

# INCREMENTO DE LA SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE LA INFRAESTRUCTURA ESCOLAR DE MÉXICO

---

**AVANCES DEL COMPORTAMIENTO NUMÉRICO DE EDIFICIOS  
ESCOLARES URBANOS DE CONCRETO (UC) ANTE SISMOS**

MTRO. SANTIAGO RODRÍGUEZ S.

MTRA. GIANELLA VALENCIA R.

FEBRERO 2021

# 1. OBJETIVOS

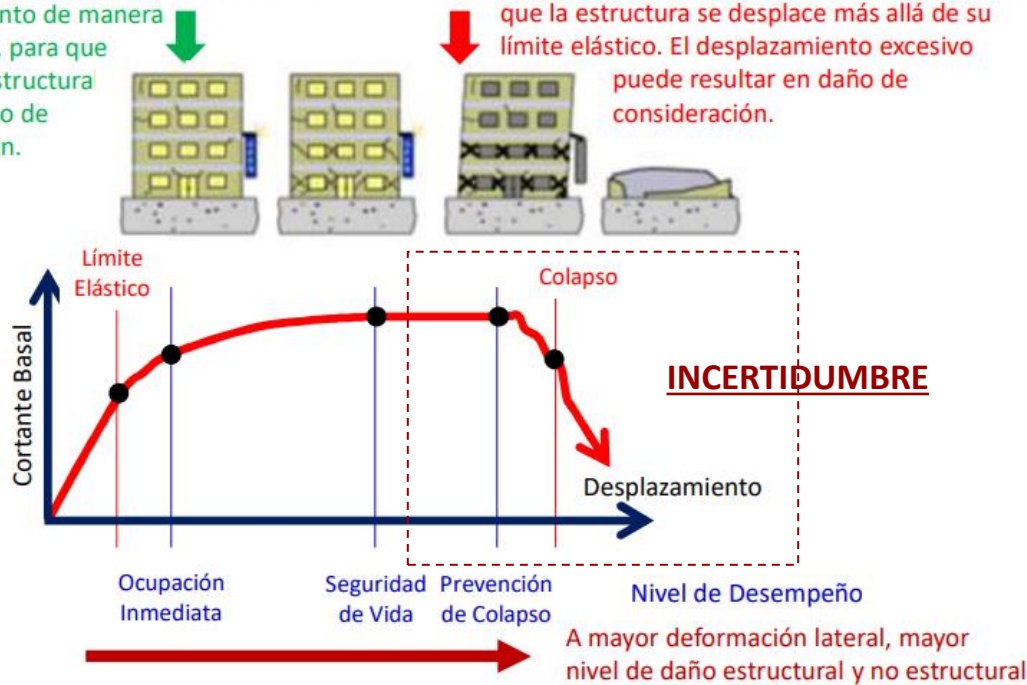
---

- Estudiar el **comportamiento estructural**, ante sismos, de edificios urbanos de concreto UC.
- Proporcionar recomendaciones de soluciones de rehabilitación para los edificios escolares que presenten **condiciones particulares de riesgo sísmico**.
- Establecer el **posible comportamiento** que tendrían los edificios escolares ante eventos sísmicos futuros.

# 1.OBJETIVOS

**Control de Pérdidas.** Debe controlarse el desplazamiento de manera más estricta, para que el sistema estructural no sufra daño de consideración.

**Enfoque Actual.** El enfoque de diseño permite que la estructura se desplace más allá de su límite elástico. El desplazamiento excesivo puede resultar en daño de consideración.



## NIVELES DE PERFORMANCE SISMICA

NIVEL DEL SISMO DE DISEÑO

	Ocupación Inmediata	Operacional	Seguridad de Vida	Colapso próximo
Frecuente (10 años)		○	○	○
Ocasional (50 años)			○	○
Raro (500 años)				○
Muy raro (1000 años)				

**Performance Inaceptable (para construcciones nuevas)** (applied to the top-right cell)

**Objetivos Básicos** (diagonal line from top-right to bottom-left)

**Instalaciones Esenciales** (diagonal line from middle-right to bottom-left)

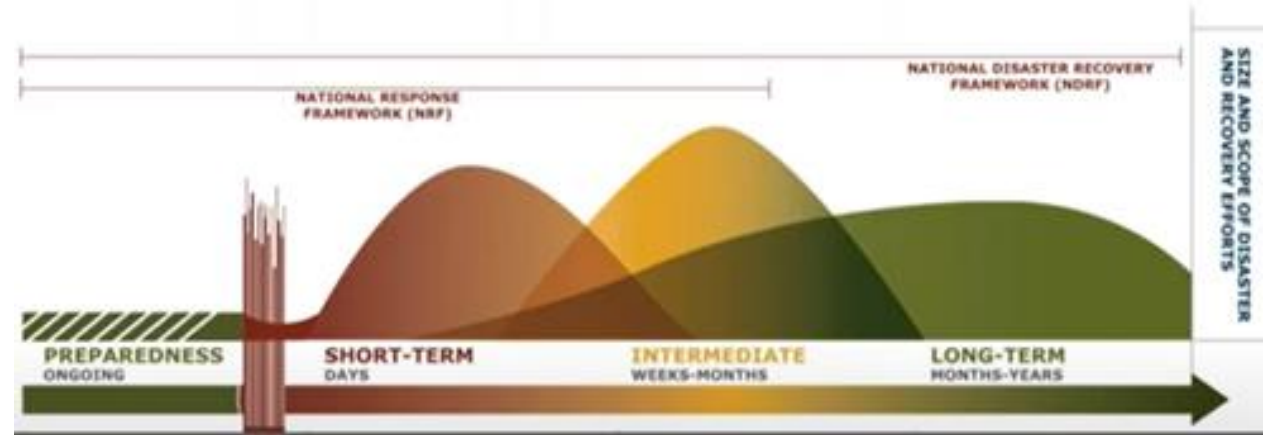
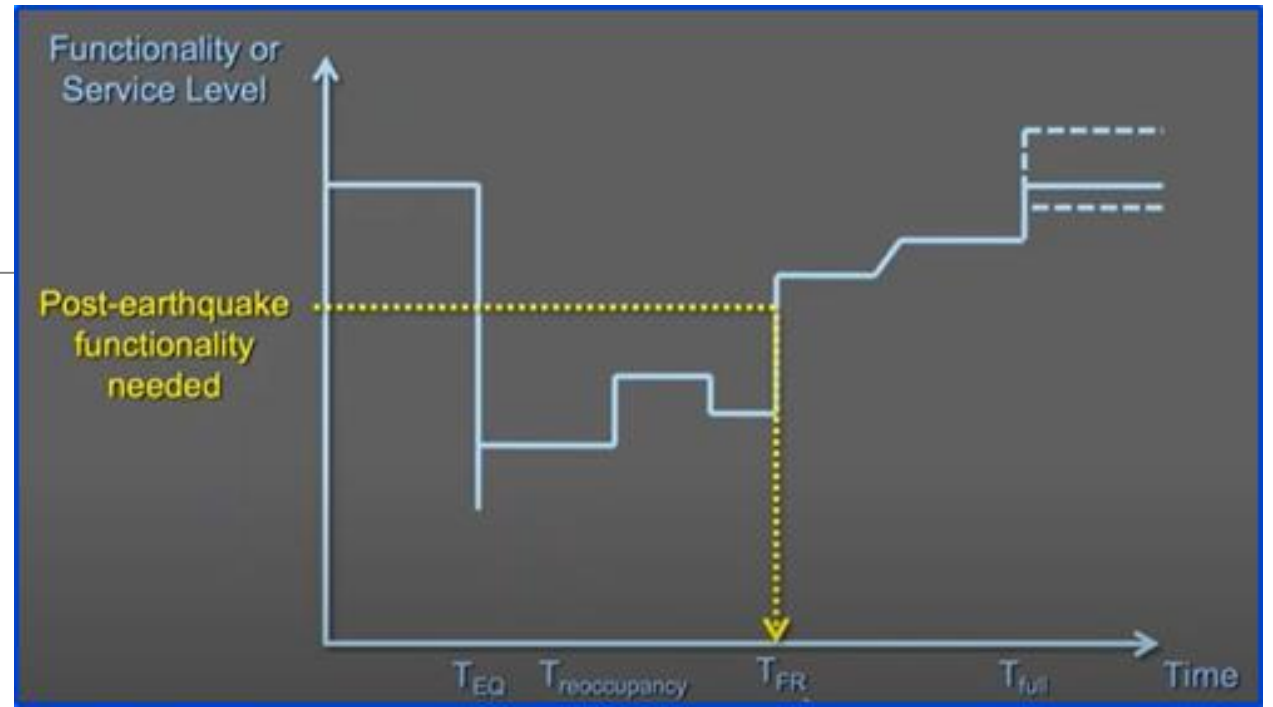
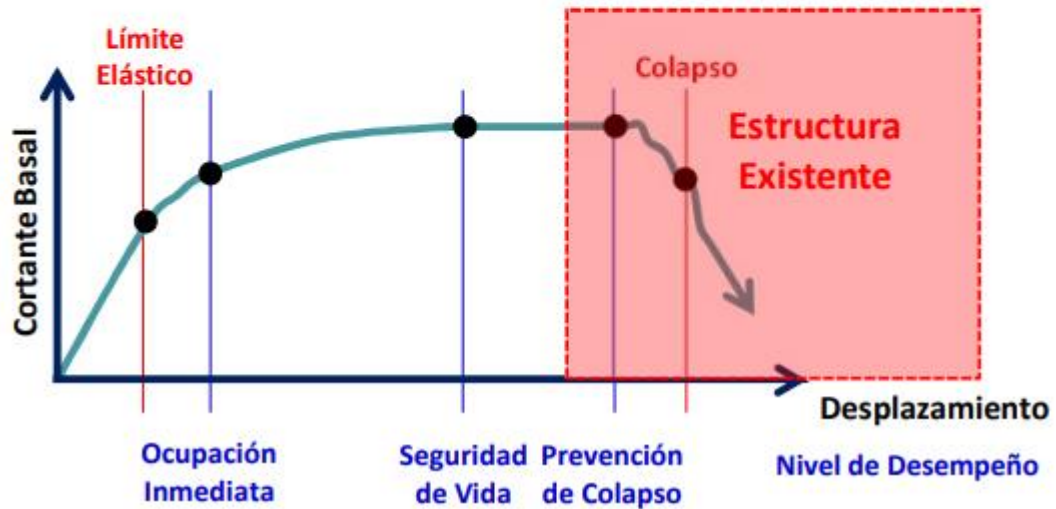
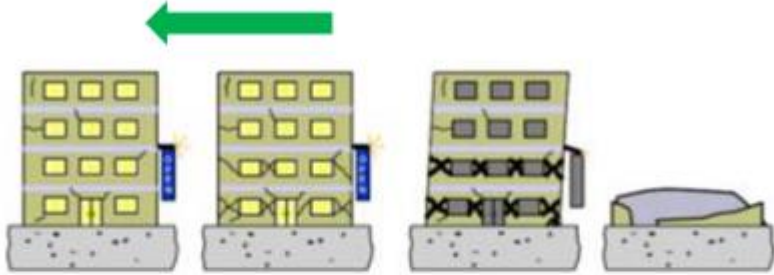
**Instalaciones Críticas** (diagonal line from bottom-right to middle-left)



- a) Bajo sismos que pueden presentarse varias veces durante la vida de la estructura, se tengan, a lo más, daños que no conduzcan a la interrupción de la ocupación del edificio.
- b) Bajo el sismo en que se basa la revisión de la seguridad contra colapso según estas Normas, no ocurran fallas estructurales mayores ni pérdidas de vidas, aunque pueden presentarse daños y/o deformaciones residuales de consideración que lleguen a afectar el funcionamiento del edificio y requerir reparaciones importantes.

# 1.OBJETIVOS

Rehabilitación sísmica



# 2. EDIFICIOS ESTUDIADOS

Concepto	U1C			U2C			U3C		
	1982	1988	2011	1982	1988	2011	1982	1988	2011
No. entre ejes X	12	13	11	12	13	13	12	12	13
No. entre ejes Y	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Distancia entre ejes X (m)	3.19	3.24	3.24	3.19	3.24	3.24	3.29	3.24	3.24
Distancia entre ejes Y (m)	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
Largo (m)	38.28	42.12	35.64	39.09	42.88	42.88	40.19	39.64	42.88
Ancho (m)	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
Altura de entrepiso NPT (m)	3.22	3.22	3.22	N1: 3.35 N2: 2.97	N1: 3.35 N2: 2.97	N1: 3.35 N2: 3.05	N1: 3.35 N2: 3.10 N3: 2.97	N1: 3.35 N2: 3.10 N3: 2.97	N1: 3.35 N2: 3.10 N3: 3.05
Altura inferior de techo (NIT) (m)	2.75	2.75	2.75	5.85	5.85	5.85	8.95	8.95	8.95
Altura total (m)	3.22	3.22	3.22	6.32	6.32	6.40	9.42	9.42	9.50

**Nota**  
**N1** corresponde al primer nivel (inmediato sobre el nivel de banqueta)  
**N2** corresponde al segundo nivel  
**N3** corresponde al tercer nivel

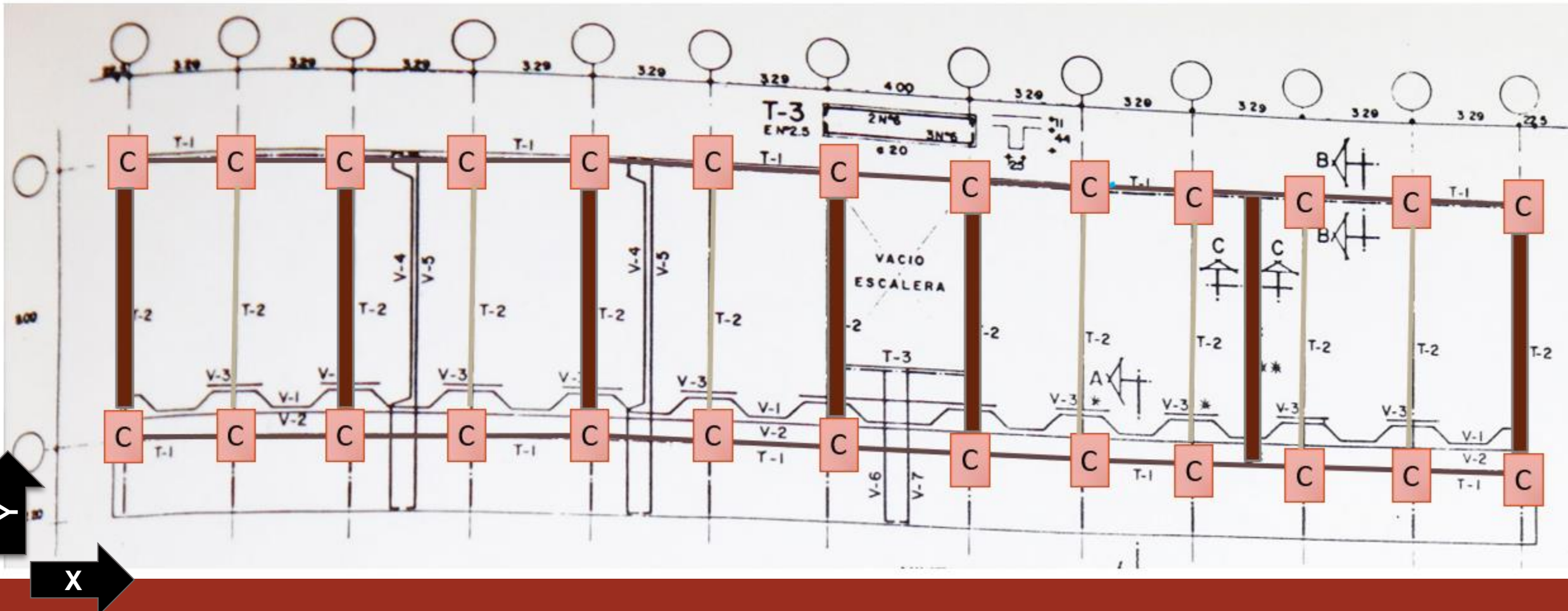




# 2. EDIFICIOS ESTUDIADOS

- Vigas T1
- Vigas T2
- Muros de mampostería
- Columnas 35x45
- Losas macizas

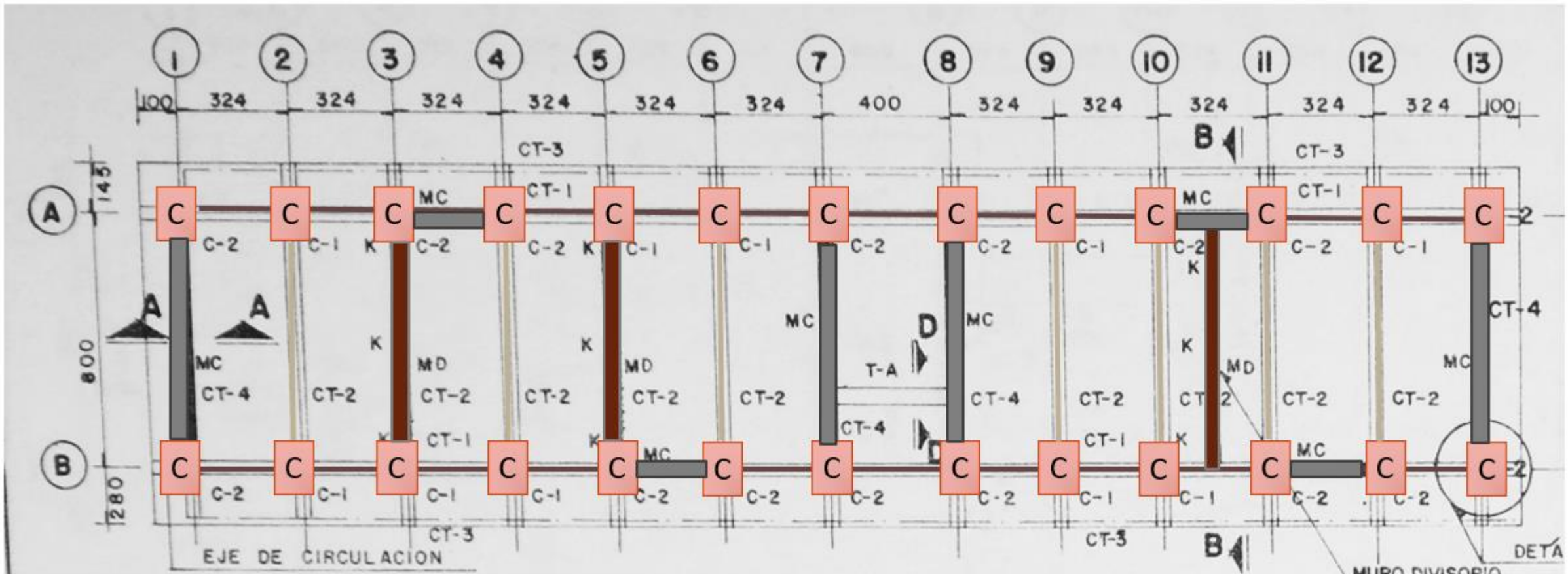
Edificio UC 1982



# 2. EDIFICIOS ESTUDIADOS

- Vigas T1
- Vigas T2
- Muros de mampostería
- Muros de concreto
- Columnas 30x45
- Losas macizas

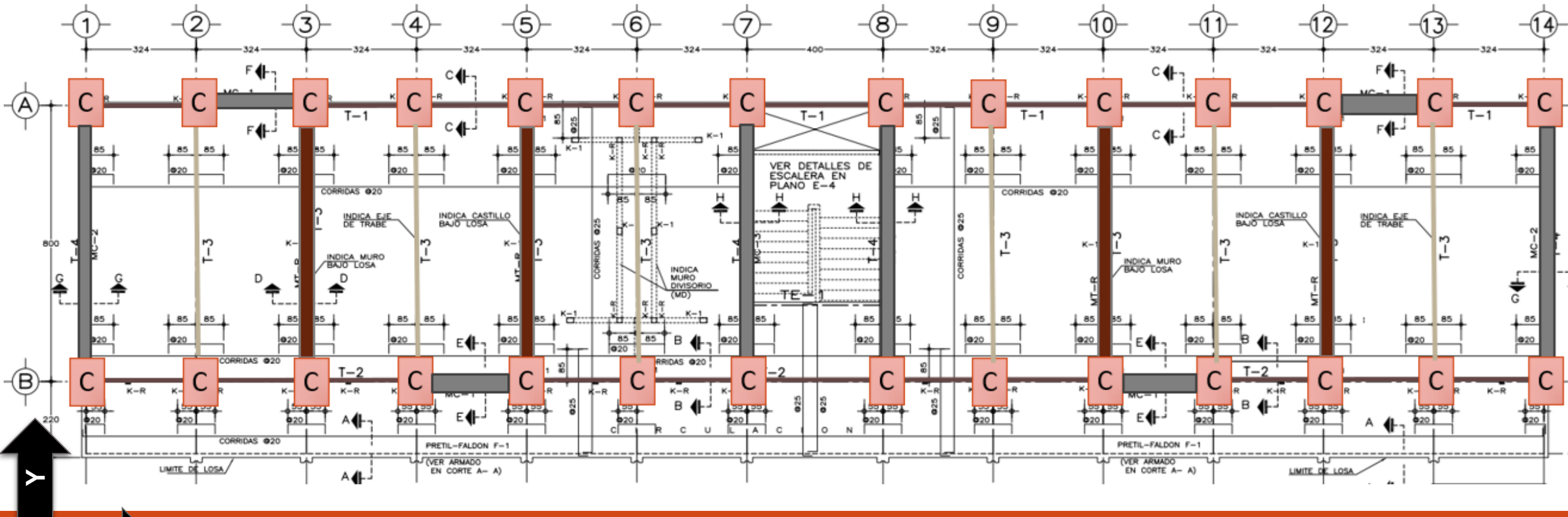
Edificio UC 1988



# 2. EDIFICIOS ESTUDIADOS

- Vigas T1
- Vigas T2
- Muros de mampostería
- Muros de concreto
- Columnas 30x45
- Losas macizas

Edificio UC 2011





# 3. PROPIEDADES DE MATERIALES

Concepto	U1C – U2C -U3C		
	1982	1988	2011
$f_c'$ MPa (kg/cm <sup>2</sup> )	20 (200)	25 (250)	25 (250)
$E_c$ MPa (kg/cm <sup>2</sup> )	$2500\sqrt{f_c'}$ ( $8000\sqrt{f_c'}$ )	$3500\sqrt{f_c'}$ ( $11000\sqrt{f_c'}$ )	$3500\sqrt{f_c'}$ ( $11000\sqrt{f_c'}$ )
$f_y$ MPa (kg/cm <sup>2</sup> )	Long: 420 (4200) Transv: 230 (2300)	Long: 420 (4200) Transv: 230 (2300)	Long: 420 (4200) Transv: 230 (2300)
$f_m'$ MPa (kg/cm <sup>2</sup> )	2 (20)	2 (20)	2 (20)
$E_m$ MPa (kg/cm <sup>2</sup> )	$190f_m'$ ( $600f_m'$ )	$190f_m'$ ( $600f_m'$ )	$190f_m'$ ( $600f_m'$ )

Elemento	Momento de inercia
Vigas y muros agrietados	$0.5 I_g$
Columnas agrietadas	$0.7 I_g$

# 4. CARGAS DE DISEÑO

## CARGAS MUERTAS

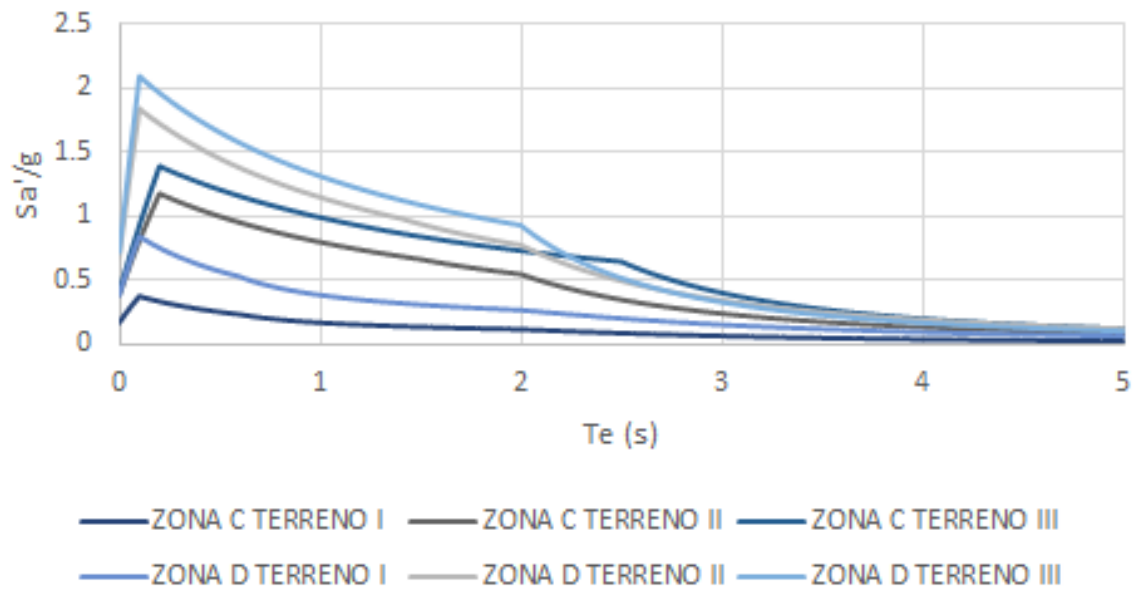
Concepto	Azotea para prototipos 1982 y 1988 N/m <sup>2</sup> (kg/m <sup>2</sup> )	Azotea para prototipos 2011 N/m <sup>2</sup> (kg/m <sup>2</sup> )	Entrepisos N/m <sup>2</sup> (kg/m <sup>2</sup> )
Instalaciones	0	100 (10)	100 (10)
Impermeabilizante y petatillo	300 (30)	300 (30)	0
Enladrillado	300 (30)	0	0
Carga adicional por reglamento	400 (40)	400 (40)	400 (40)
Mortero de asiento	600 (60)	0	0
Acabados	0	0	1100 (110)
<b>Total</b>	<b>1600 (160)</b>	<b>800 (80)</b>	<b>1600 (160)</b>

## CARGAS VIVAS

Concepto	Azotea pendiente < 5% N/m <sup>2</sup> (kg/m <sup>2</sup> )	Azotea pendiente > 5% N/m <sup>2</sup> (kg/m <sup>2</sup> )	Aulas N/m <sup>2</sup> (kg/m <sup>2</sup> )	Escaleras y pasillo N/m <sup>2</sup> (kg/m <sup>2</sup> )
<b>Viva máxima</b>	1000 (100)	400 (40)	2500 (250)	3500 (350)
<b>Viva instantánea</b>	700 (70)	200 (20)	1800 (180)	1500 (150)

# 5. DEMANDAS SÍSMICAS

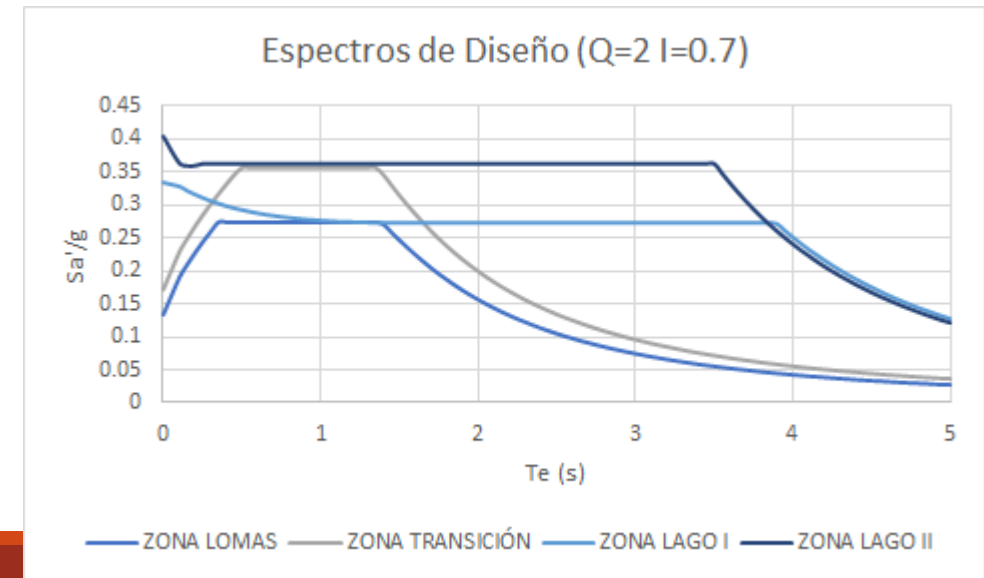
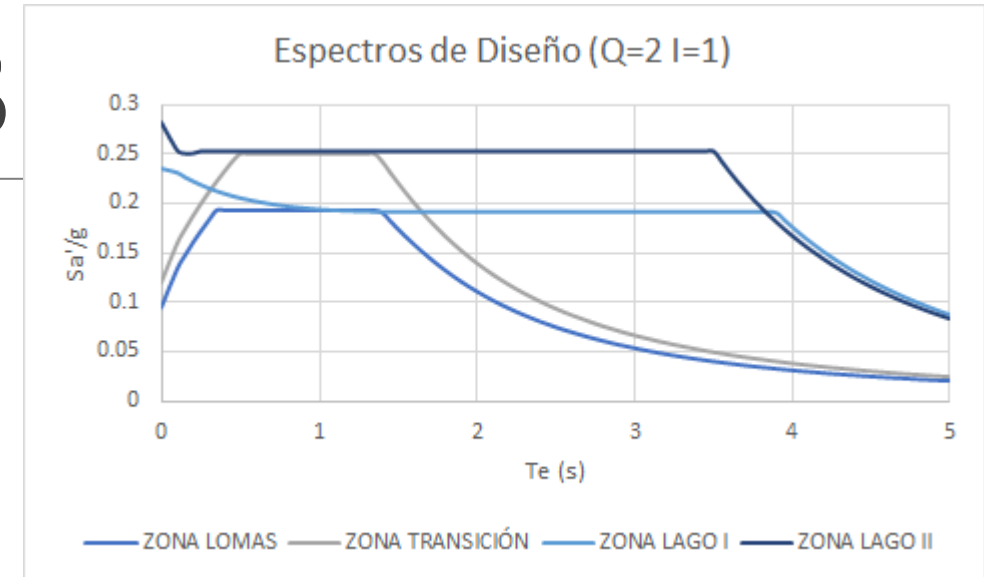
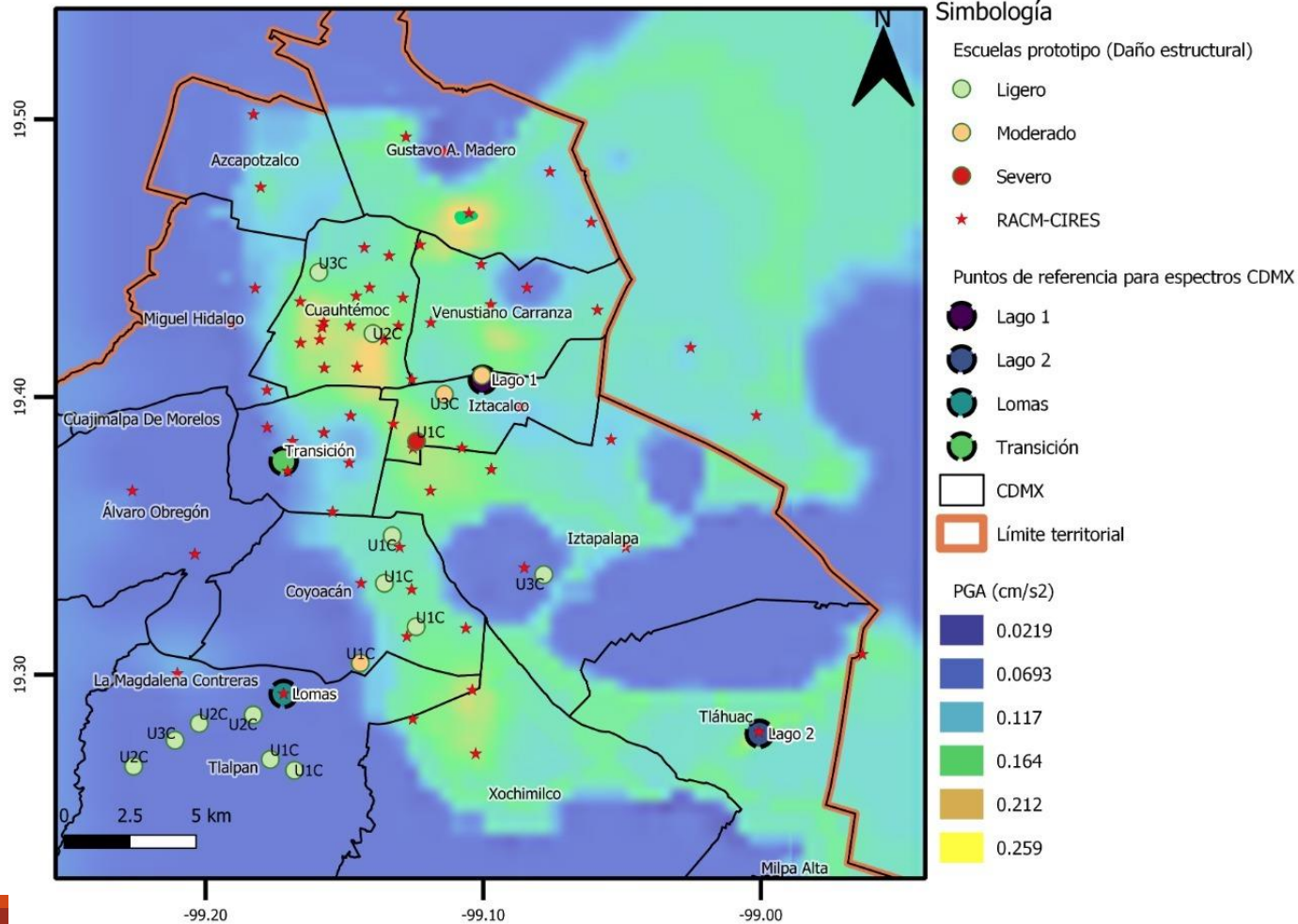
Espectros de Diseño Modificados



Regionalización Sísmica de la República Mexicana



# 5. DEMANDAS SÍSMICAS





# 6. CONSIDERACIONES DE MODELADO

---

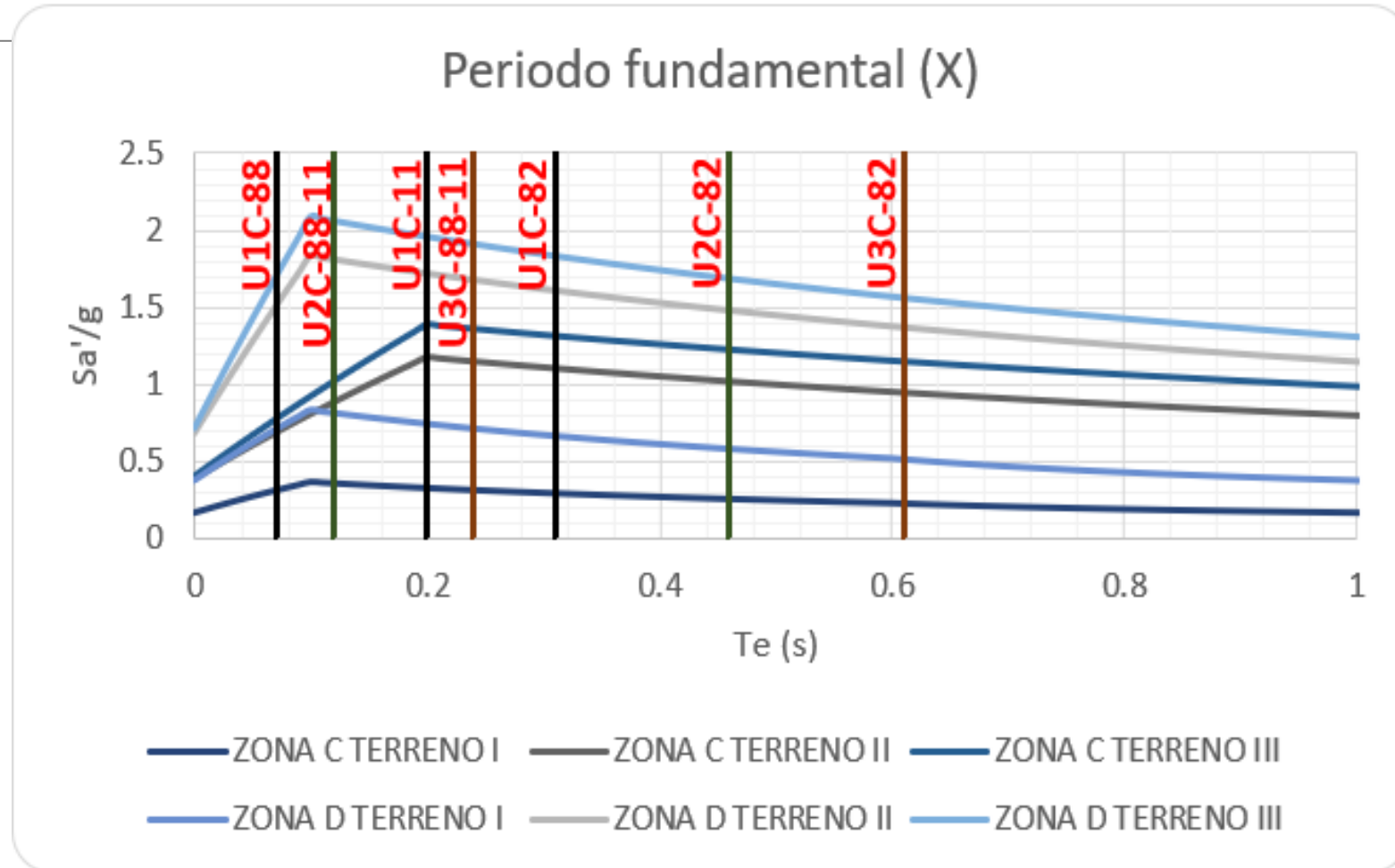
- Elementos tipo “Frame” para columnas y vigas.
- Elementos tipo “Shell” para losas, muros de mampostería y de concreto.
- Factor de zonas rígidas de 0.5.
- Base empotrada.
- Diafragma flexible.
- Muros de mampostería: Módulo de cortante reducido a la mitad y factor de 0.5 para reducir inercia en el plano.
- Discretización de muros y losas en elementos que tiendan a ser cuadrados con dimensiones de máximo 2 m.
- Articulación de base de muros.

---

# 7. RESULTADOS ANÁLISIS LINEALES

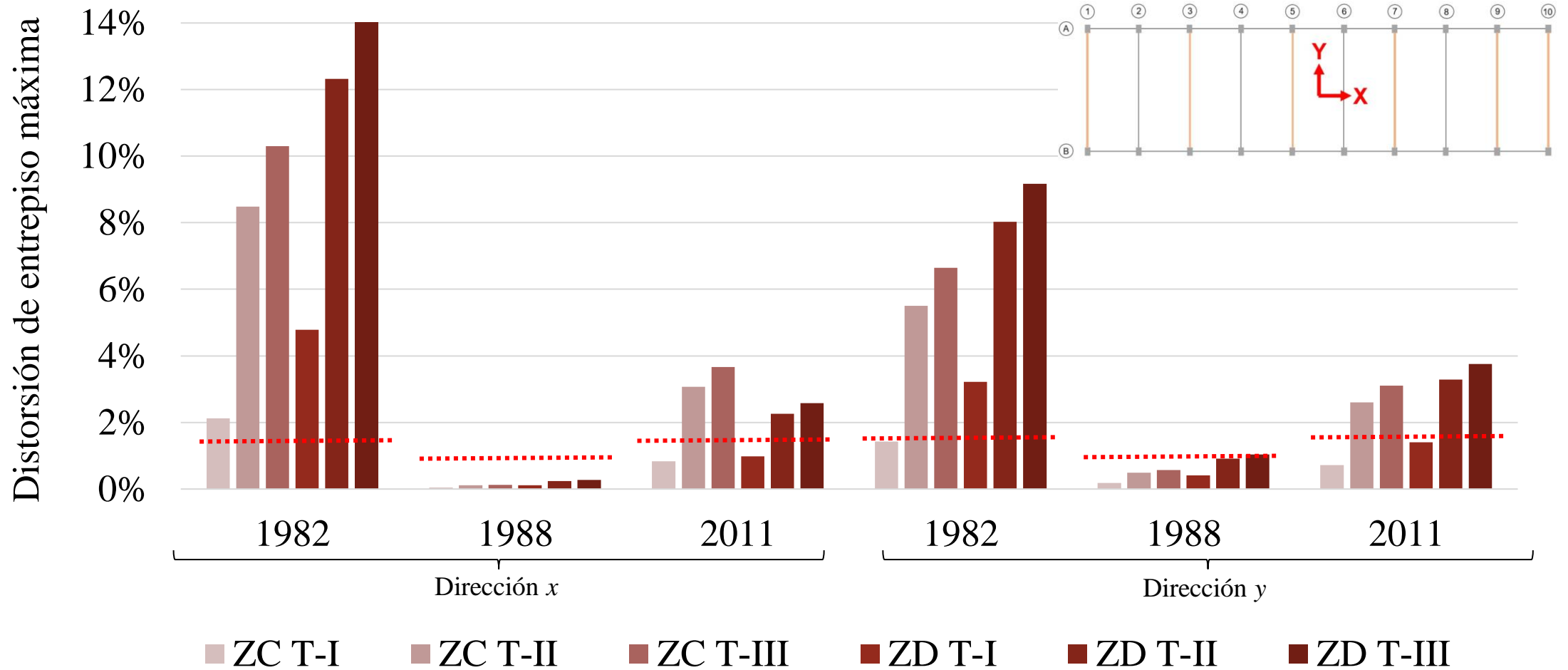
# Resultados del análisis modal

Dirección longitudinal (X)



# Resultados de distorsiones a partir de análisis lineales

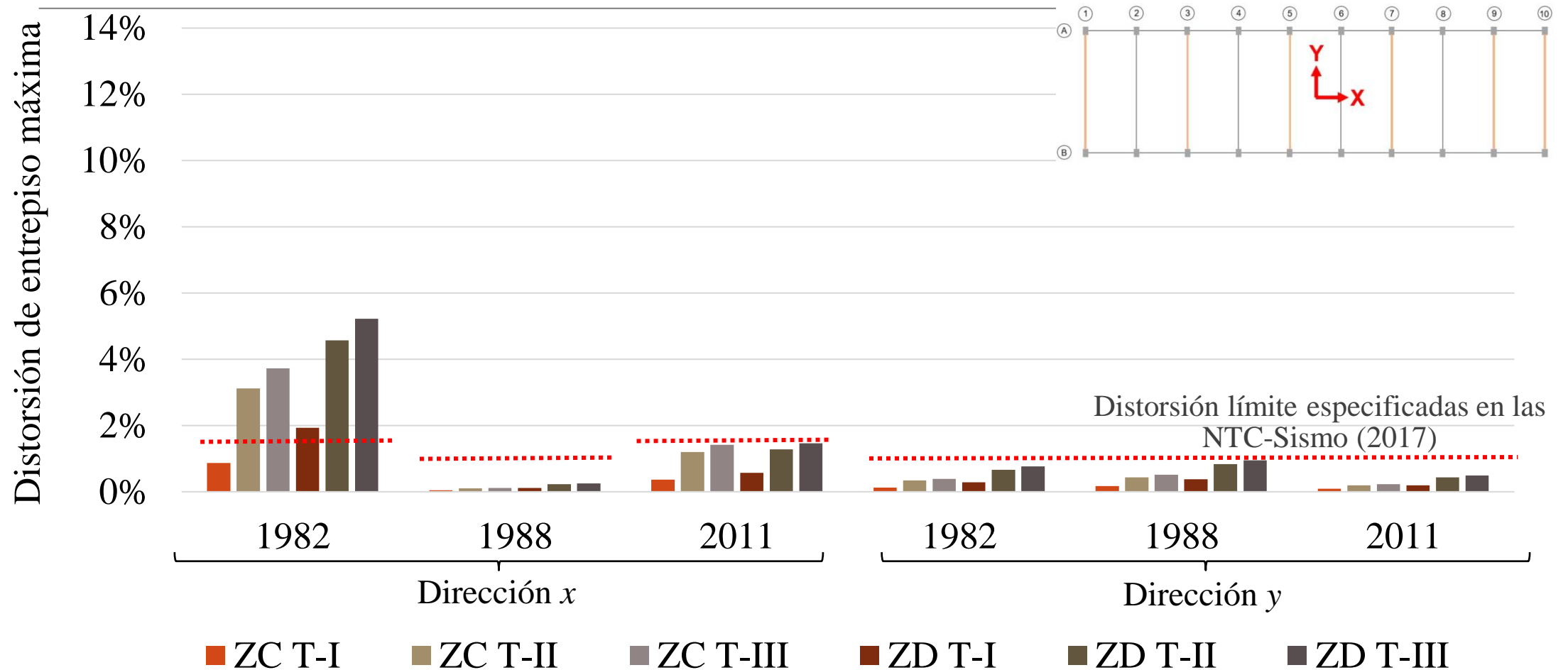
Distorsión de entrepiso máxima del prototipo U1C





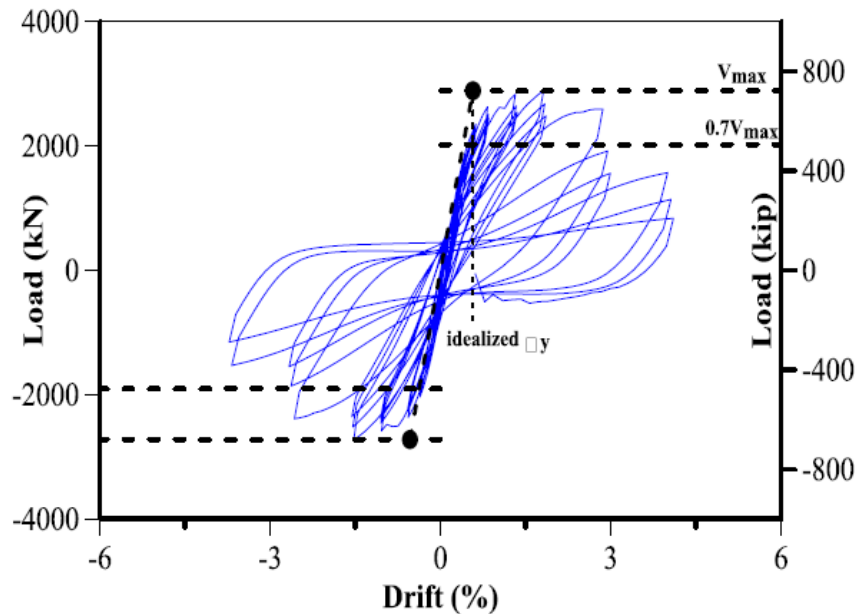
# Resultados de distorsiones a partir de análisis lineales

Distorsión de entrepiso máxima del prototipo U1C incluyendo los muros de mampostería



# Resultados de distorsiones a partir de análisis lineales

Resultados de prueba experimental a columna de concreto reforzado con detallado dúctil realizada por Liao, Perceka y Wang (2017).



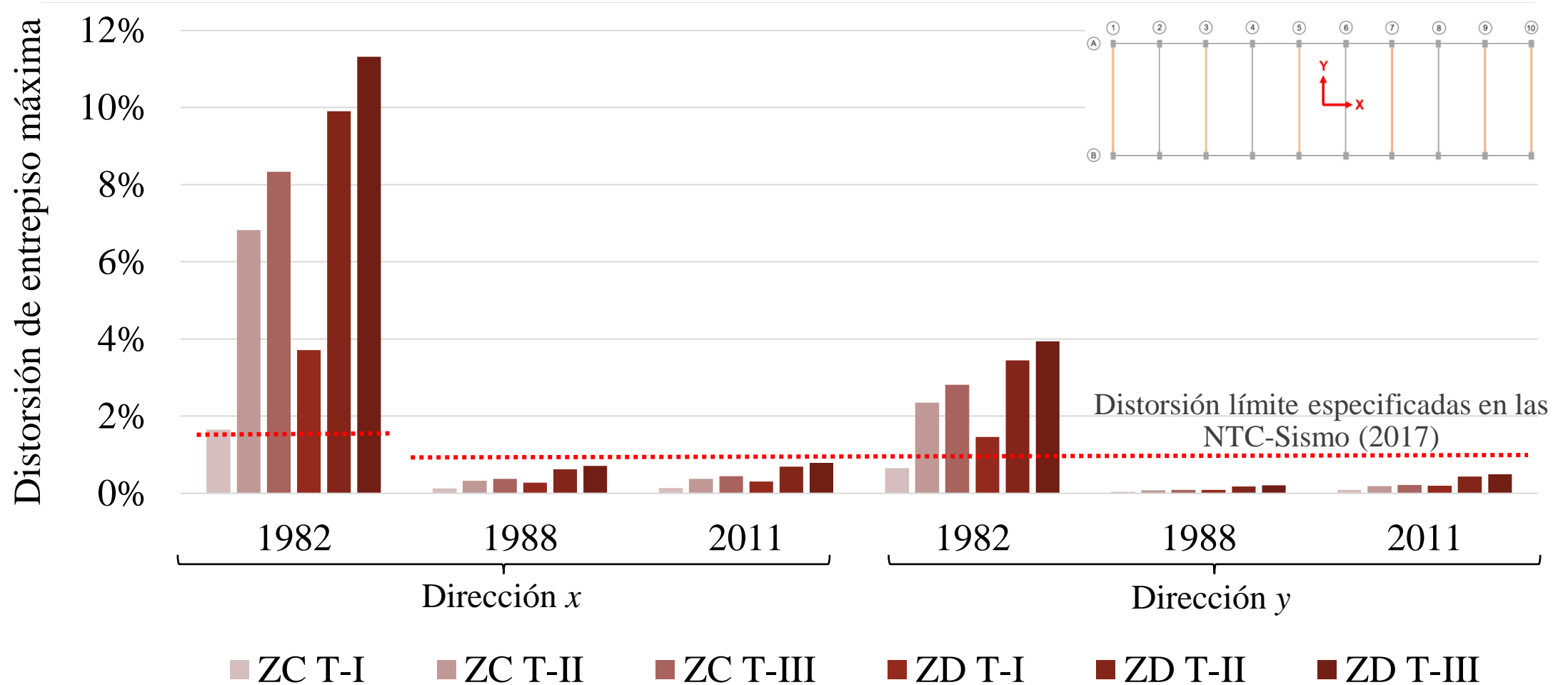
Figuras tomadas de Liao, Perceka y Wang (2017).



Fotografías al final de la prueba experimental.

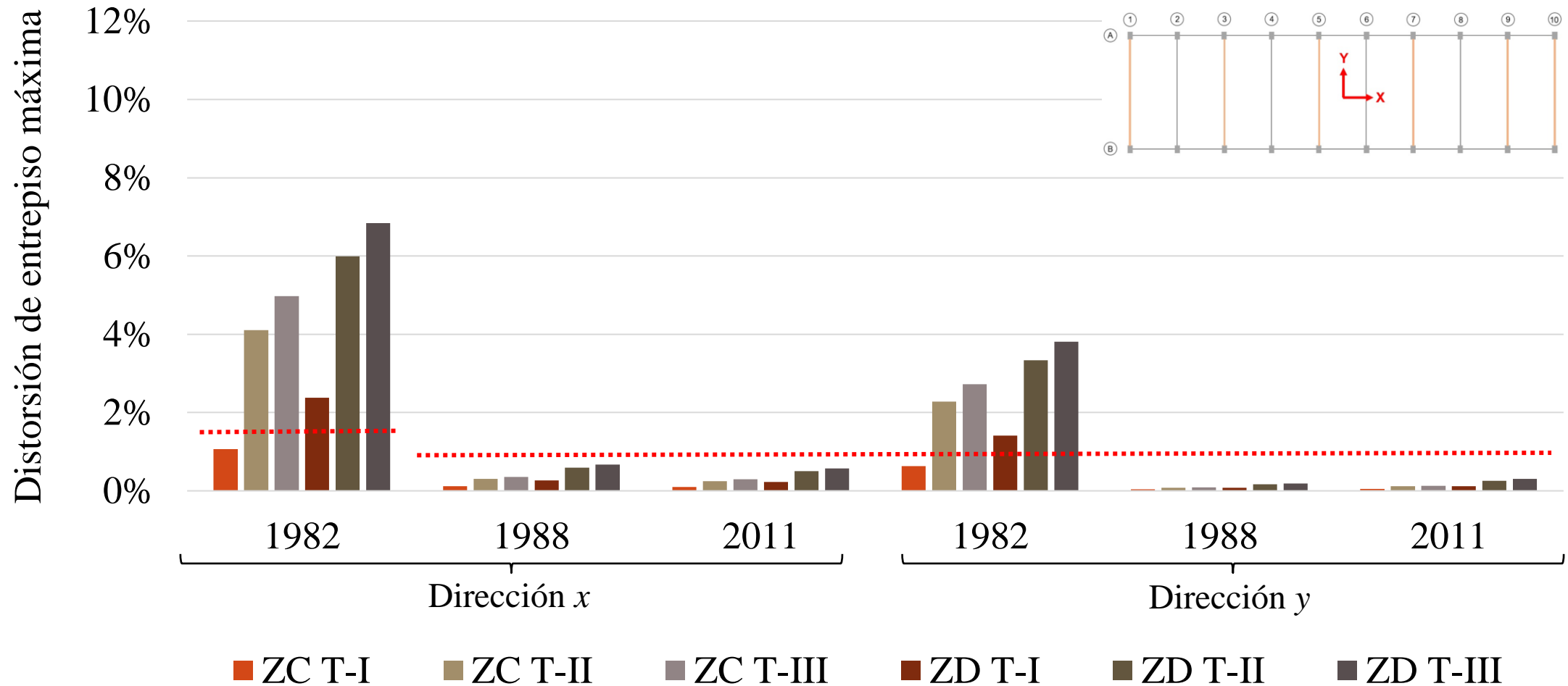
# Resultados de distorsiones a partir de análisis lineales

Distorsión de entrepiso máxima en el primer nivel del prototipo U2C



# Resultados de distorsiones a partir de análisis lineales

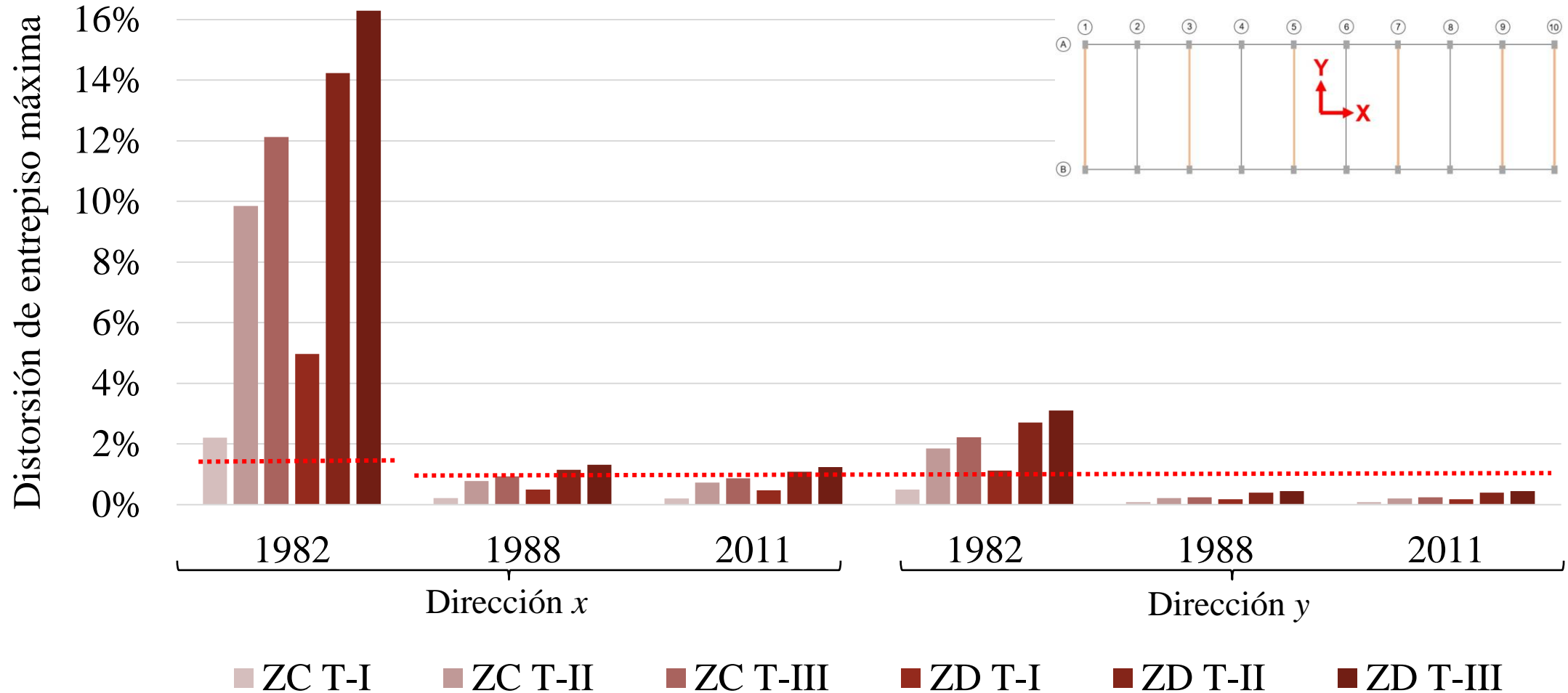
Distorsión de entrepiso máxima en el primer nivel del prototipo U2C incluyendo los muros de mampostería bajo ventanas





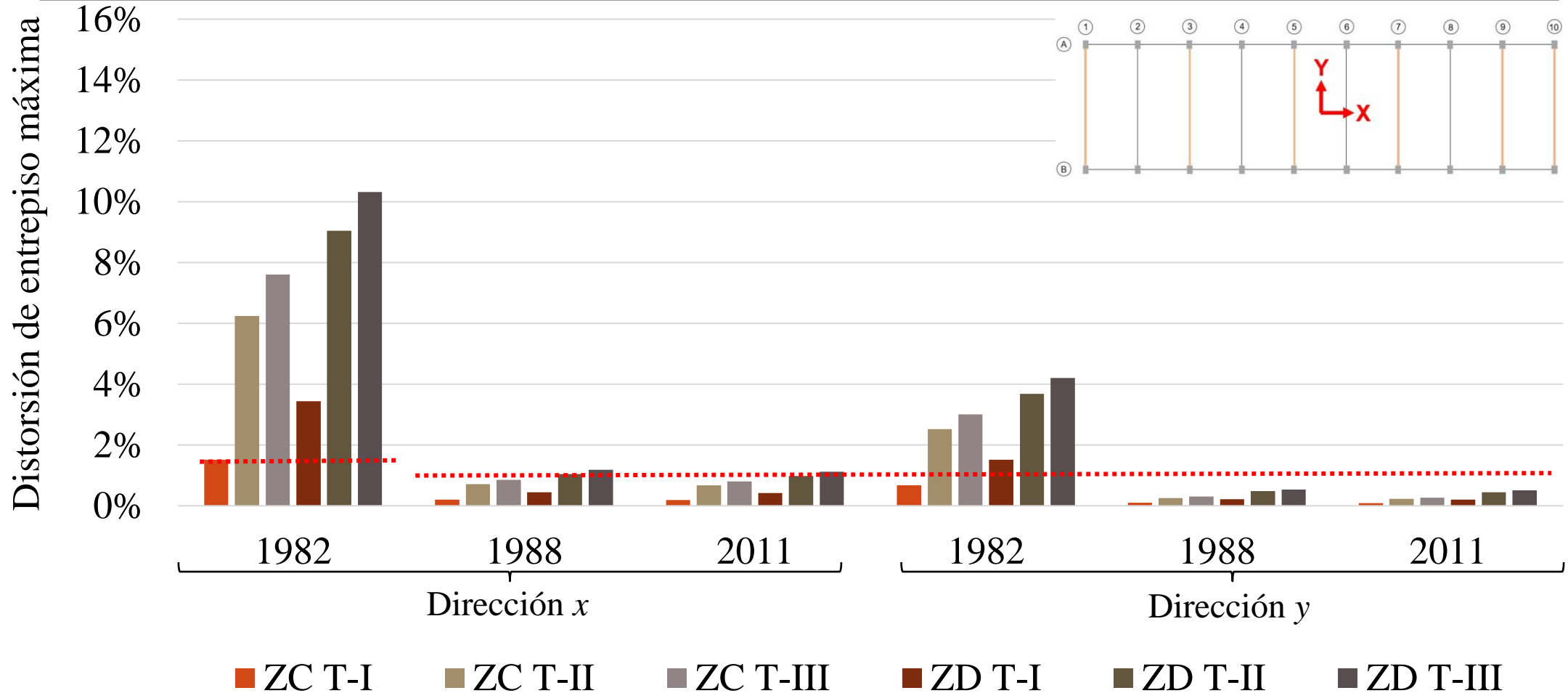
# Resultados de distorsiones a partir de análisis lineales

Distorsión de entrepiso máxima en el primer nivel del prototipo U3C



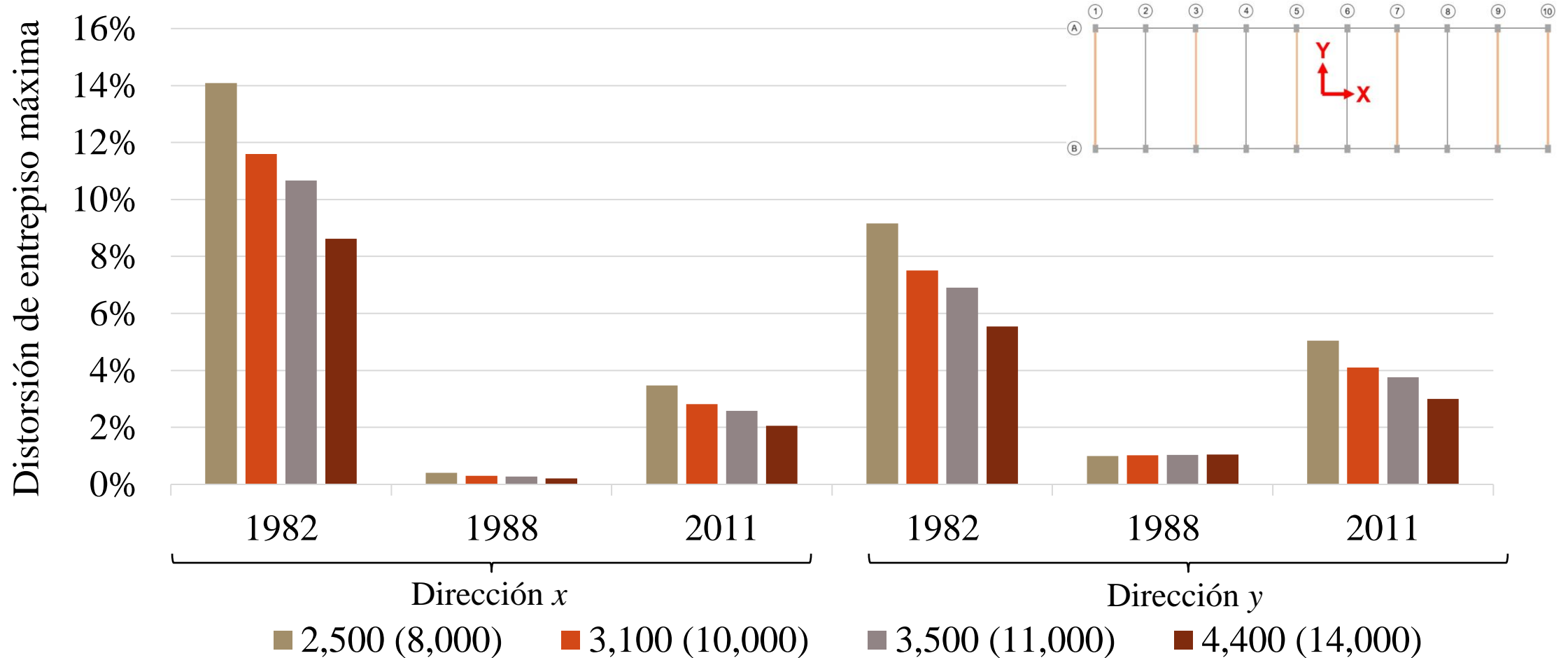
# Resultados de distorsiones a partir de análisis lineales

Distorsión de entrepiso máxima en el primer nivel del prototipo U3C incluyendo los muros de mampostería bajo ventanas



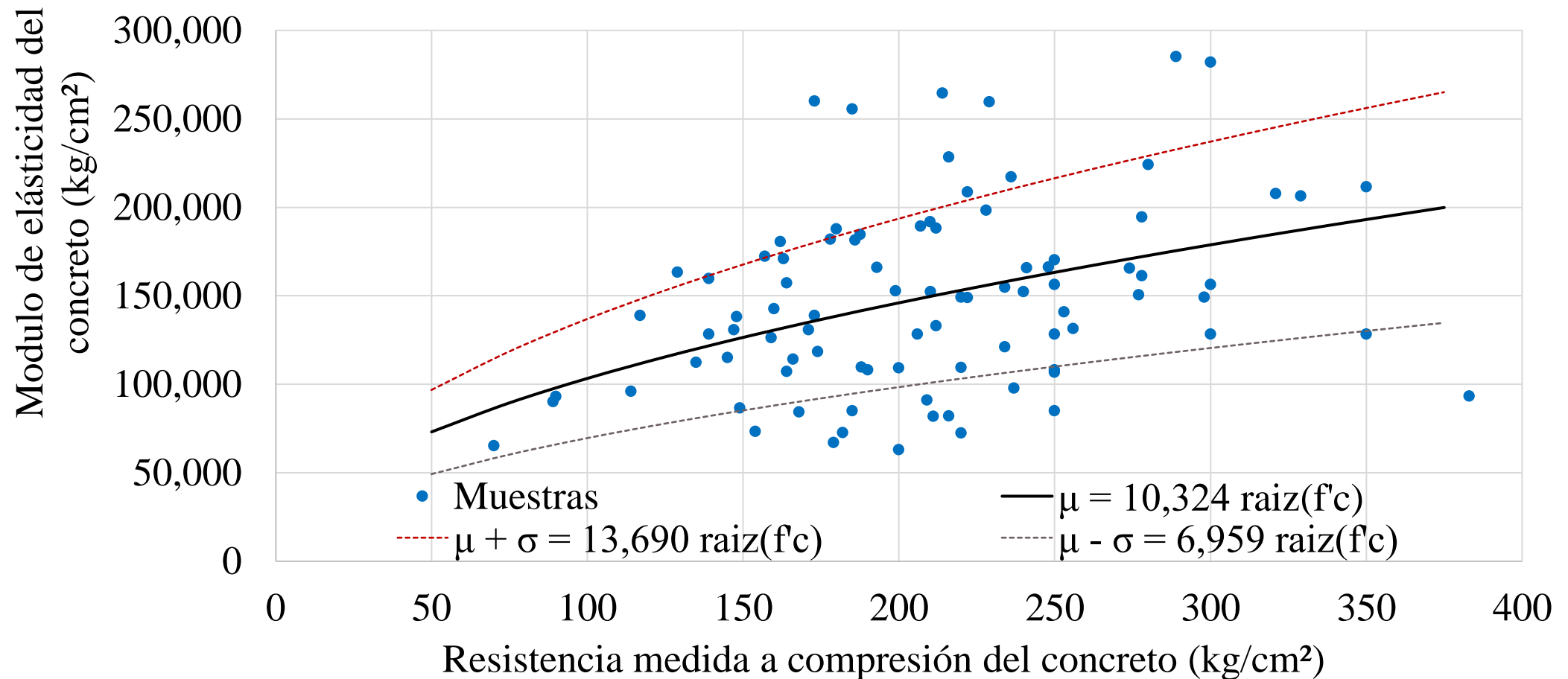
# Resultados de distorsiones a partir de análisis lineales

Efecto de la variación del módulo de elasticidad del concreto en distorsiones de entrepiso máximas, en el nivel 1, en las direcciones principales de los prototipos U1C.



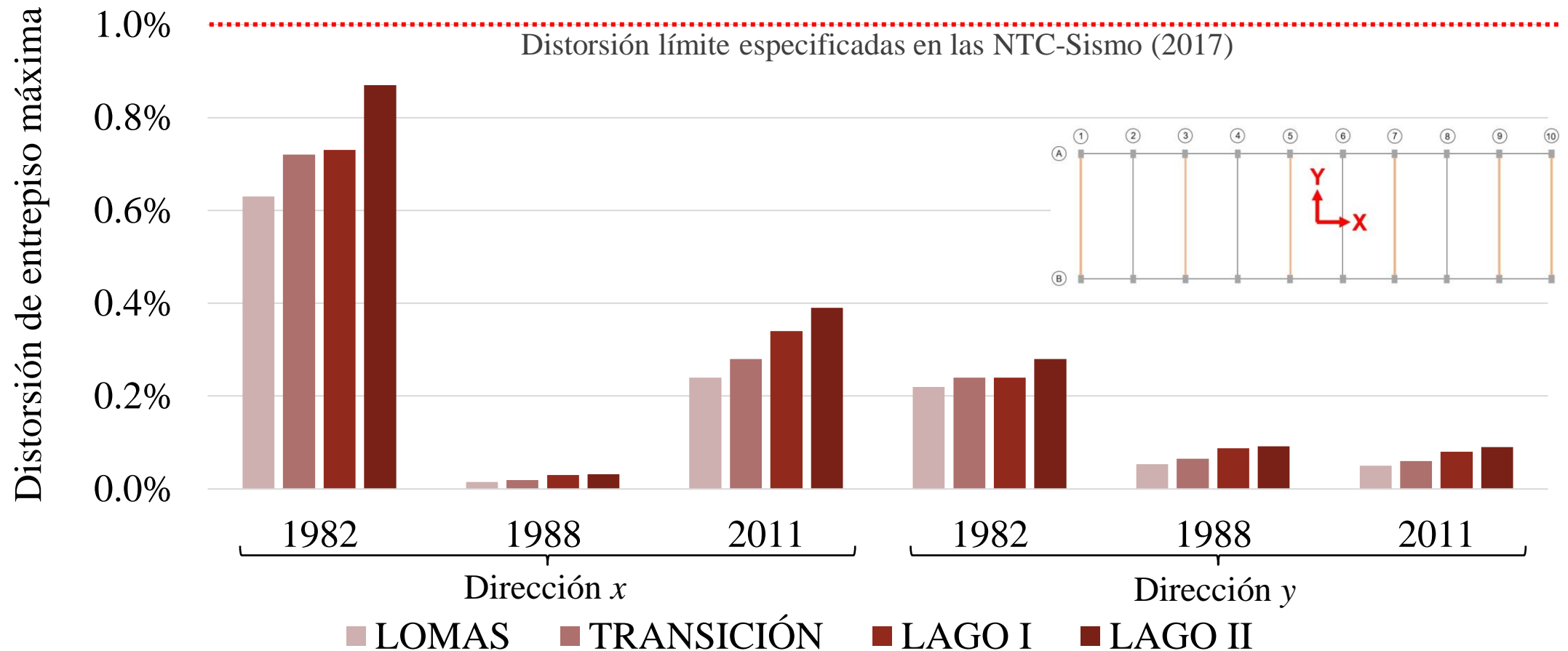
# Variación del módulo de elasticidad

Módulo de elasticidad del concreto obtenido a través de extracción de corazones en escuelas de la Ciudad de México.



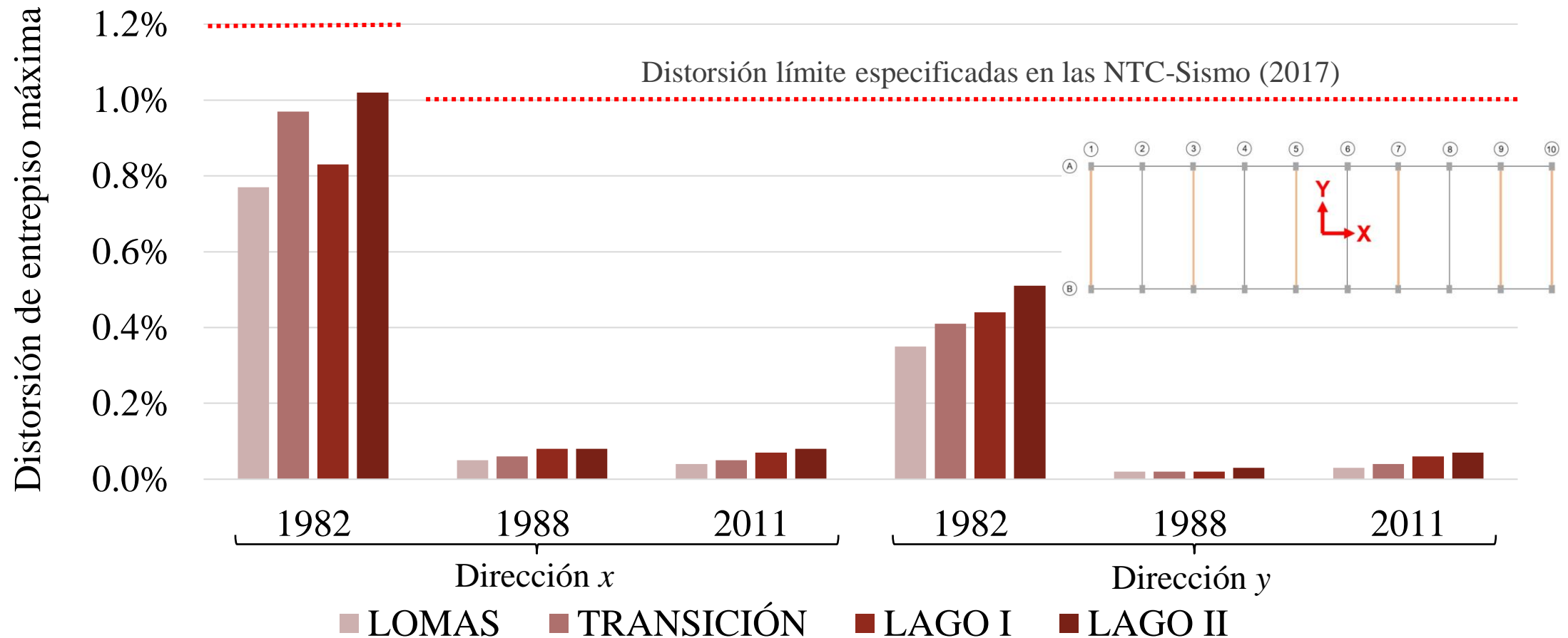
# Resultados de distorsiones a partir de análisis lineales

Distorsión de entrepiso máxima del prototipo U1C con espectros de diseño de la Ciudad de México.



# Resultados de distorsiones a partir de análisis lineales

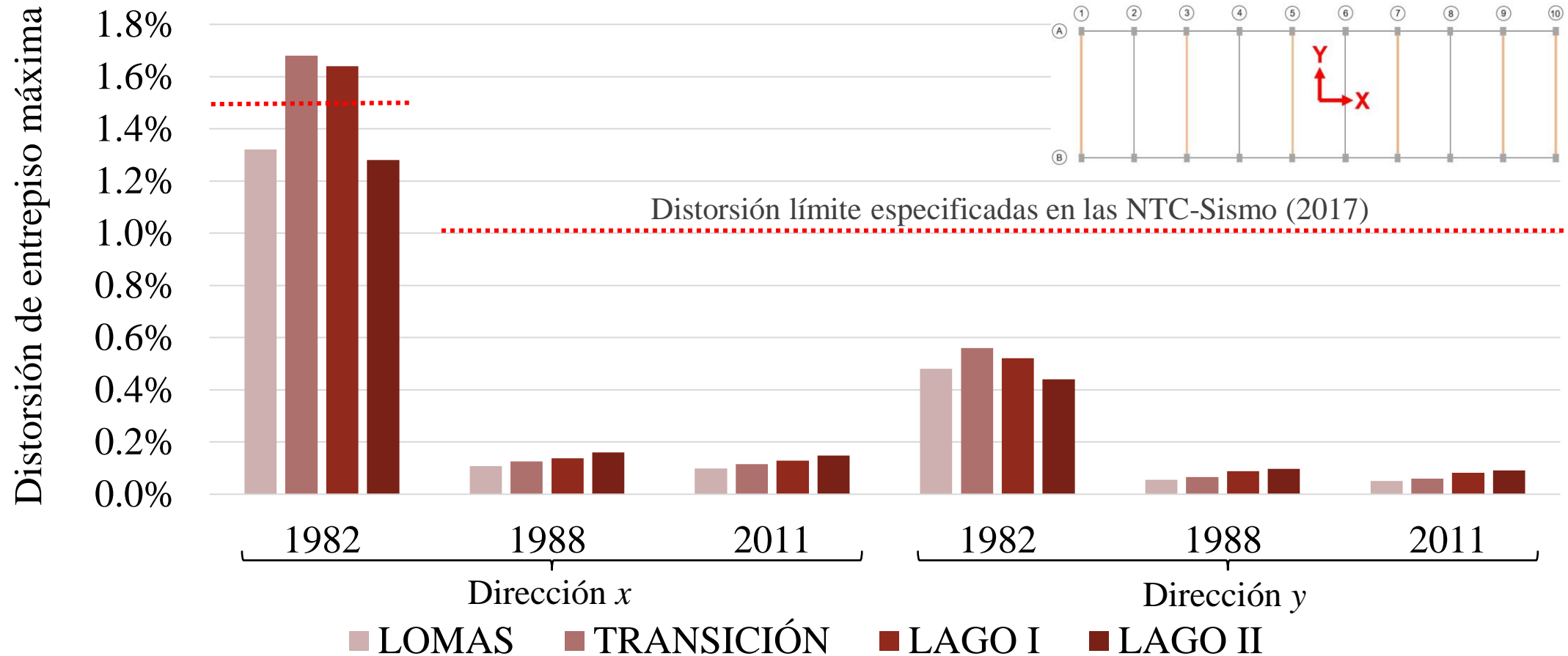
Distorsión de entrepiso máxima en el primer nivel del prototipo U2C con espectros de diseño de la Ciudad de México.





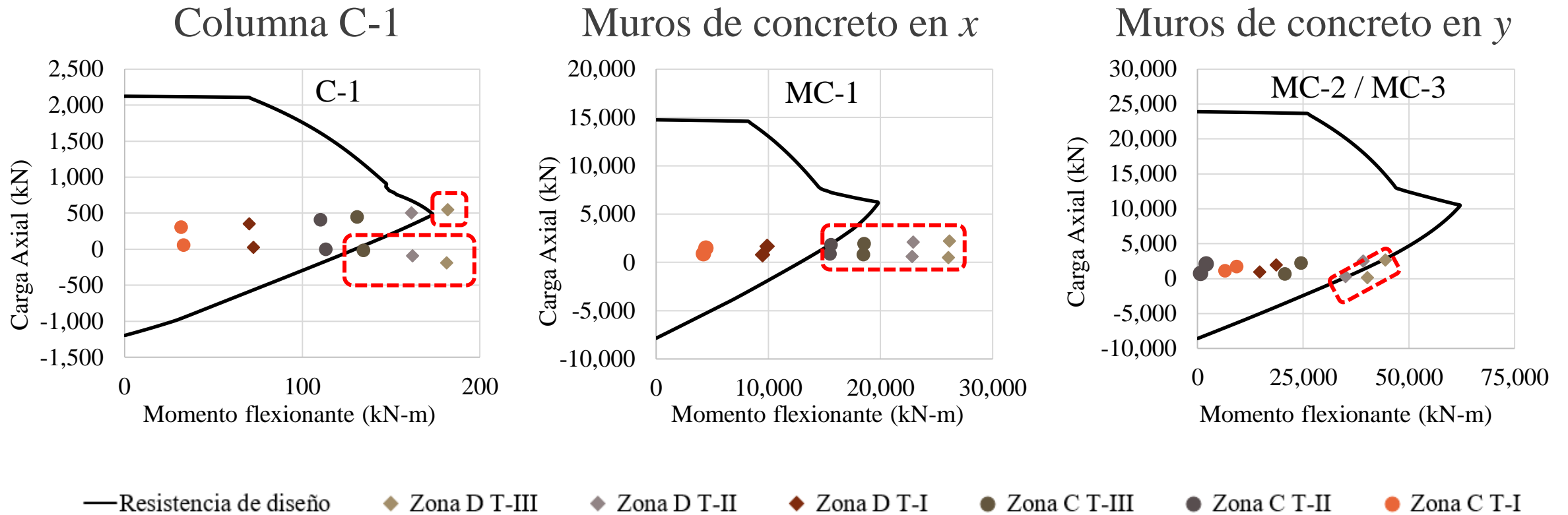
# Resultados de distorsiones a partir de análisis lineales

Distorsión de entrepiso máxima en el primer nivel del prototipo U3C con espectros de diseño de la Ciudad de México.



# Relaciones de Demanda / Capacidad

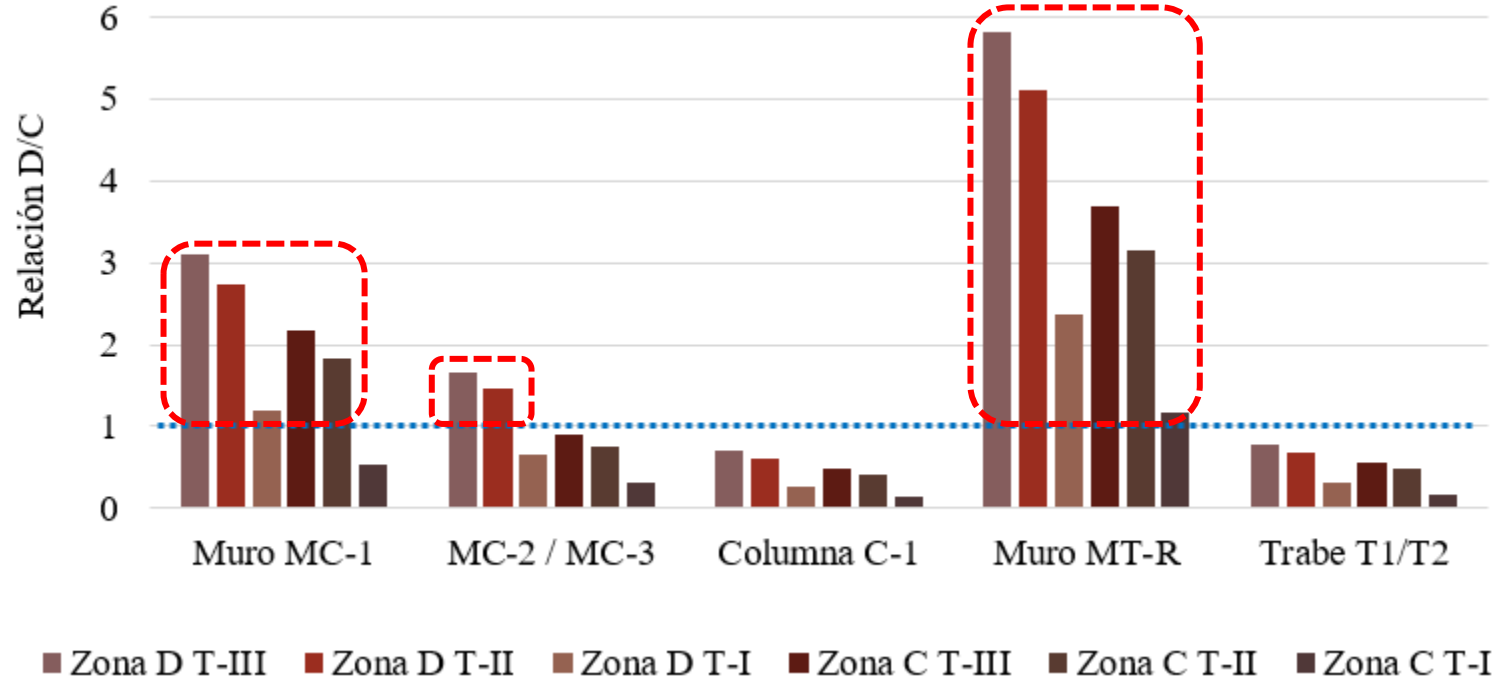
## Relaciones de demanda/capacidad en el prototipo U3C 2011



# Relaciones de Demanda / Capacidad

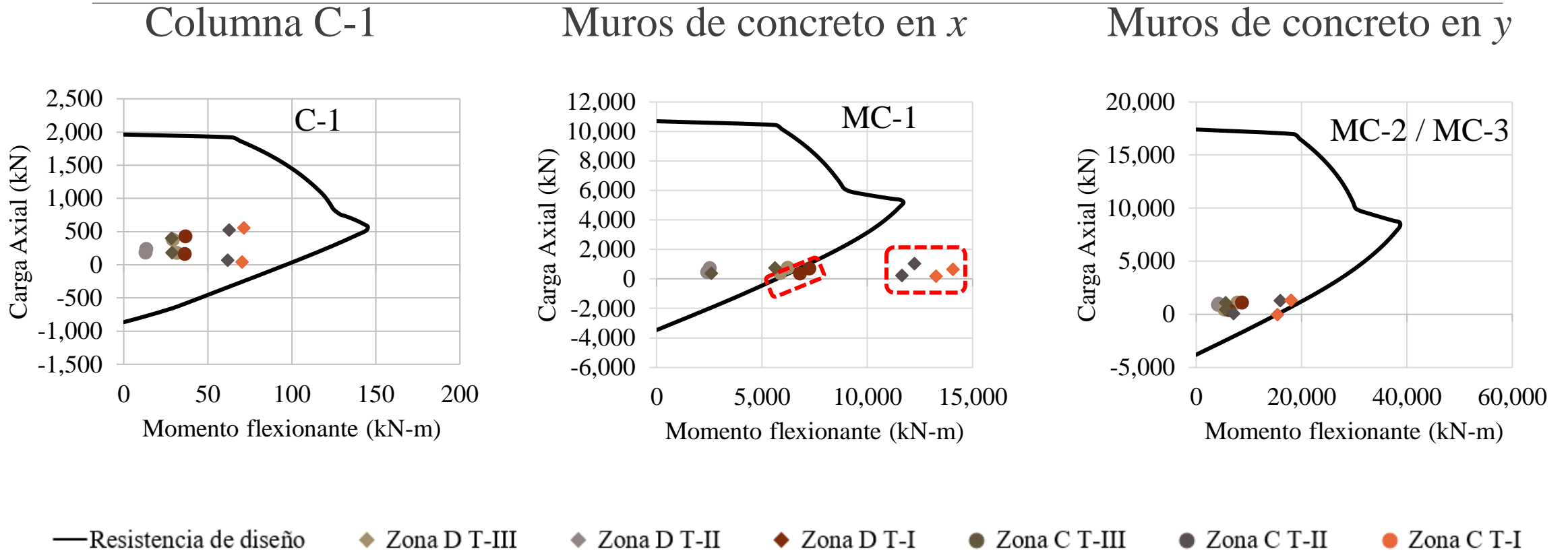
Relaciones de demanda/capacidad en el prototipo U3C 2011

Relación demanda/capacidad en cortante



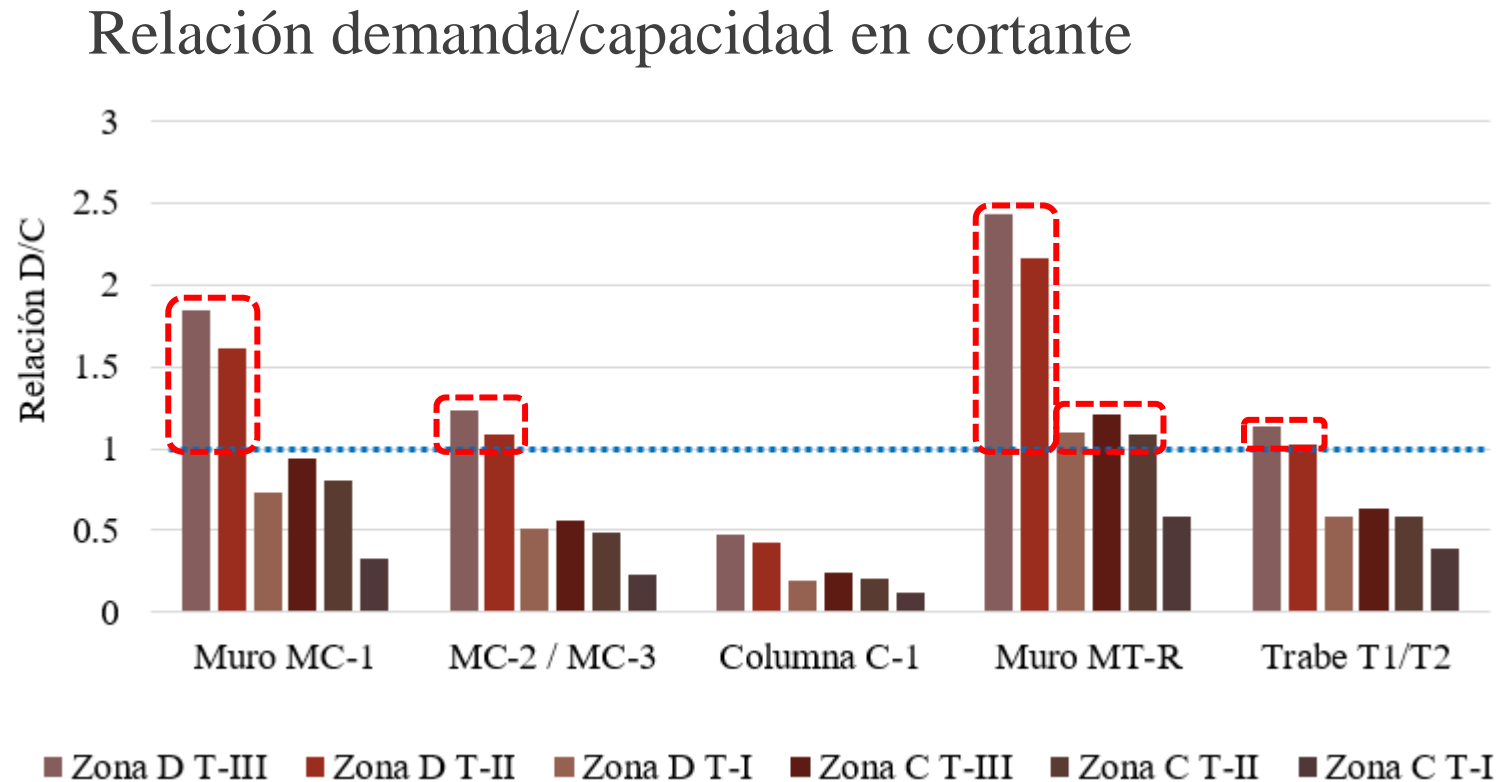
# Relaciones de Demanda / Capacidad

## Relaciones de demanda/capacidad en el prototipo U2C 2011



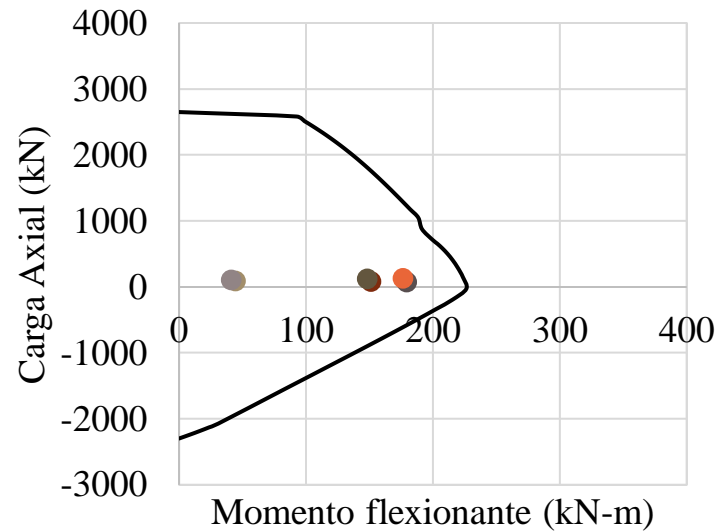
# Relaciones de Demanda / Capacidad

Relaciones de demanda/capacidad en el prototipo U2C 2011

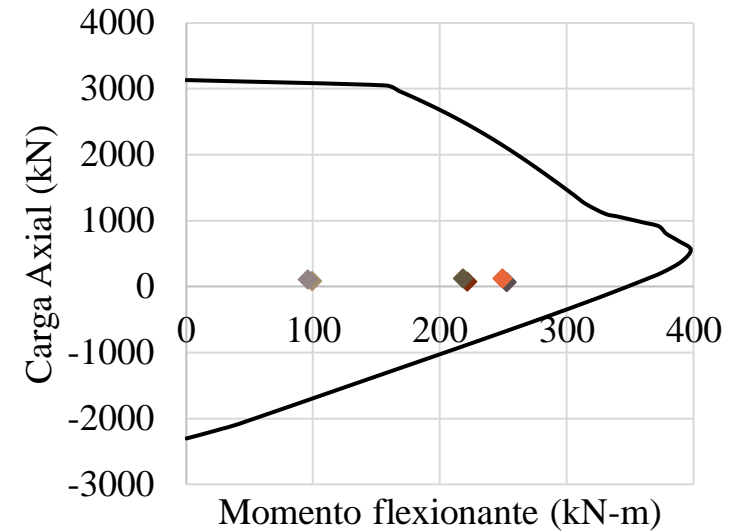


# Relaciones de Demanda / Capacidad

## Relaciones de demanda/capacidad en el prototipo U1C 2011



Zona C  
C-1 (30x45cm)



Zona D  
C-1 (40x45cm)

— Resistencia de diseño    ◆ Zona D T-III    ◆ Zona D T-II    ◆ Zona D T-I    ● Zona C T-III    ● Zona C T-II    ● Zona C T-I

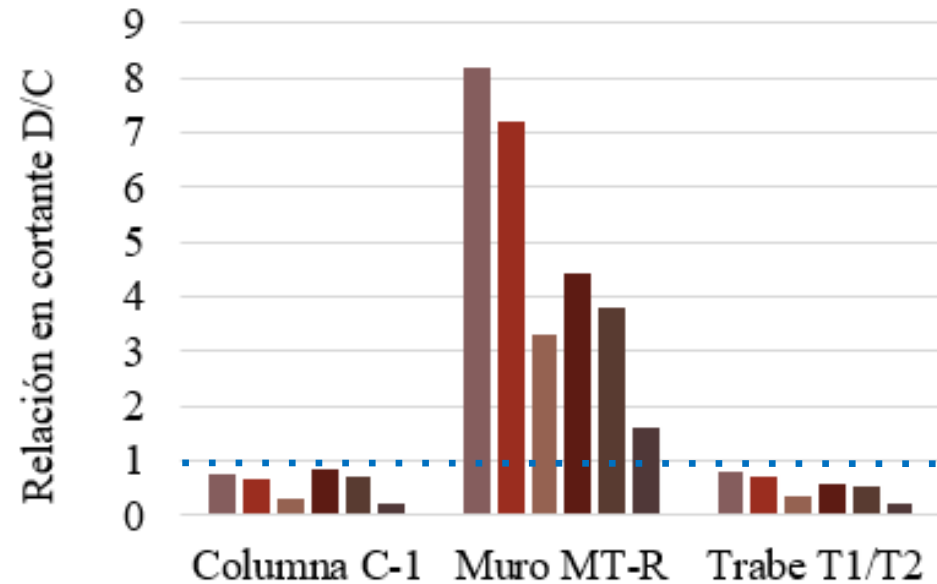


# Relaciones de Demanda / Capacidad

Relaciones de demanda/capacidad en el prototipo **U1C 2011**

---

Relación demanda/capacidad en cortante

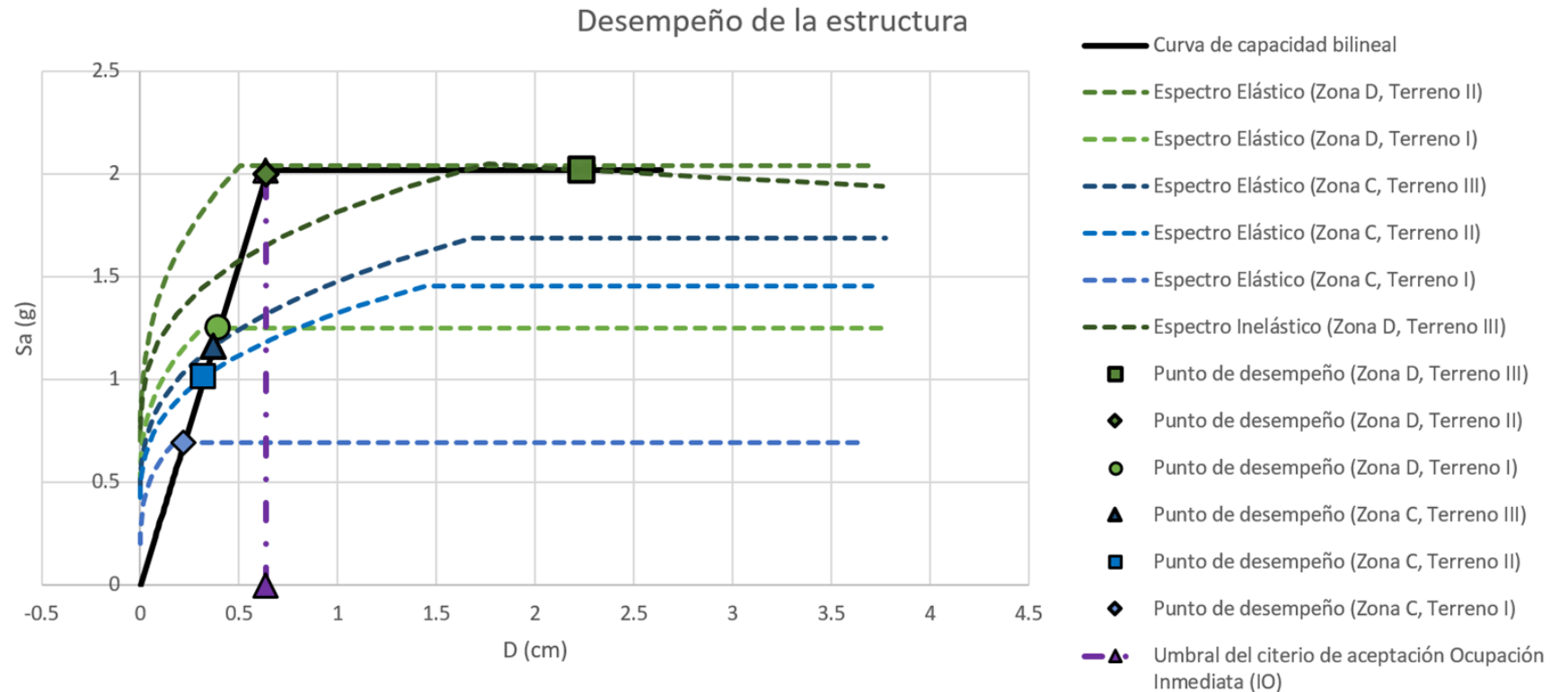


■ Zona D T-III ■ Zona D T-II ■ Zona D T-I ■ Zona C T-III ■ Zona C T-II ■ Zona C T-I

# 8. ANÁLISIS NO LINEALES

Trabajos a realizar:

- Análisis estático no lineal
- Análisis no lineales paso a paso

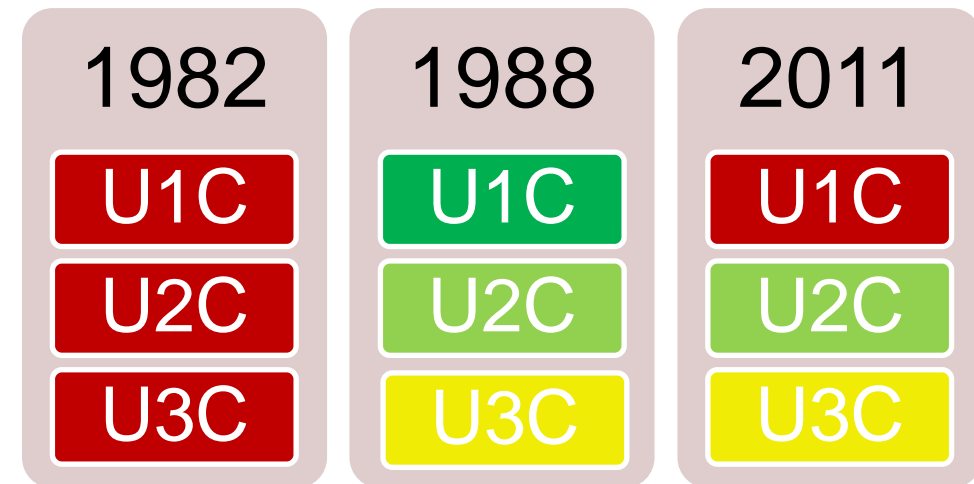


# 9. CONCLUSIONES

---

Con base en los resultados obtenidos de los análisis de los prototipos con las demandas sísmicas de diseño para las zonas sísmicas C y D de la República Mexicana, se infiere lo siguiente:

- La adición de muros de concreto podría ser una opción idónea de rehabilitación sísmica para los prototipos sin muros de concreto en alguna de sus direcciones.
- Los muros bajo ventanas no rigidizan lo suficiente y solo induce fallas frágiles, por lo que se ratifica desligar.
- Se recomienda ligar a la estructura los muros de mampostería en dirección Y, en los prototipos U1C de 1982 y de 2011, y en dirección X añadir muros de concreto.



# 9. CONCLUSIONES

---

Con base en los resultados obtenidos de los análisis de los prototipos con las demandas sísmicas de diseño de la Ciudad de México (NTC-Sismo, 2017), se infiere lo siguiente:

- Casi todos los prototipos tuvieron un comportamiento adecuado, debido a que las demandas en la Ciudad de México son del orden de 4 veces menores que las estipuladas en la norma NMX-R-079-SCFI-2015.
- El prototipo U3C del año 1982, en la dirección X, es el único que no cumple con las distorsiones permisibles.
- Se espera que, en la Ciudad de México, todos los prototipos de 1988 y de 2011 presenten un nivel de desempeño de ocupación inmediata.

**¡GRACIAS!**



# **INCREMENTO DE LA SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE LA INFRAESTRUCTURA ESCOLAR DE MÉXICO**

---

**AVANCES DEL COMPORTAMIENTO NUMÉRICO DE EDIFICIOS  
ESCOLARES URBANOS DE CONCRETO (UC) ANTE SISMOS**

MTRO. SANTIAGO RODRÍGUEZ S.

MTRA. GIANELLA VALENCIA R.

FEBRERO 2021