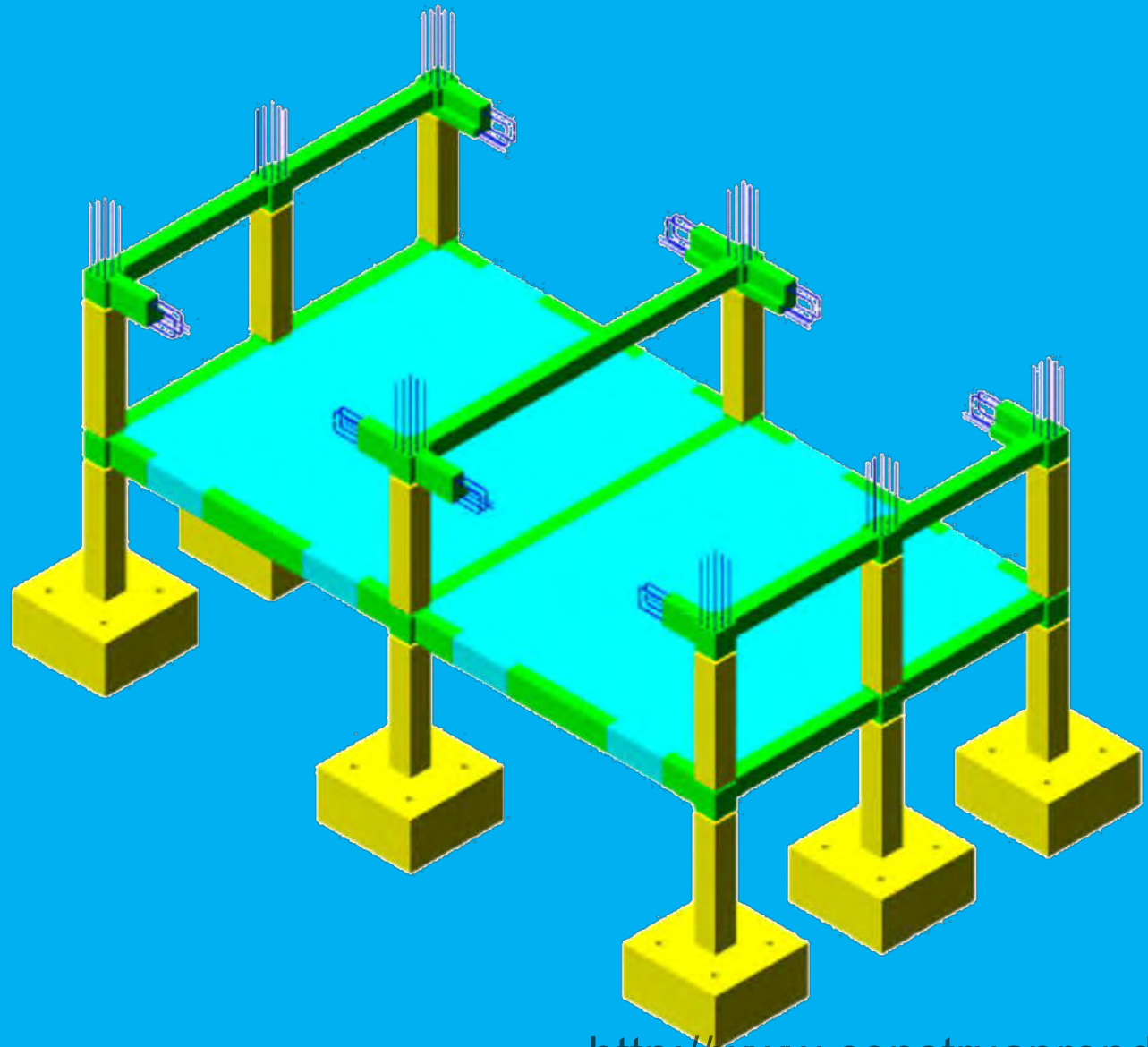
CONSTRUCCION DEL ESPECIMEN



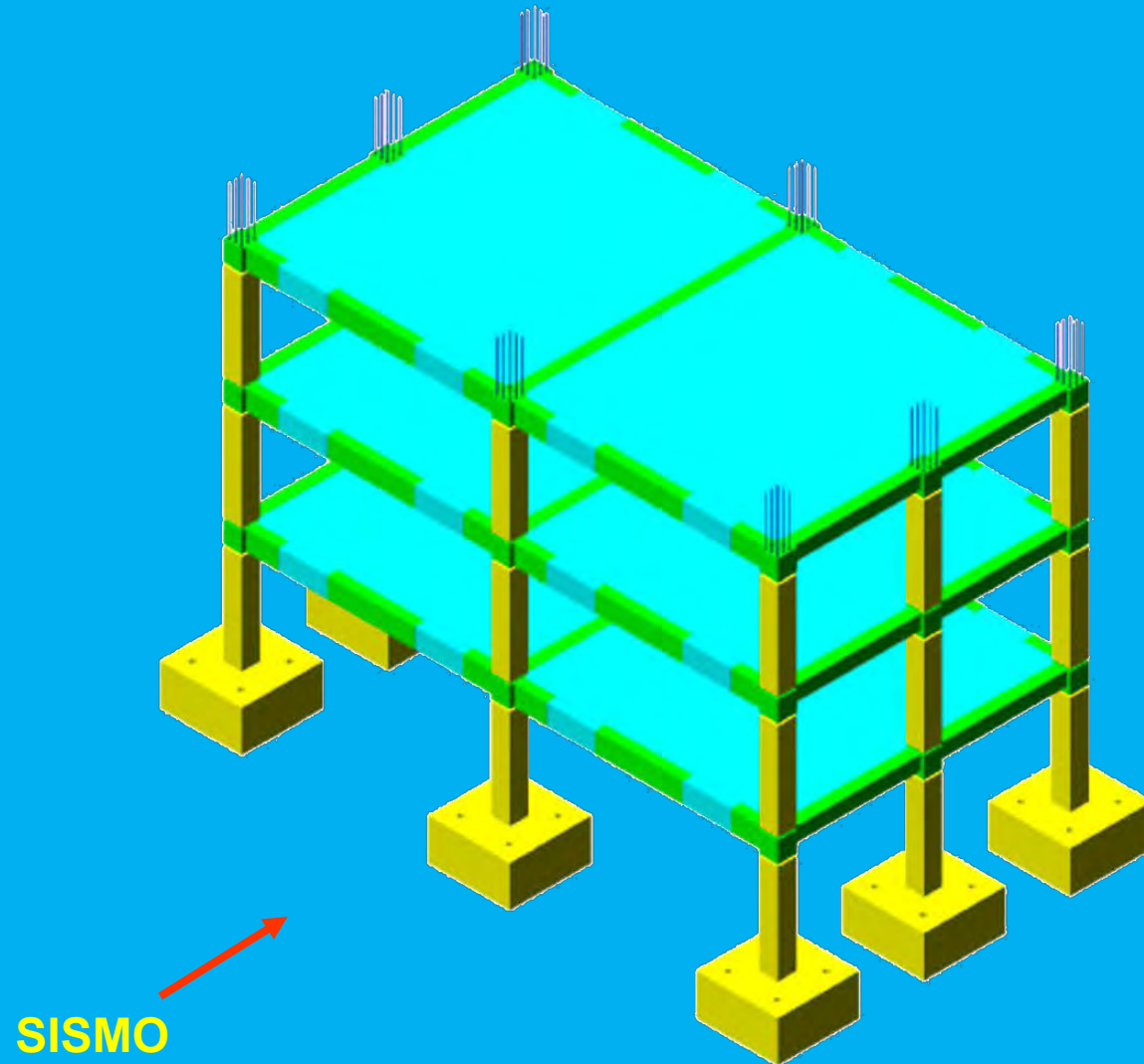
CONSTRUCCION DEL ESPECIMEN



CONSTRUCCION DEL ESPECIMEN



CONSTRUCCION DEL ESPECIMEN

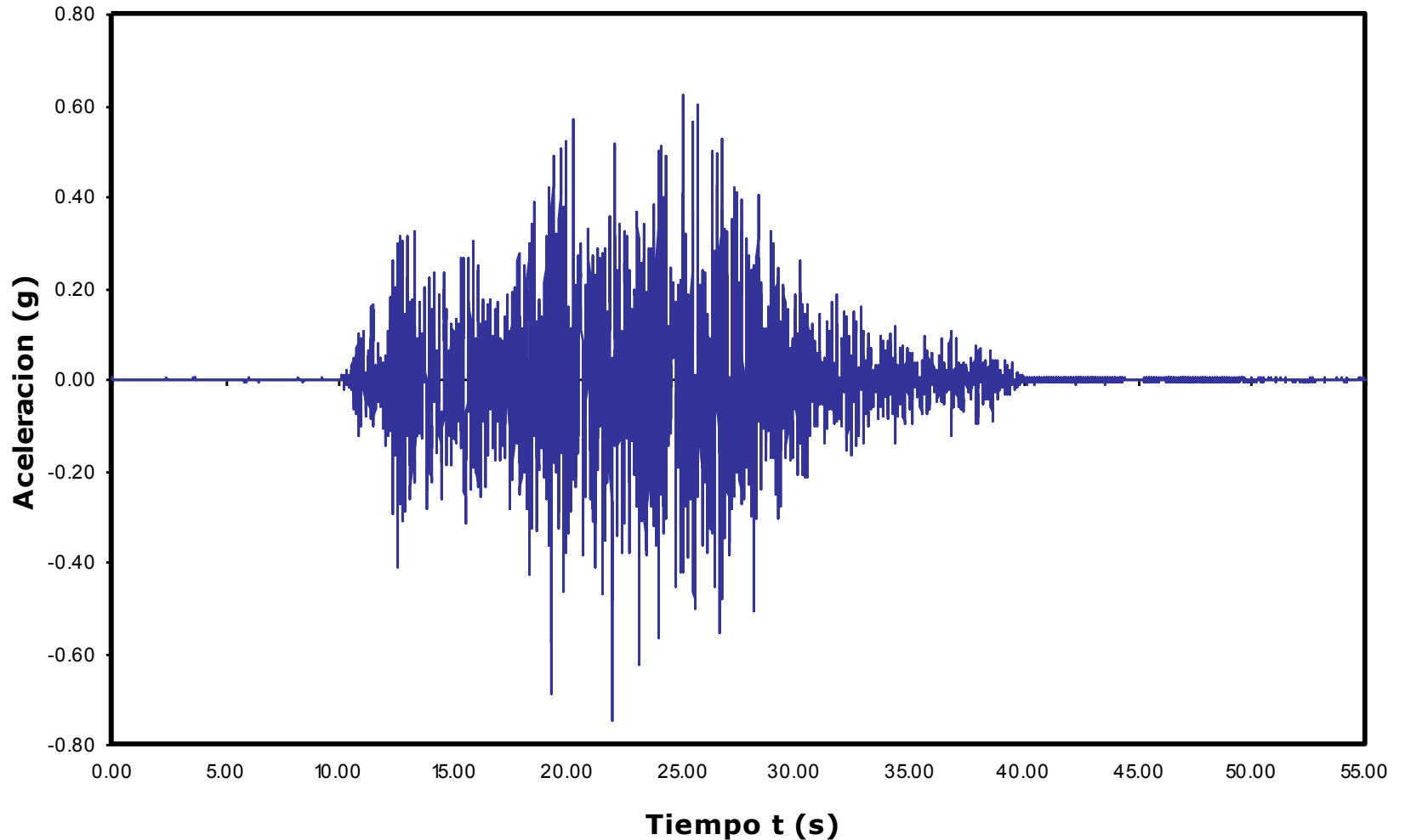


MODELO INSTRUMENTADO SOBRE LA MESA VIBRADORA



**Movimiento
sísmico**

Aceleración de la Base - Lollole 100%



Registro de aceleraciones (100%) empleado en el edificio prefabricado para ensaye en mesa vibradora

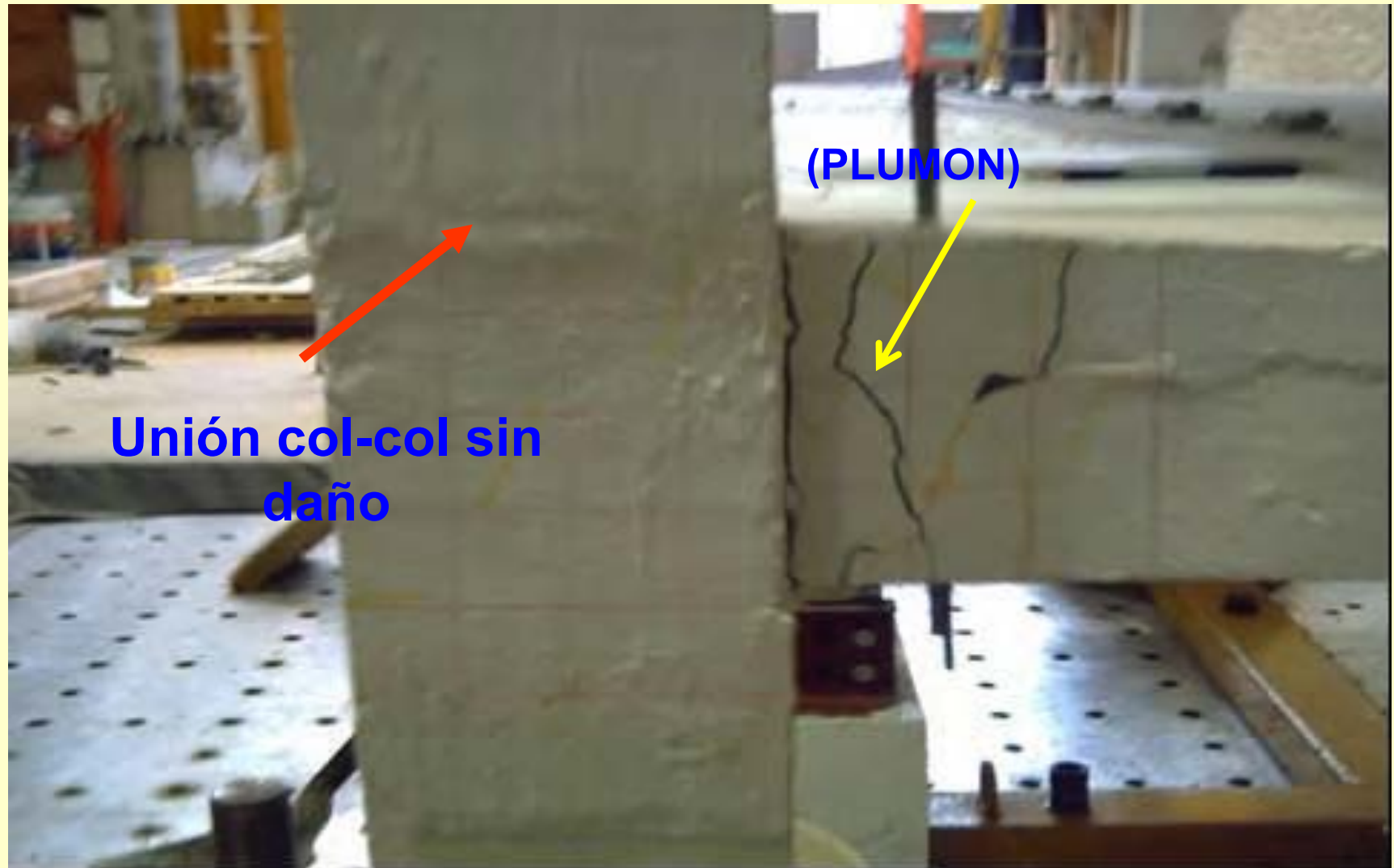


Grietas de 8
mm

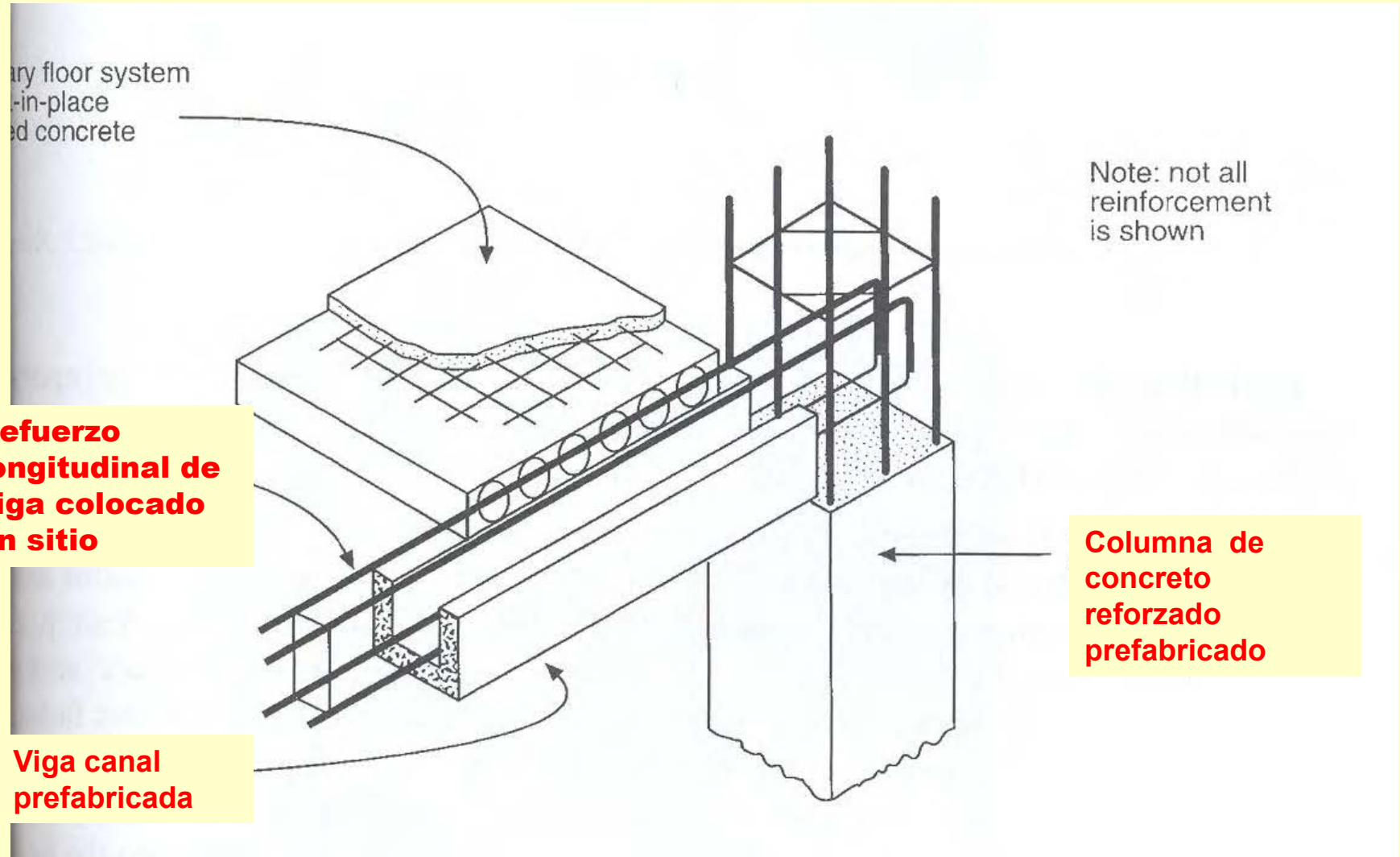
Fotografía de la losa cerca de Columna C-3 después de ensaye Llolelo 250%



Vista de unión viga-columna del primer nivel después del ensaye L1010 250%



INVESTIGACIONES EN NUEVA ZELANDIA EMPLEANDO EL CONCEPTO DE EMULACION EN LA PREFABRICACION. EMPLEO DE VIGA CANAL PREFABRICADA (En México se emplea una variante)



SISTEMAS DE PISO (DIAFRAGMAS) EN EDIFICIOS

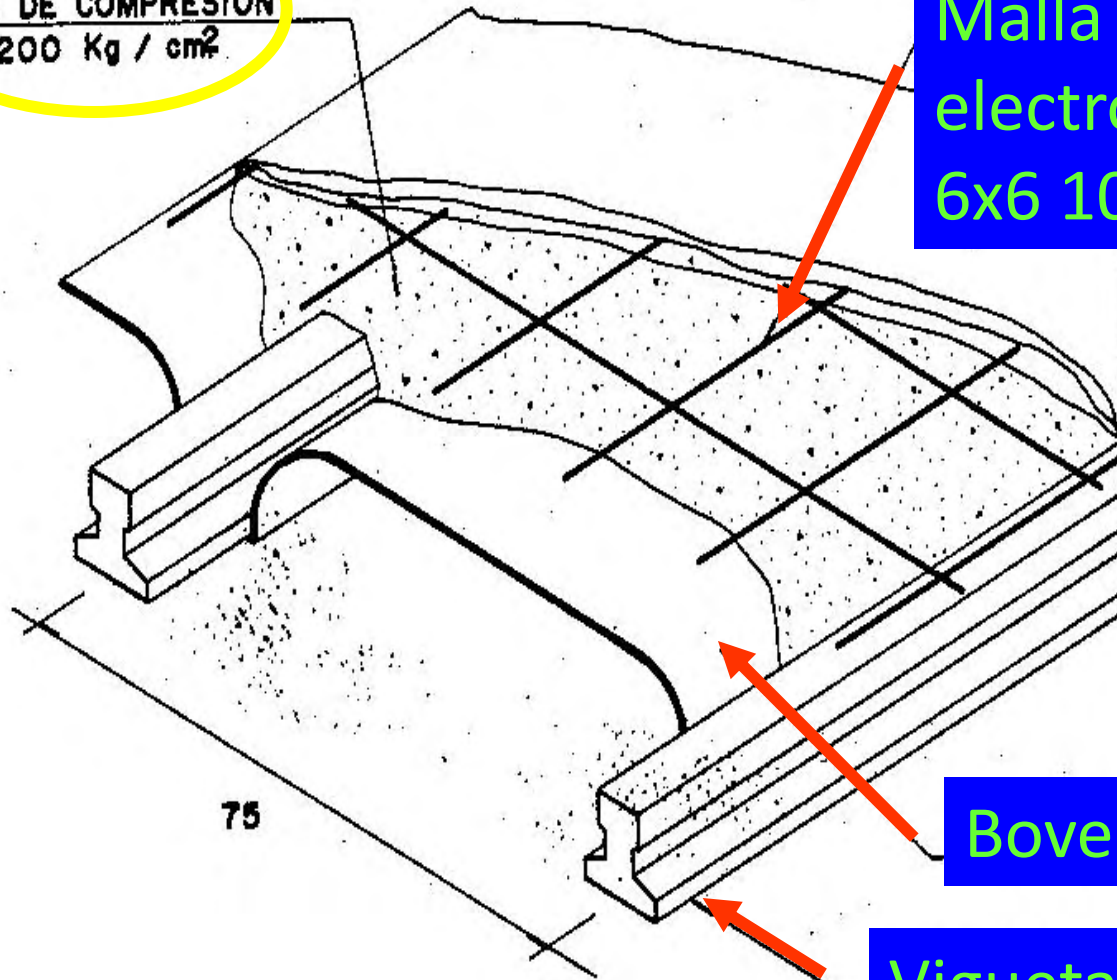




SISTEMAS DE PISO PREFABRICADOS EN EDIFICIOS EN MÉXICO

CAPA DE COMPRESION
 $f'_c = 200 \text{ Kg / cm}^2$

Malla
electrosoldada
6x6 10/10



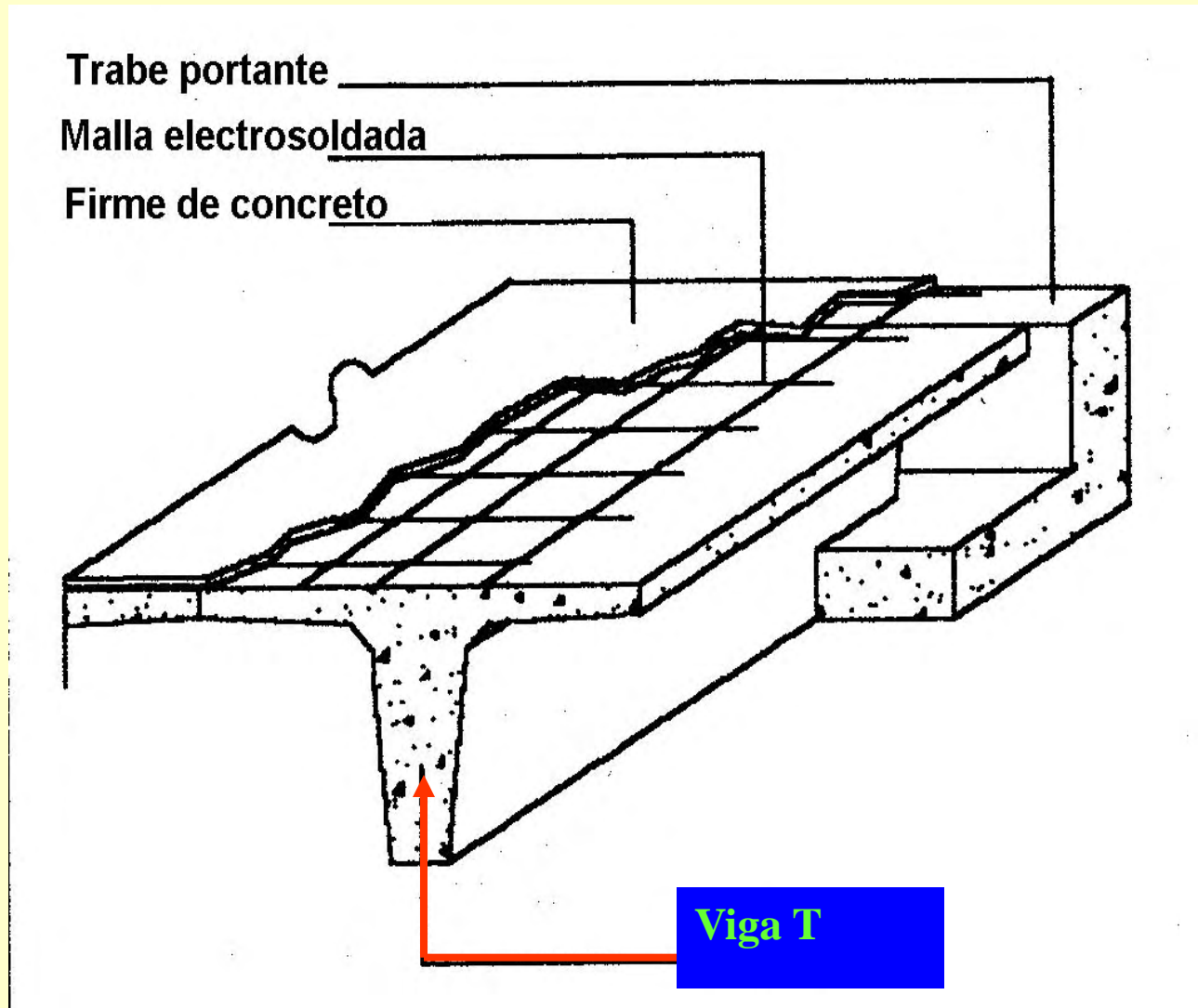
Bovedilla

Vigüeta

SISTEMA VIGUETA Y BOVEDILLA EN MÉXICO

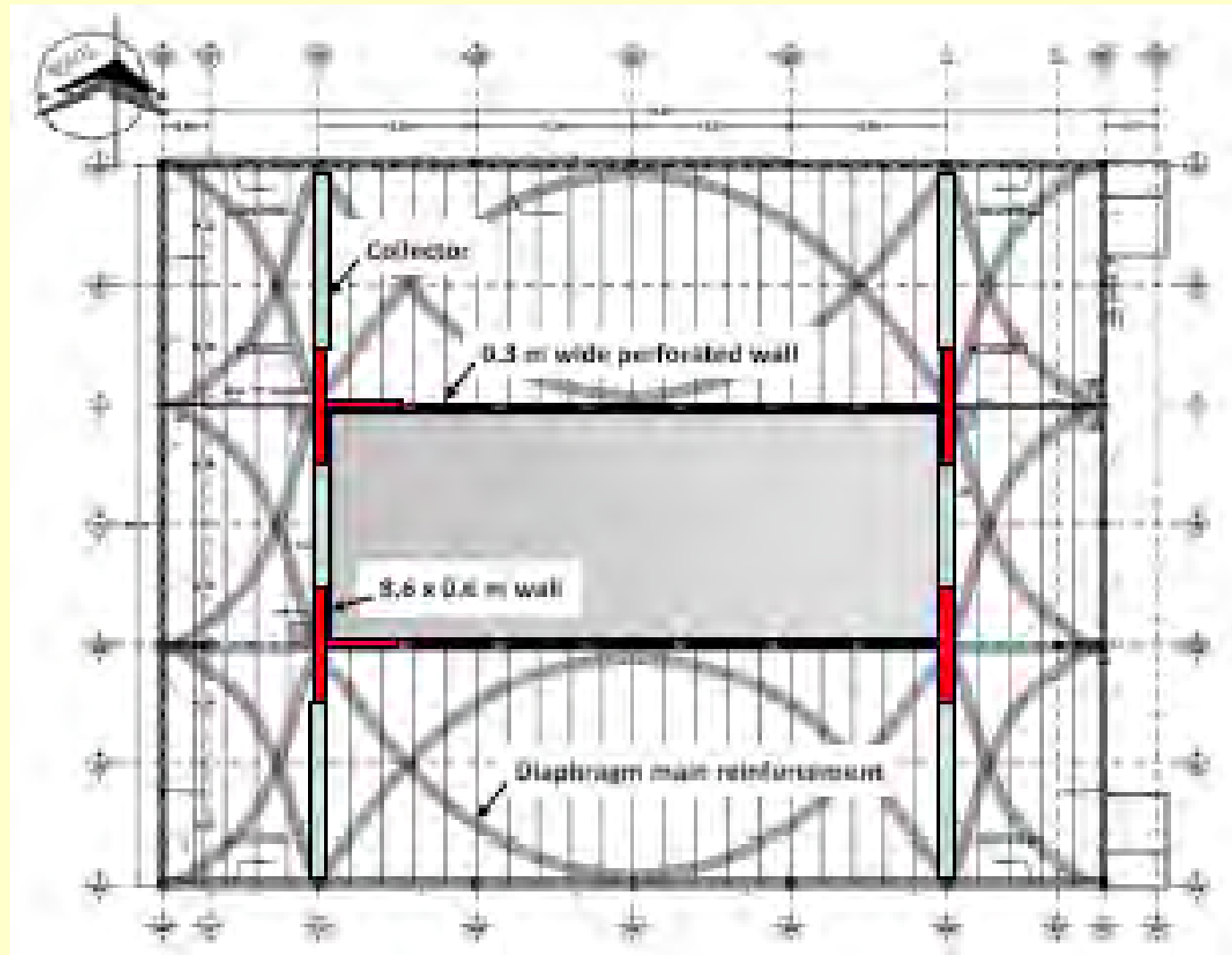


VIGAS "T" O "DOBLE T" PARA SISTEMAS DE PISO PREFABRICADOS





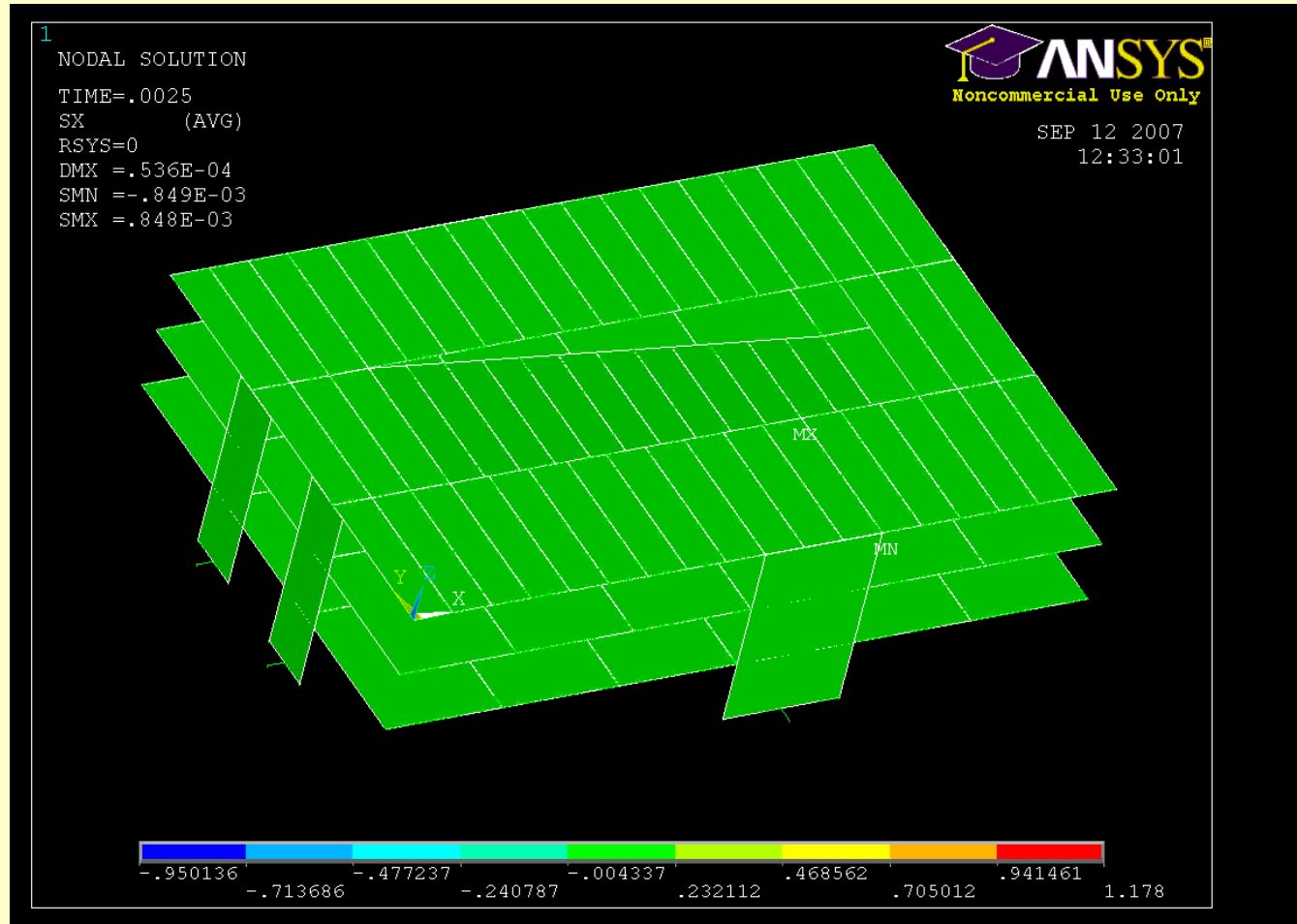
**COLADO DE FIRME EN EDIFICIO DE 15 NIVELES EN
EL DF, PREFABRICADO A BASE DE MARCOS DE CR**



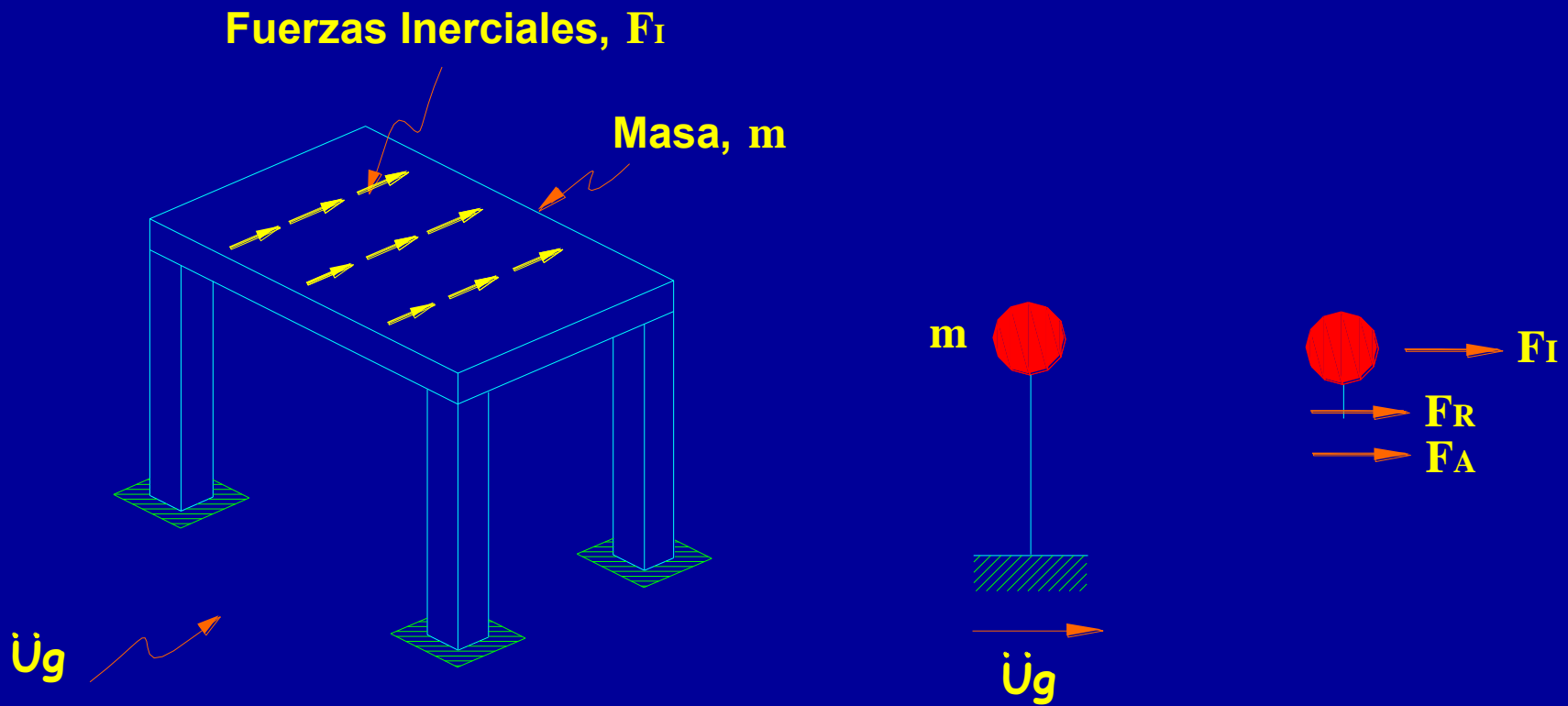
**PLANTA DEL EDIFICIO DE ESTACIONAMIENTO
PREFABRICADO DE CUATRO NIVELES EN MEXICALI,
MÉXICO**

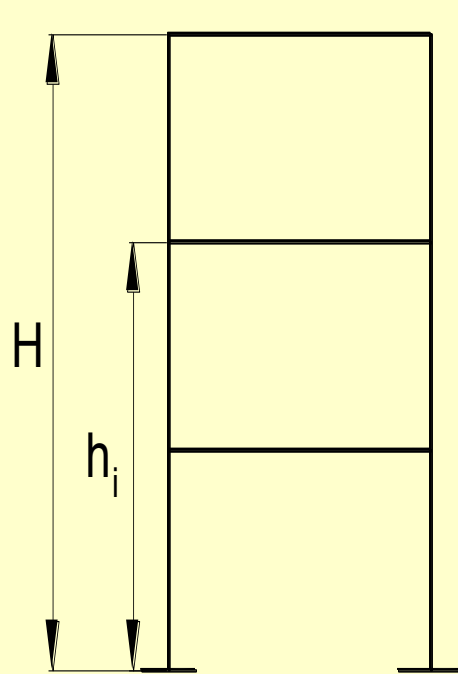


¿QUE ES UN DIAFRAGMA?

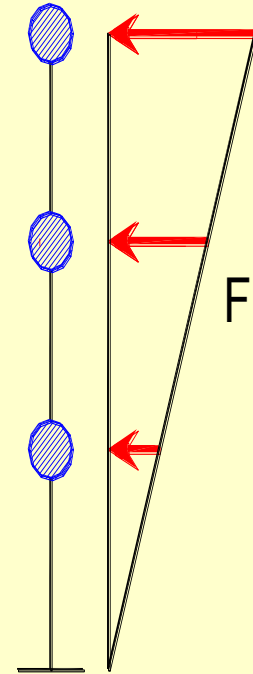


FUERZAS INERCIALES EN DIAFRAGMAS DE EDIFICIOS

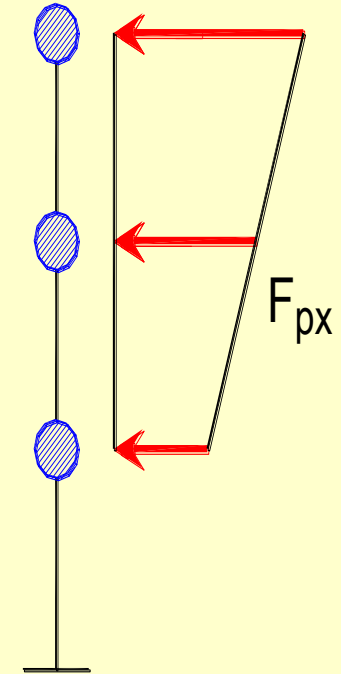




a) Sistema sismo-resistente
a) Lateral System



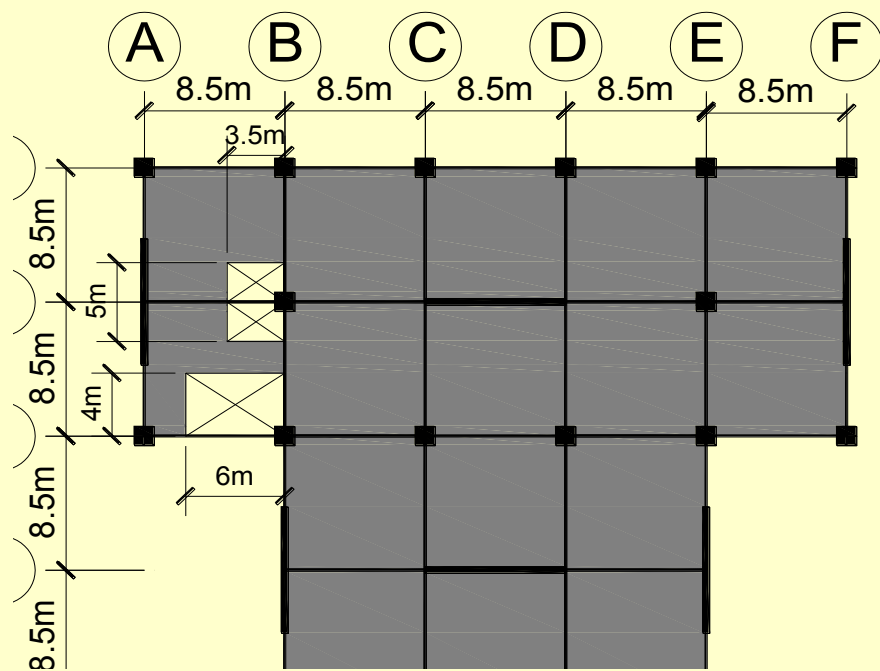
b) Fuerzas en la estructura
b) Forces in
Lateral System



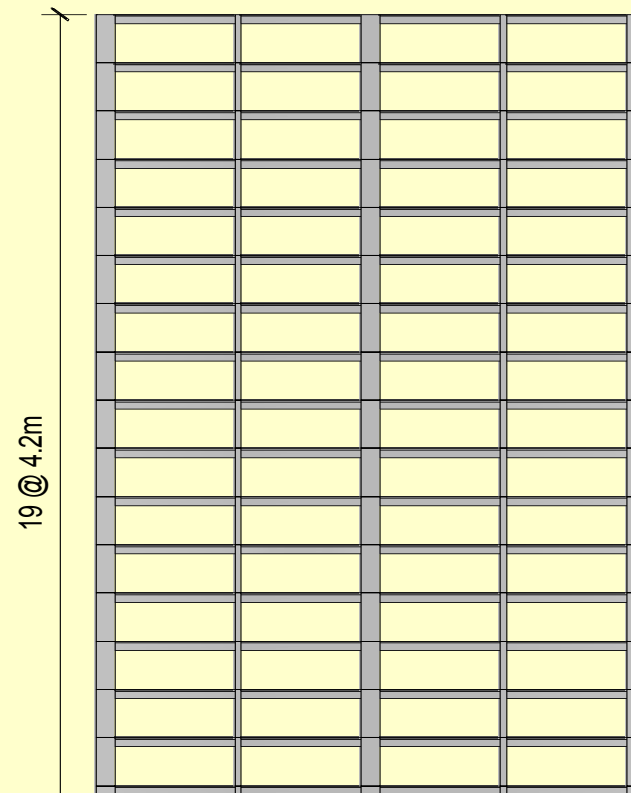
c) Fuerzas en el diafragma
c) Forces in
Diaphragms

FUERZAS ACTUANTES EN EL SISTEMA LATERAL SISMO-RESISTENTE Y EN DIAFRAGMAS





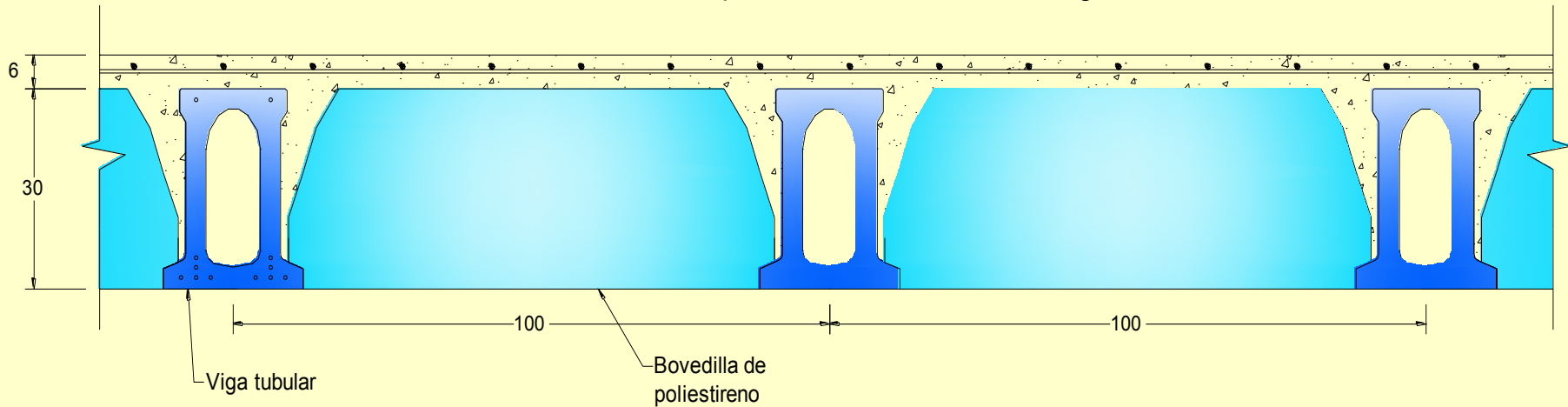
Planta



Elevacion

Edificio de 20 niveles de CR en zona III a de la zonificacion de las NTDS 2004 , $c = 0.4$

P.p. Losa + firme 6cm = 270 kg/m²



Detalle de viga tubular de 30 cm, bovedilla, y firme de 6 cm



| Opción 1: Sistema de piso con losa maciza (peralte h= 17 cm) | |
|---|-------|
| Área de la planta del edificio (m ²) | 1156 |
| Volumen de concreto requerido (m ³) | 150.4 |
| Acero requerido (kg) | 14678 |

| | |
|--|--------------|
| Volumen de concreto requerido por m ² (m ³ /m ²) | 0.13 |
| Acero requerido por m ² (kg/m ²) | 12.70 |

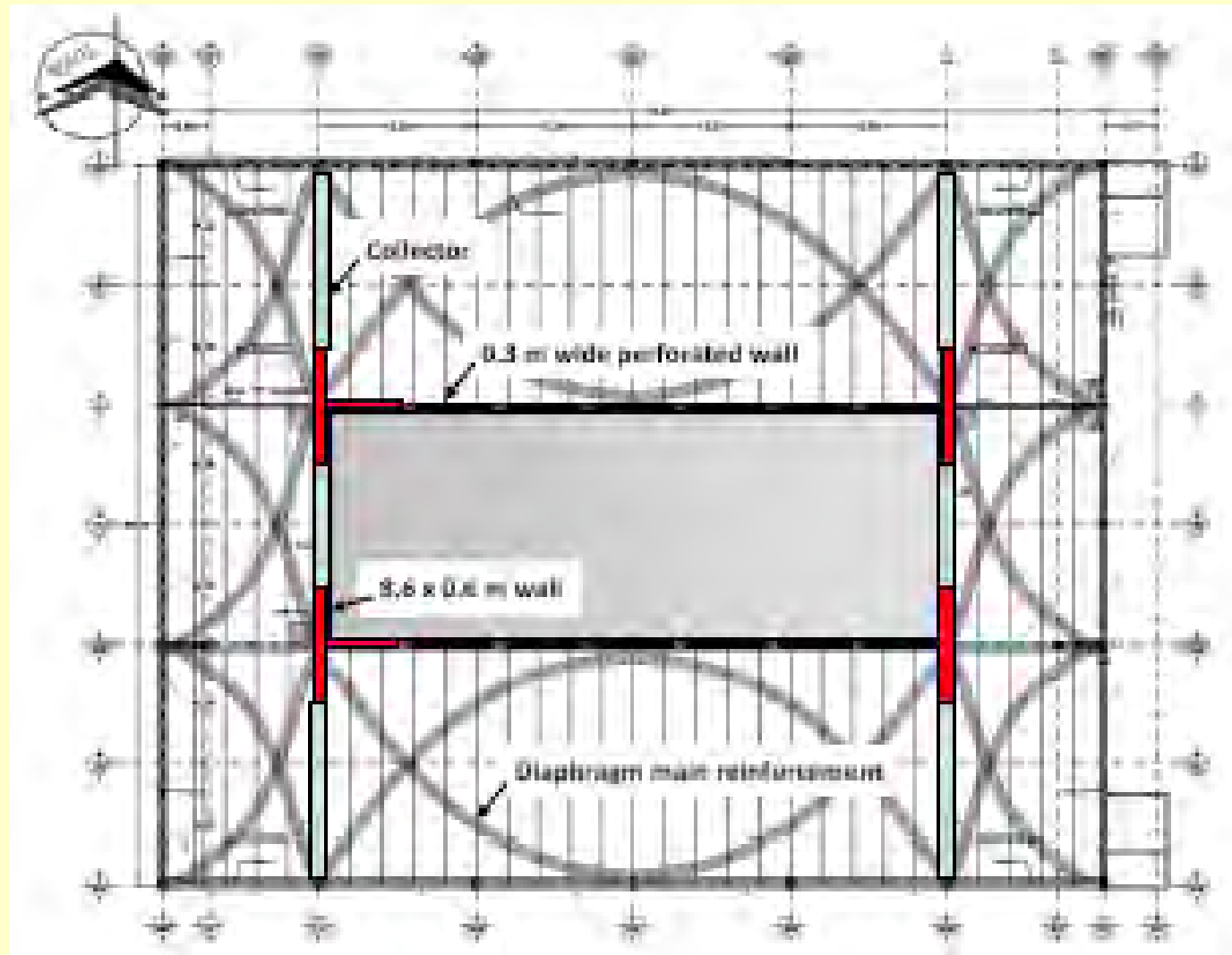
| Opción 2: Sistema de piso con losa tubular (Altura h= 30 cm + 6 cm) | |
|--|------|
| Área de la planta del edificio (m ²) | 1156 |
| Volumen de concreto requerido (m ³)* | 104 |
| Alambre requerido (kg) | 2083 |
| Acero requerido (kg) | 4323 |

| | |
|---|-------------|
| Volumen de concreto requerido (m ³ /m ²) | 0.09 |
| Alambre requerido por m ² (kg/m ²) | 1.80 |
| Acero requerido por m ² (kg/m ²) | 3.74 |

* incluye el concreto del firme

| Relación volumen de concreto (m³) | |
|---|-------------|
| <i>opción 1 / opción 2 =</i> | 1.45 |





**PLANTA DEL EDIFICIO DE ESTACIONAMIENTO
PREFABRICADO DE CUATRO NIVELES EN MEXICALI,
MÉXICO**





SISMO DE ABRIL 2010 EN MEXICALI

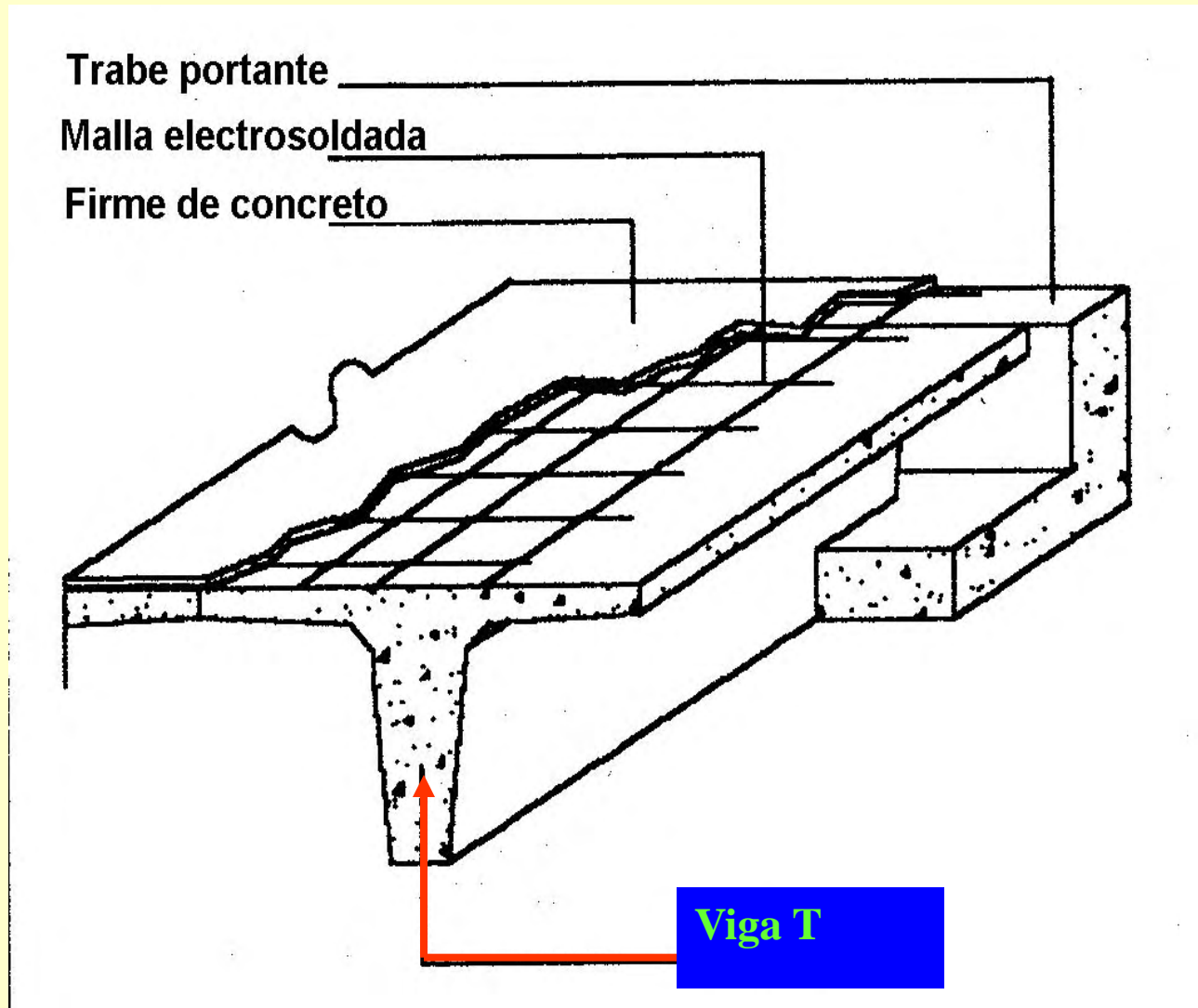




**BUEN COMPORTAMIENTO DE LA ZONA DE RAMPA
CON FIRME**



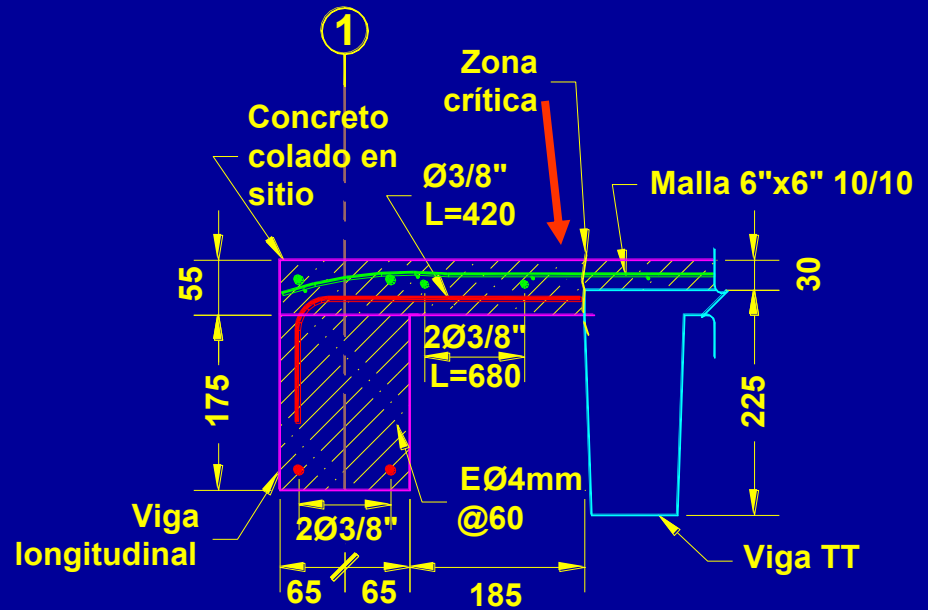
VIGAS "T" O "DOBLE T" PARA SISTEMAS DE PISO PREFABRICADOS



ESTUDIO EXPERIMENTAL DE EDIFICIO PREFABRICADO EN EL II DE LA UNAM

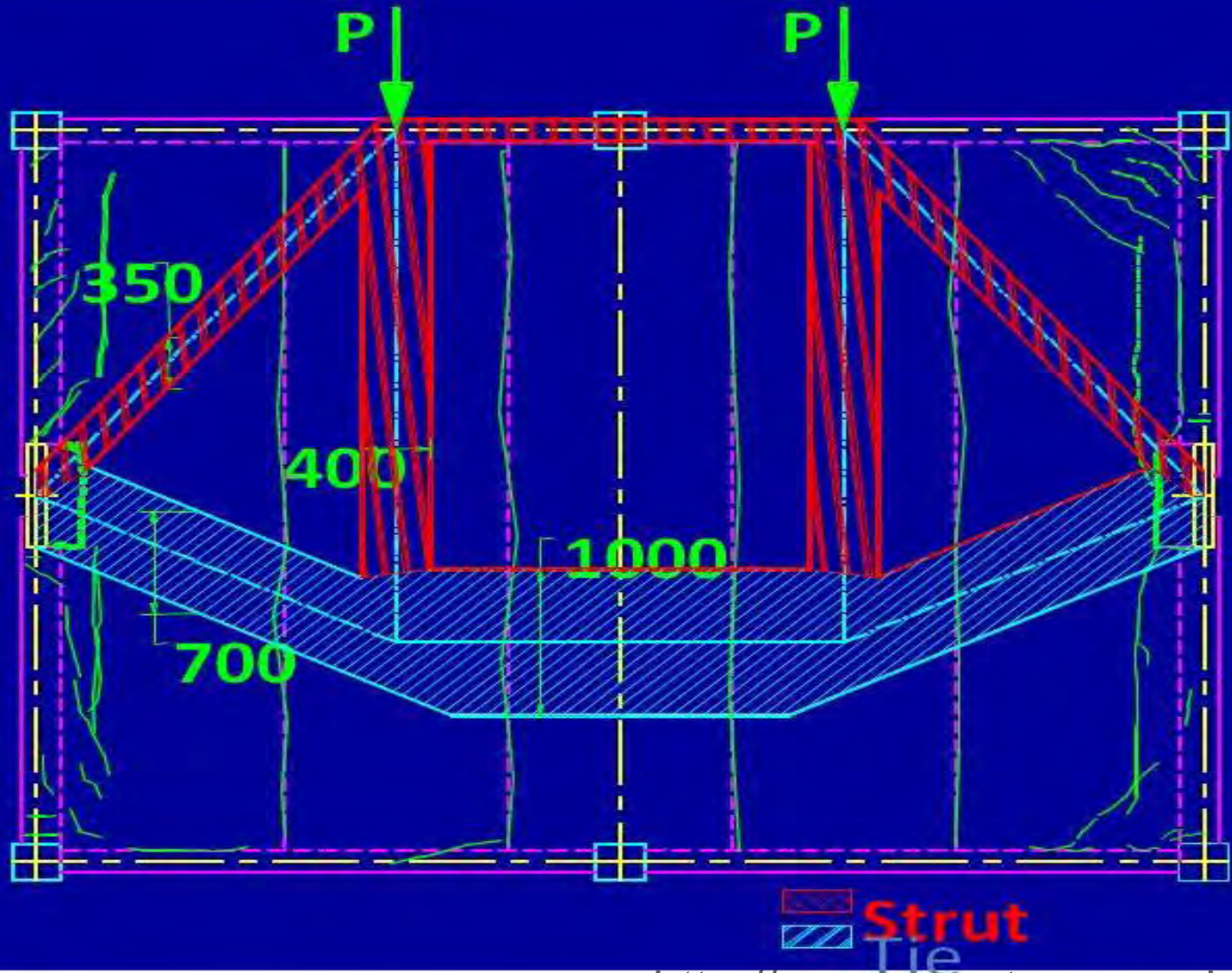


DAÑO AL FINAL DEL ENSAYE . VISTA SUPERIOR DEL FIRME (NIVEL 2)

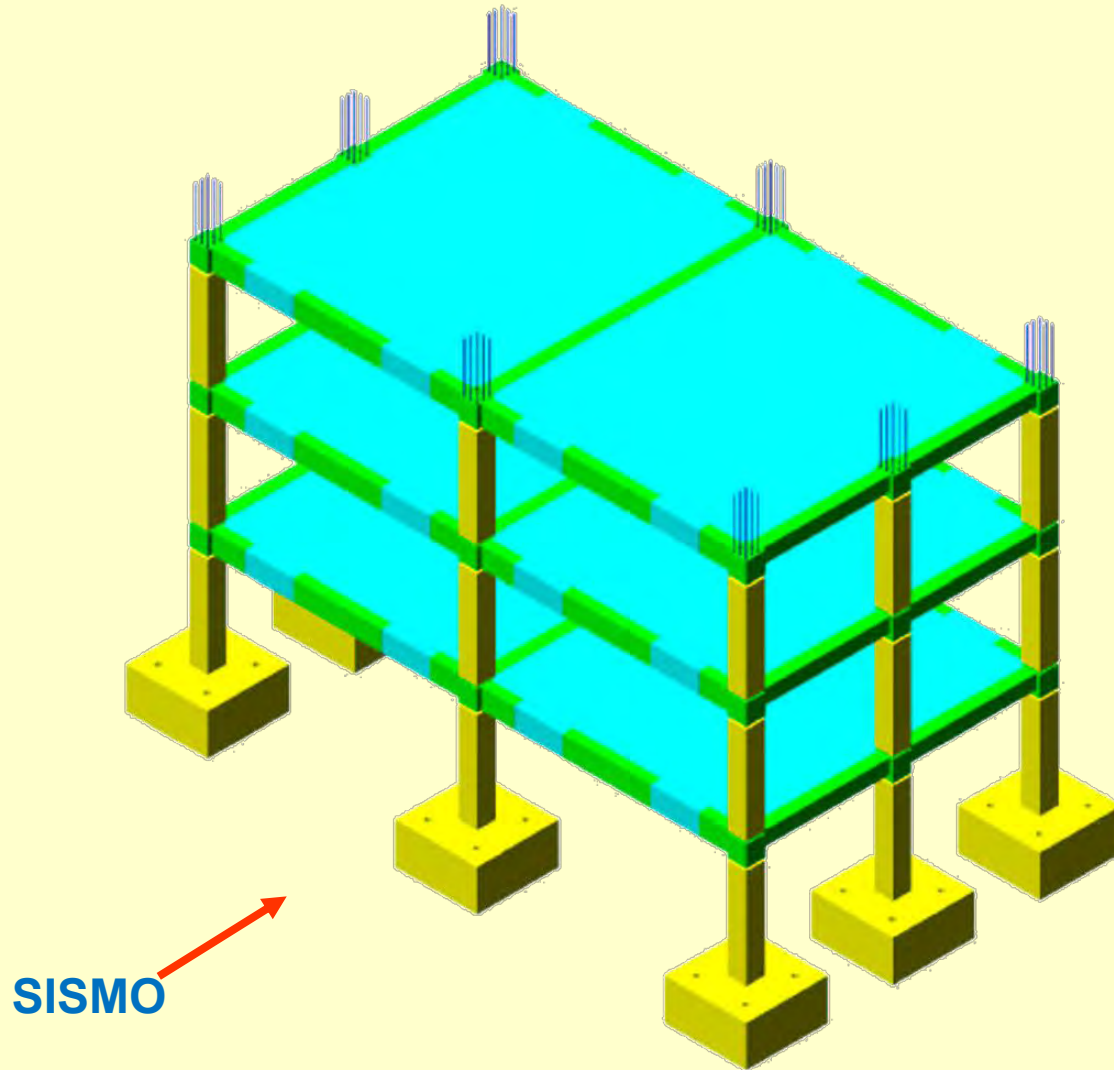


Sección B-B
(no se muestra muro)

MODELO SIMPLE DE PUNTALE Y TIRANTE PARA DIAFRAGMA DE ESPECIMEN ENSAYADO

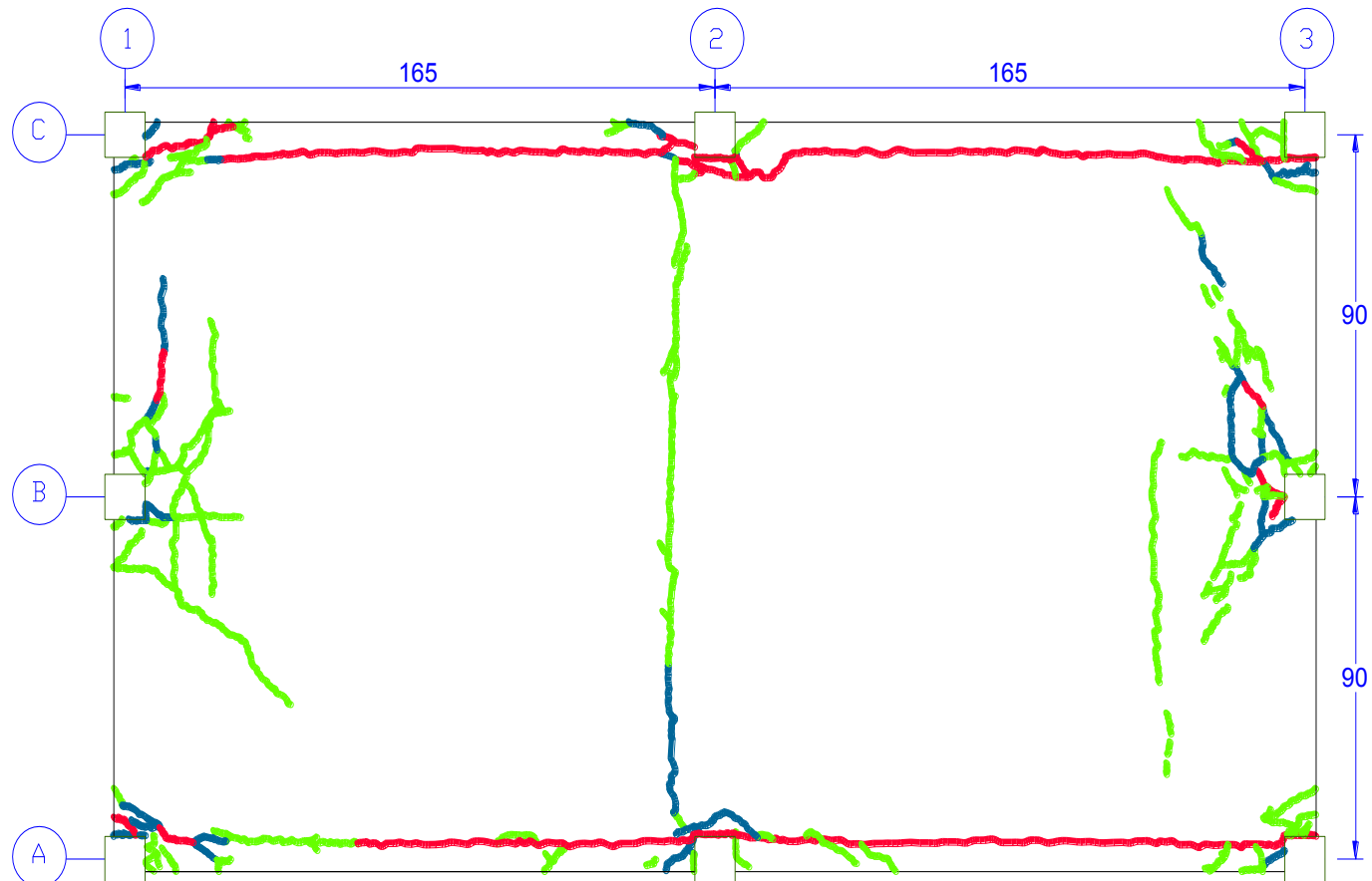


ESPECIMEN ENSAYADO EN EL II, UNAM, QUE EMPLEA EMULACION



ENSAYE ANTE SISMO DE INTENSIDAD ALTA: GRIETAS NIVEL 1

Después de la ultima señal (Llolleo 250%), el daño fue:



Dimension de grietas:

- Menores a 0.30 mm
- 0.30 - 0.50 mm
- Mayores a 0.60 mm

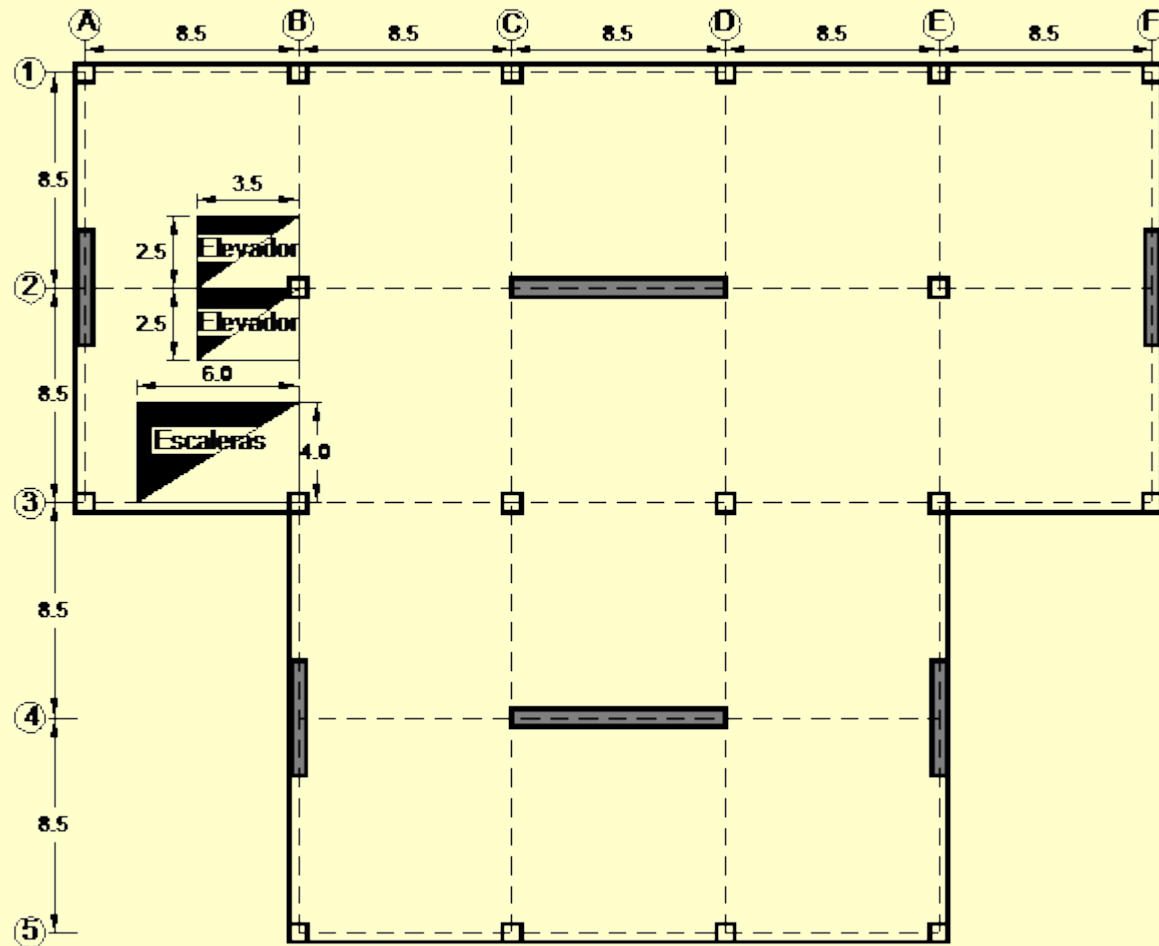
LOSA PRIMER NIVEL

Dimensiones en cm



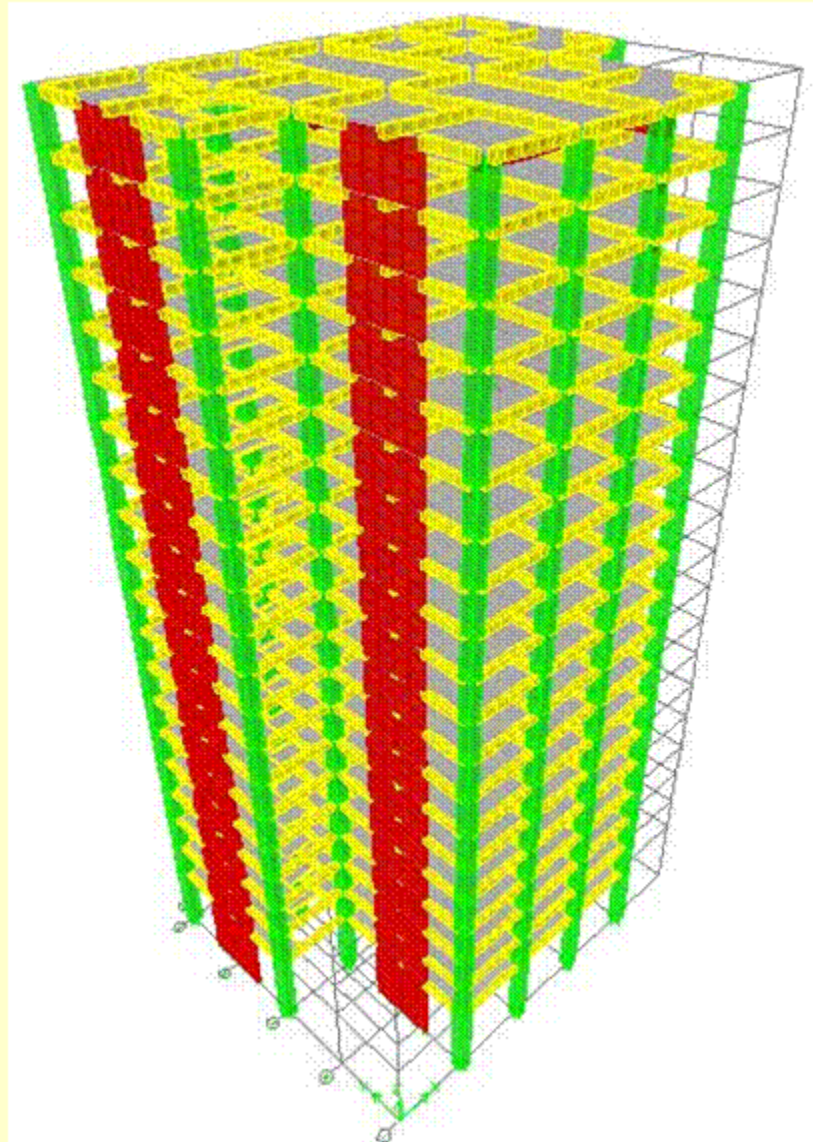
Fotografía de la losa cerca de Columna C-3 después de ensaye L1olleo 250%





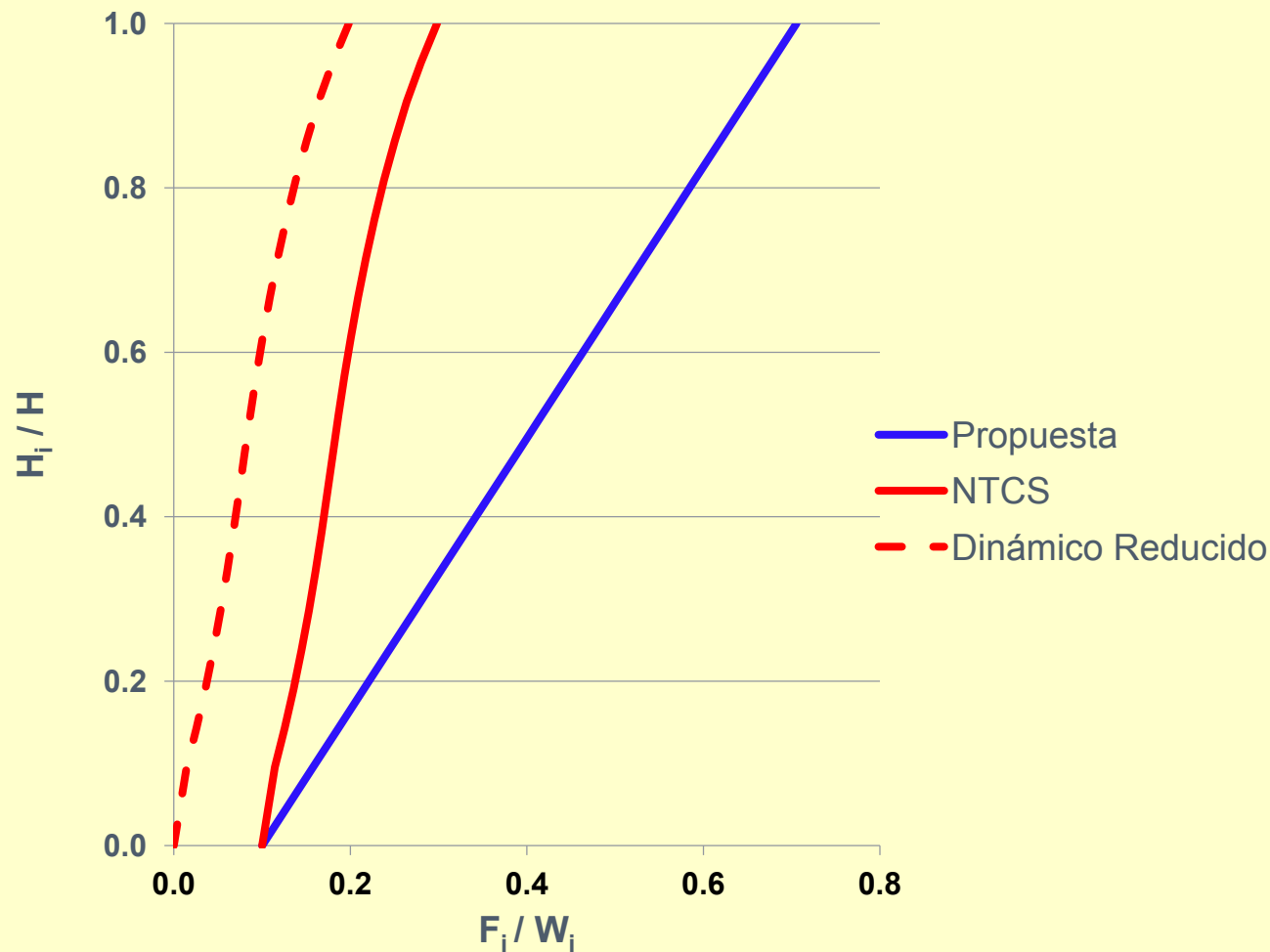
PLANTA

PLANTA DE EDIFICIO DE CONCRETO REFORZADO DE 20 NIVELES EN ZONA IIIa DEL DF



Vista en elevación del modelo en ETABS





Valores de fuerzas sísmicas máximas en diafragmas del edificio de 20 niveles empleando las NTCS y el procedimiento de Rodriguez, Restrepo. Comparación con fuerzas del análisis dinámico

**CONOCIDA LAS FUERZAS INERCIALES
PARA DISEÑAR LOS DIAFRAGMAS DEL
EDIFICIO ¿QUE SIGUE?**

***SIGUE EL DEFINIR LA CANTIDAD Y
DISTRIBUCION DE REFUERZO EN LOS
DIAFRAGMAS :***

- **EMPLEO DE LOS METODOS DEL PUNTAL Y TIRANTE, Y DEL PANEL Y BARRA (STRINGER PANEL)**
- **EVALUACION DE ESFUERZOS EN EL DIAFRAGMA DEL ANALISIS ESTRUCTURAL CONSIDERANDO DEFORMACIONES DEL DIAFRAGMA (ETABS, ETC)**

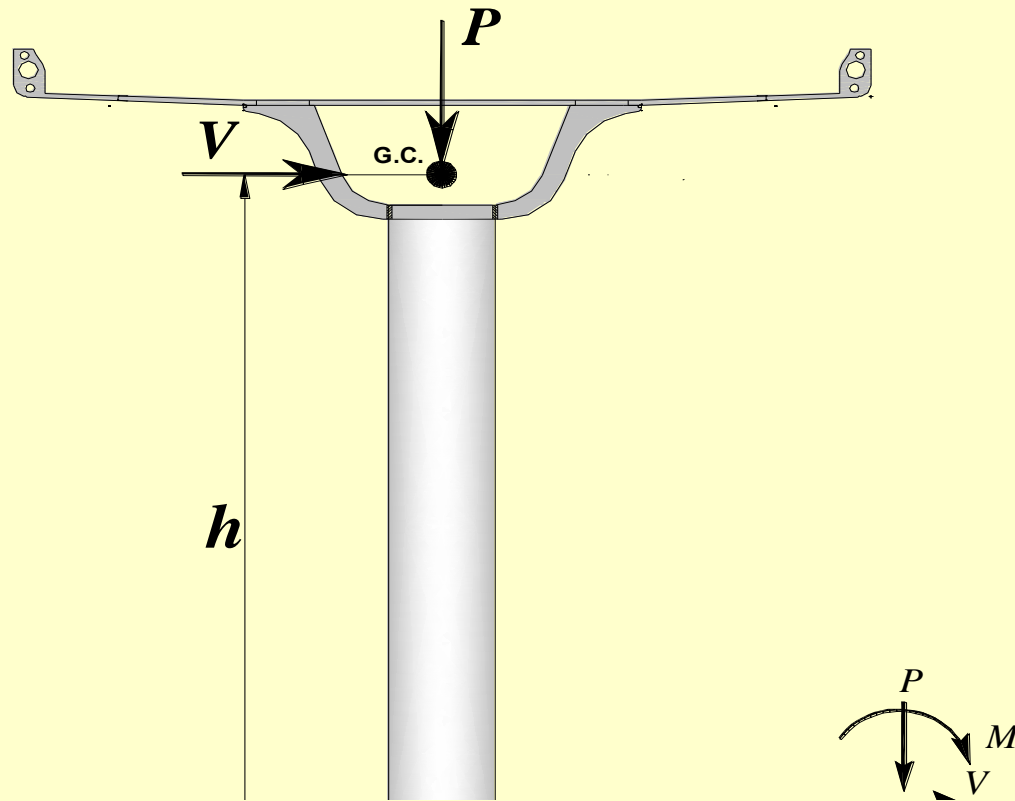
**CONSTRUCCION EN MEXICO
EN PUENTES PREFABRICADOS
DE CONCRETO REFORZADO EN
ZONAS SISMICAS URBANAS**



DISTRIBUIDOR VIAL CIUDAD DE MEXICO (Vigas Gerber)

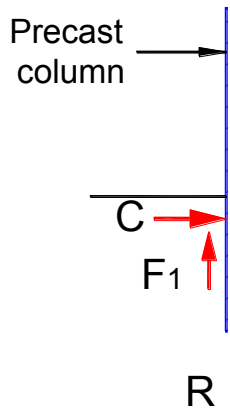


PRIMEROS Puentes DEL SEGUNDO PISO. USO DE COLUMNAS Y TRABES PREFABRICADAS CON CANDELEROS COLADOS EN SITIO

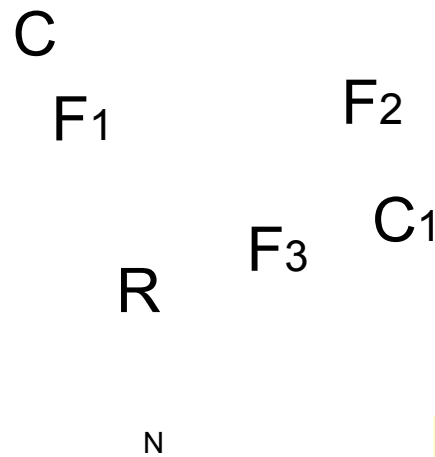


FUERZAS ACTUANTES EN LA CONEXION COLUMNA-CIMENTACION TIPO CANDELERO

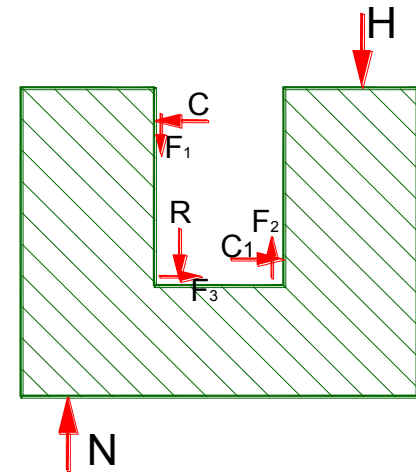
Precast column



a) Columna



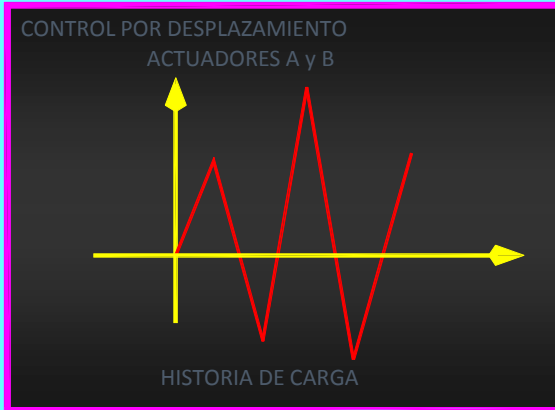
b) Cimentación



c) Cimentación



ESQUEMA DE ENSAYE



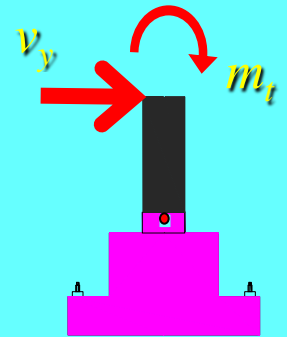
$$m_t = \frac{1}{2} (\text{FUERZA C} - \text{FUERZA D}) L$$

$$v_y = \text{FUERZA A} + \text{FUERZA B}$$

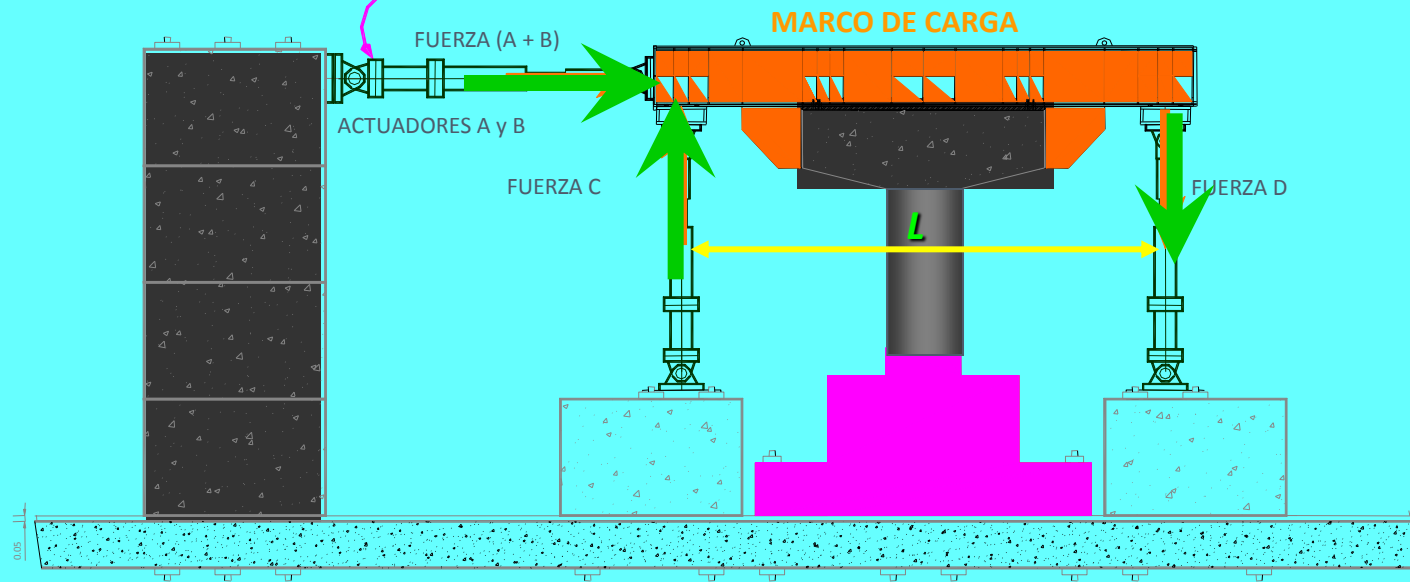
$$\text{FUERZA C} = (\text{ALFA}) * (\text{FUERZA A} + \text{FUERZA B})$$

$$\text{FUERZA D} = - \text{FUERZA C}$$

$$\text{ALFA} = 0.76$$



MURO DE REACCIÓN



ESPÉCIMEN SIN POSTENSADO



TRASDUCTOR
DE CUERDA
DESP. HOR.

FUERZA HOR.
ACT. A Y B
(100 t c/u)

FUERZA VERT.

ACTUADOR
C (50t)

TRASDUCTOR
DE CUERDA



ACTUADOR D
(50t)

DUCTILIDAD 6, CICLOS 1 Y 15



BUEN COMPORTAMIENTO DEL CANDELERO





SISMO

**DISEÑO EN ULTIMOS TRAMOS DE PUENTES:
COLUMNA Y CIMENTACION PREFABRICADA**

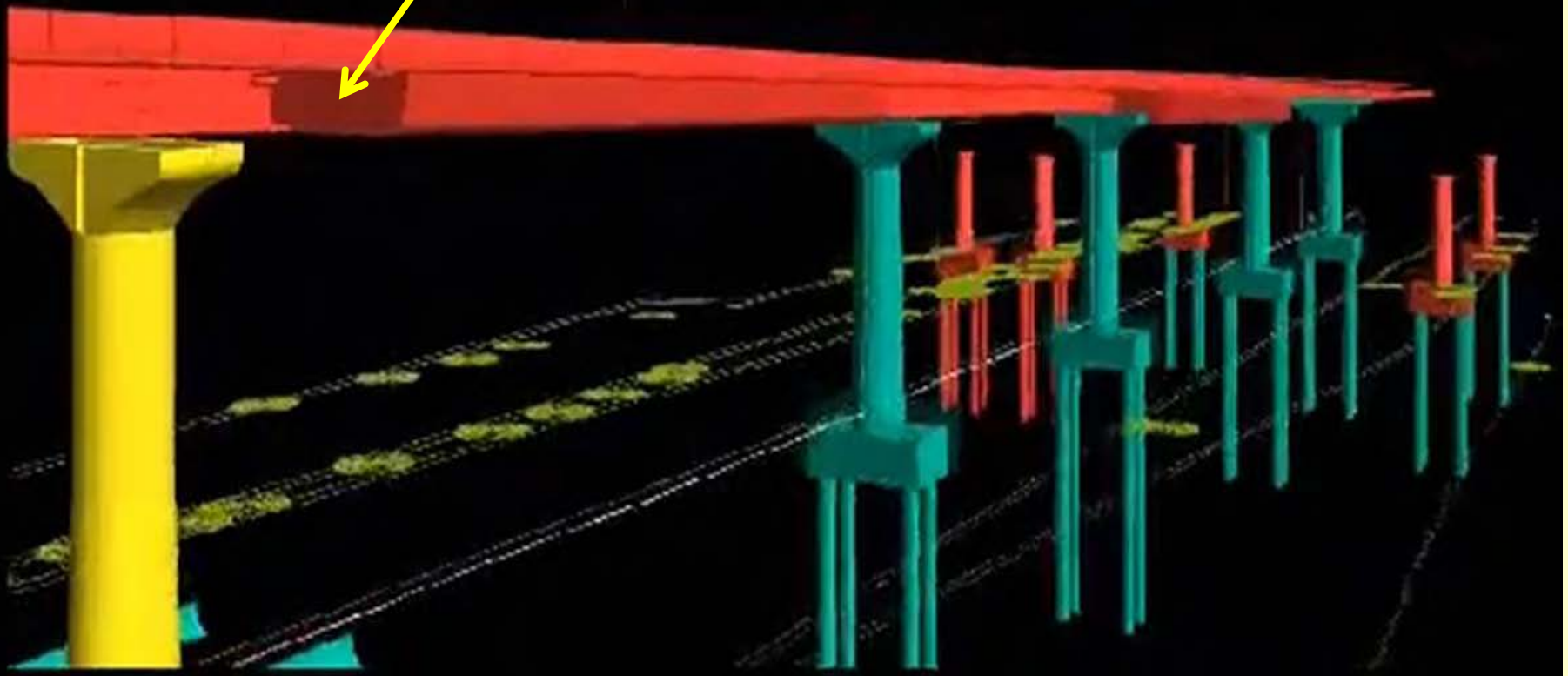
**DISEÑO EN ULTIMOS TRAMOS DE PUENTES:
PRESFUERZO EN LA COLUMNA
¿VENTAJAS, DESVENTAJAS ANTE SISMO?**





PUENTES EN LA CIUDAD DE MEXICO

**Simplemente apoyado
¿ventajas, desventajas?**



GRACIAS

