



Aplicación del concreto de alta resistencia

Dr. Roberto Stark



¿ CONCRETO ?

USO DE CONCRETOS DE ALTA RESISTENCIA

- PROPIEDADES ESTRUCTURALES

EDIFICIOS ALTOS

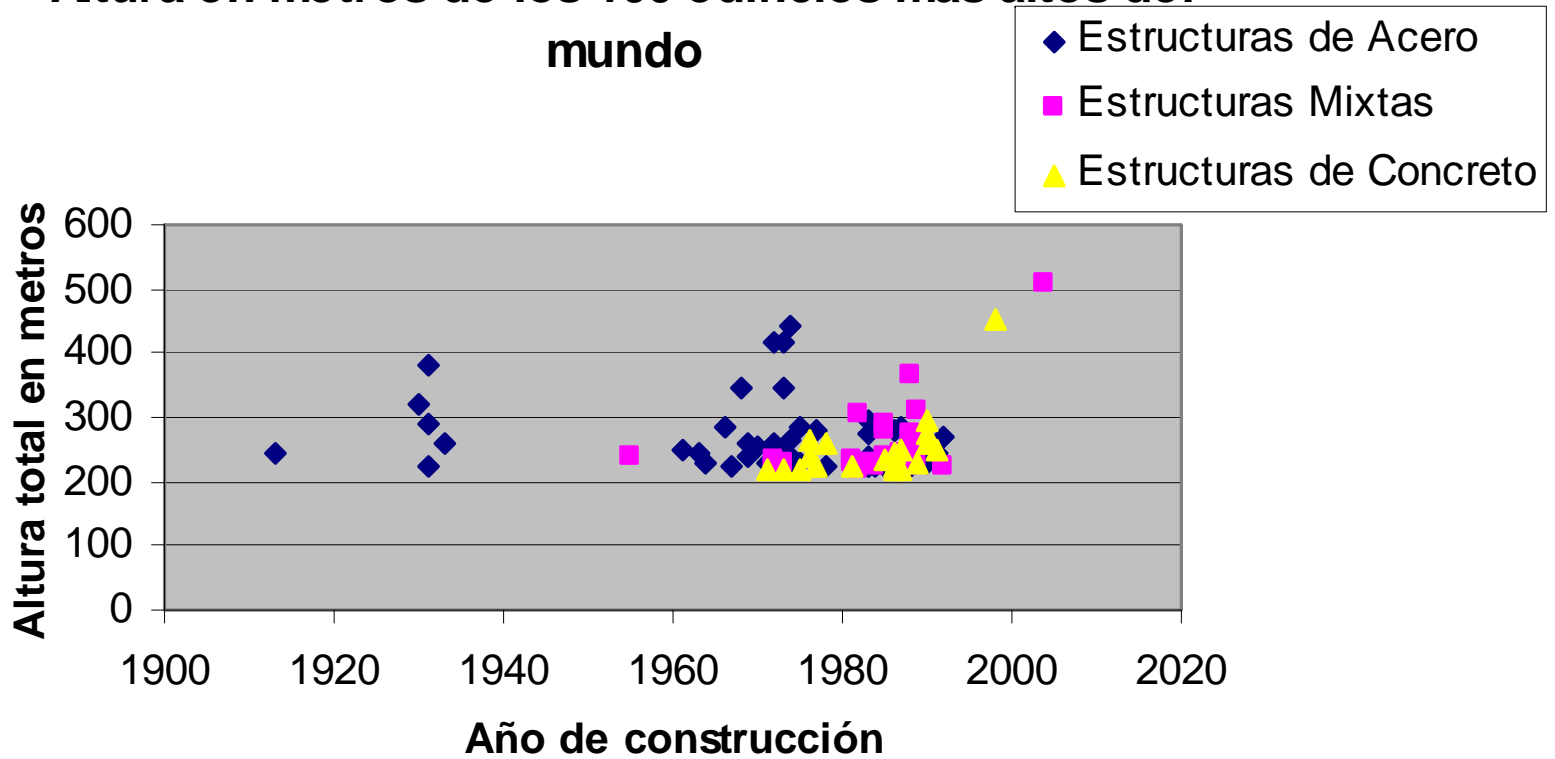




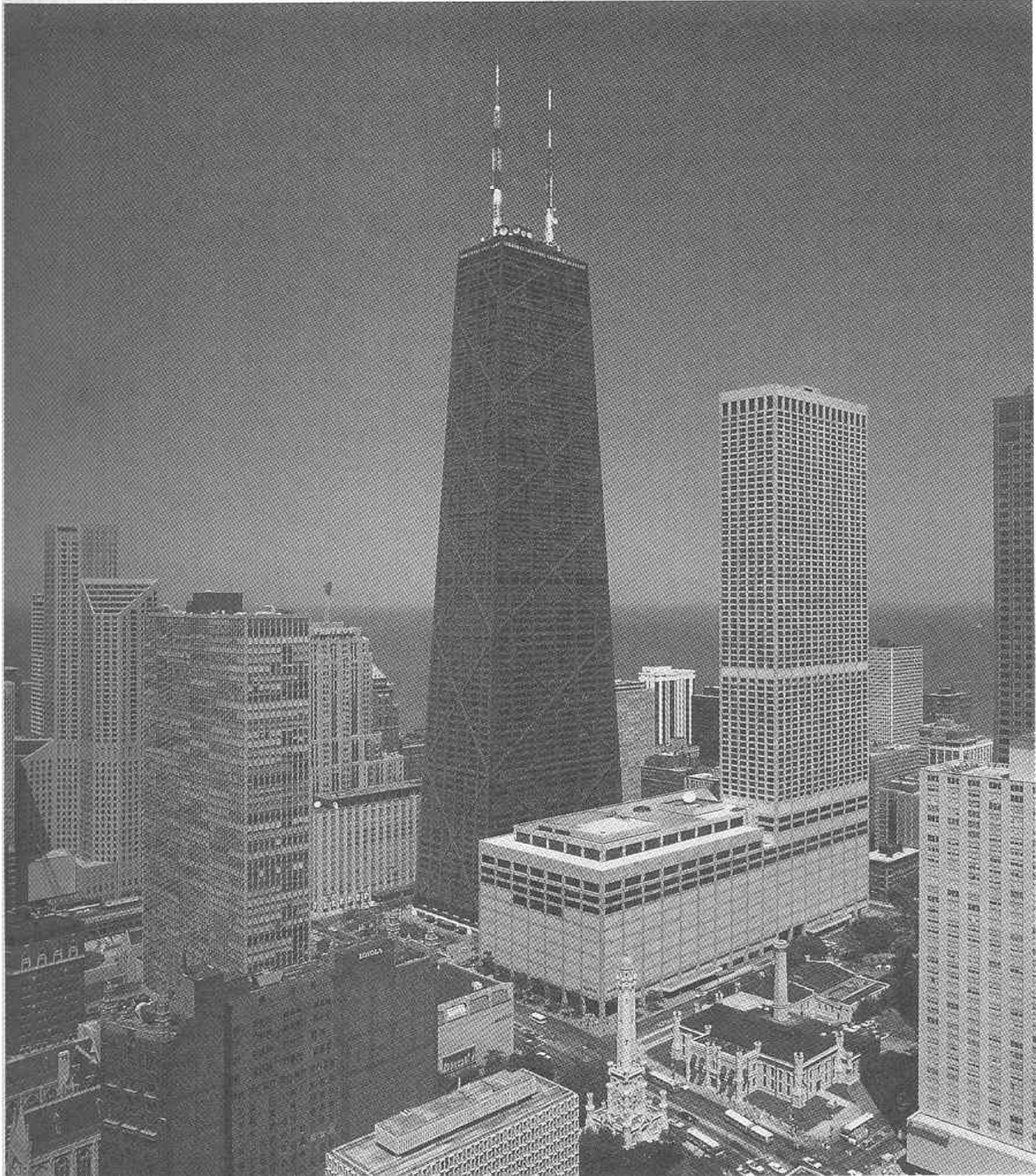


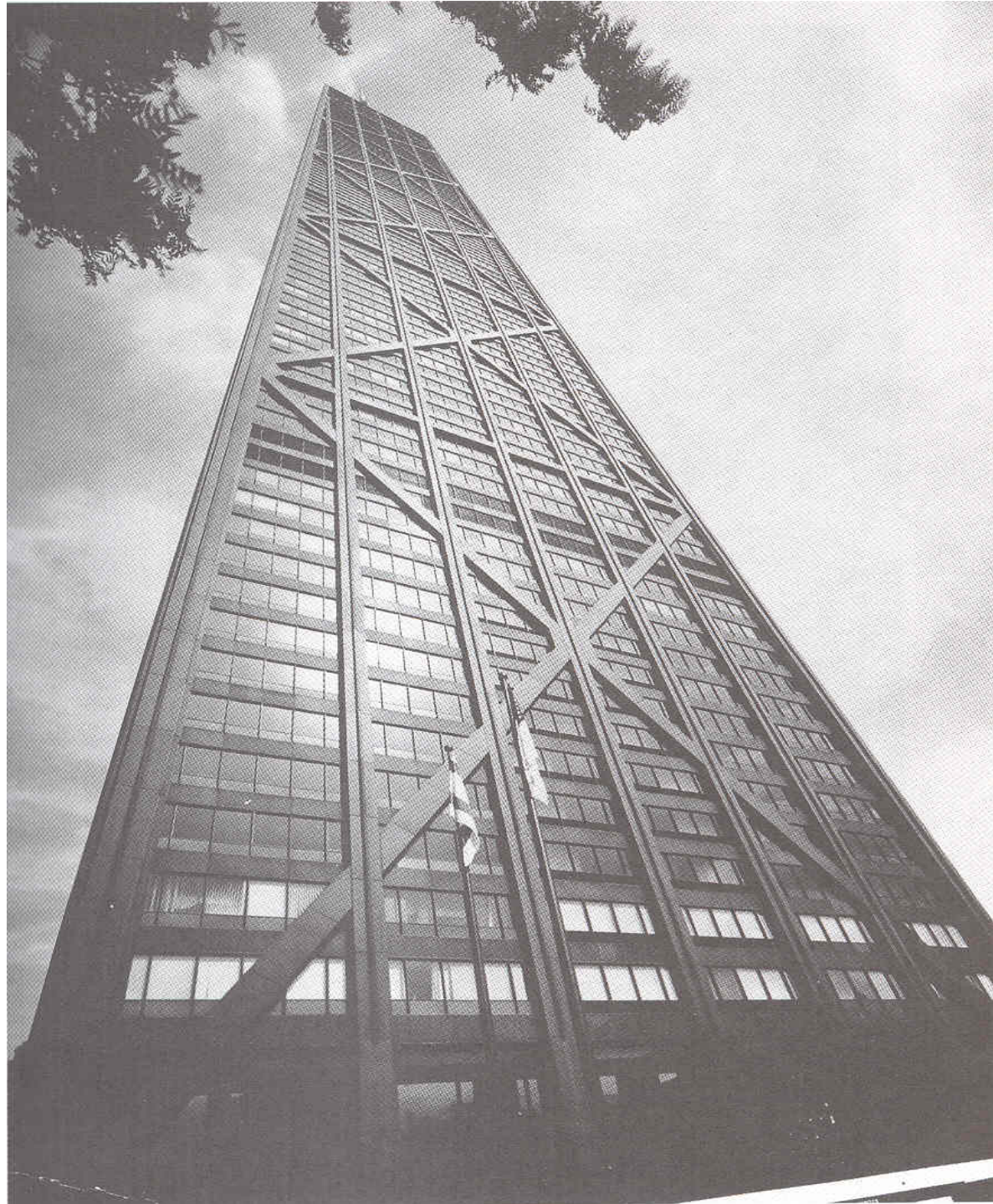


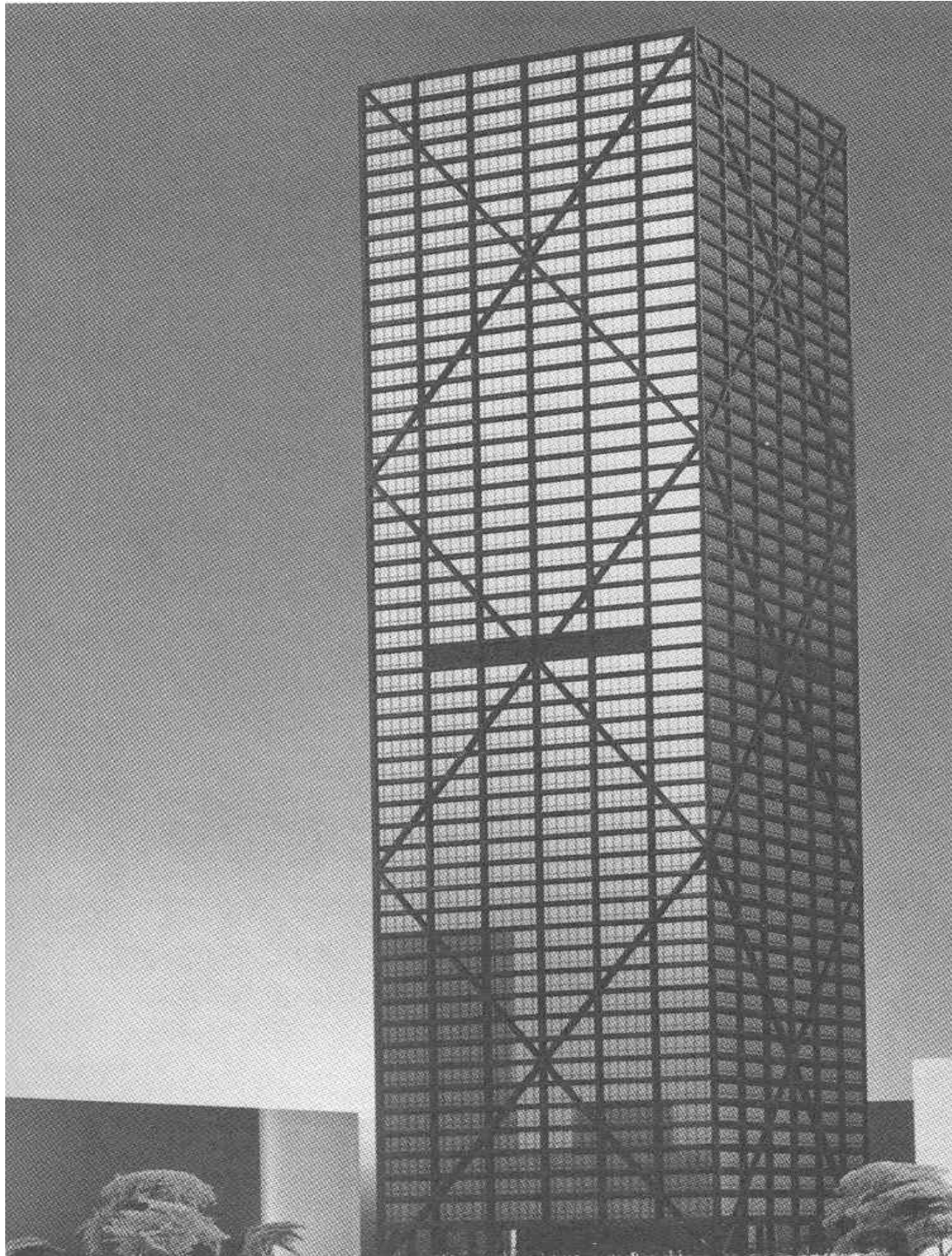
Altura en metros de los 100 edificios más altos del mundo











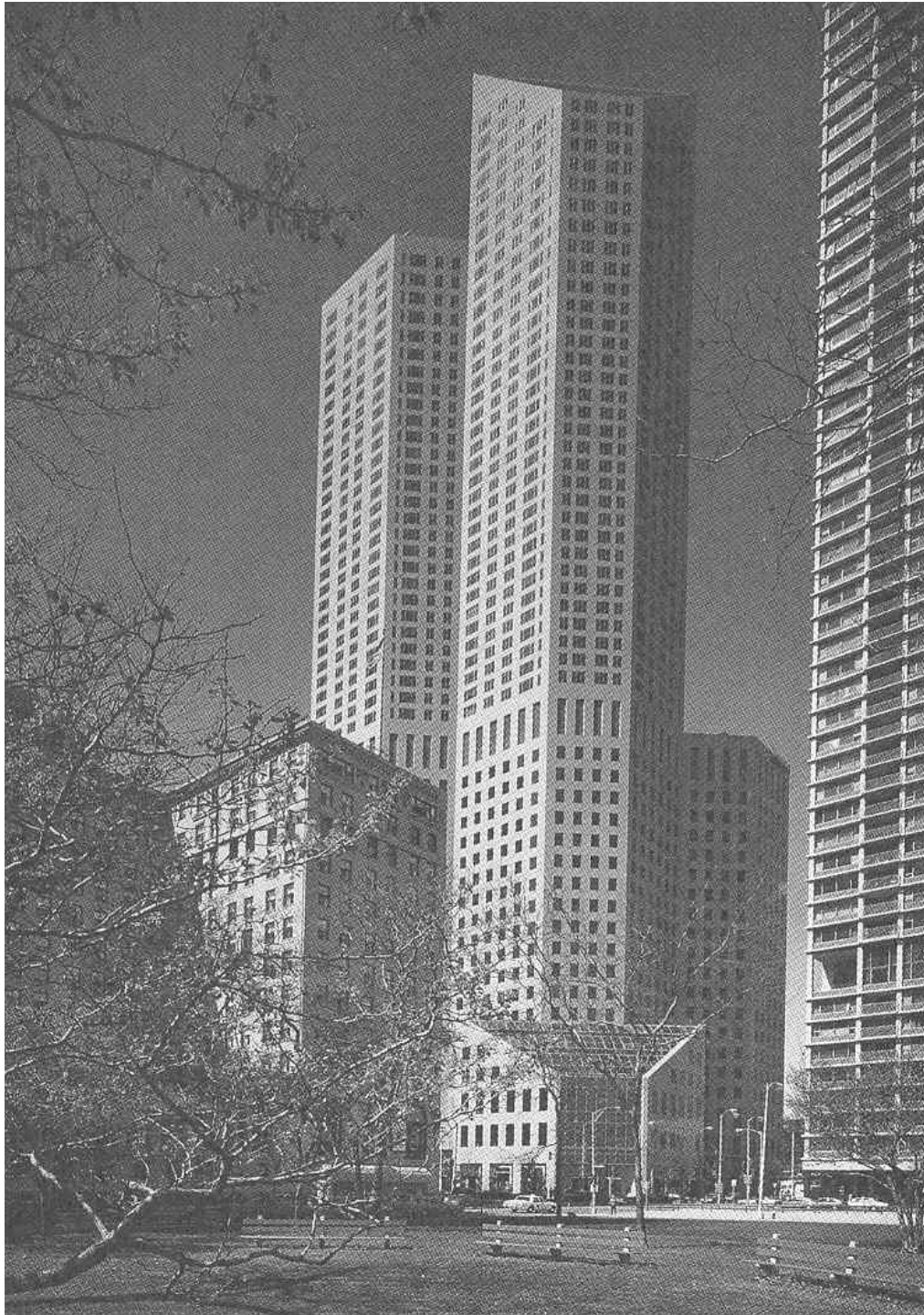






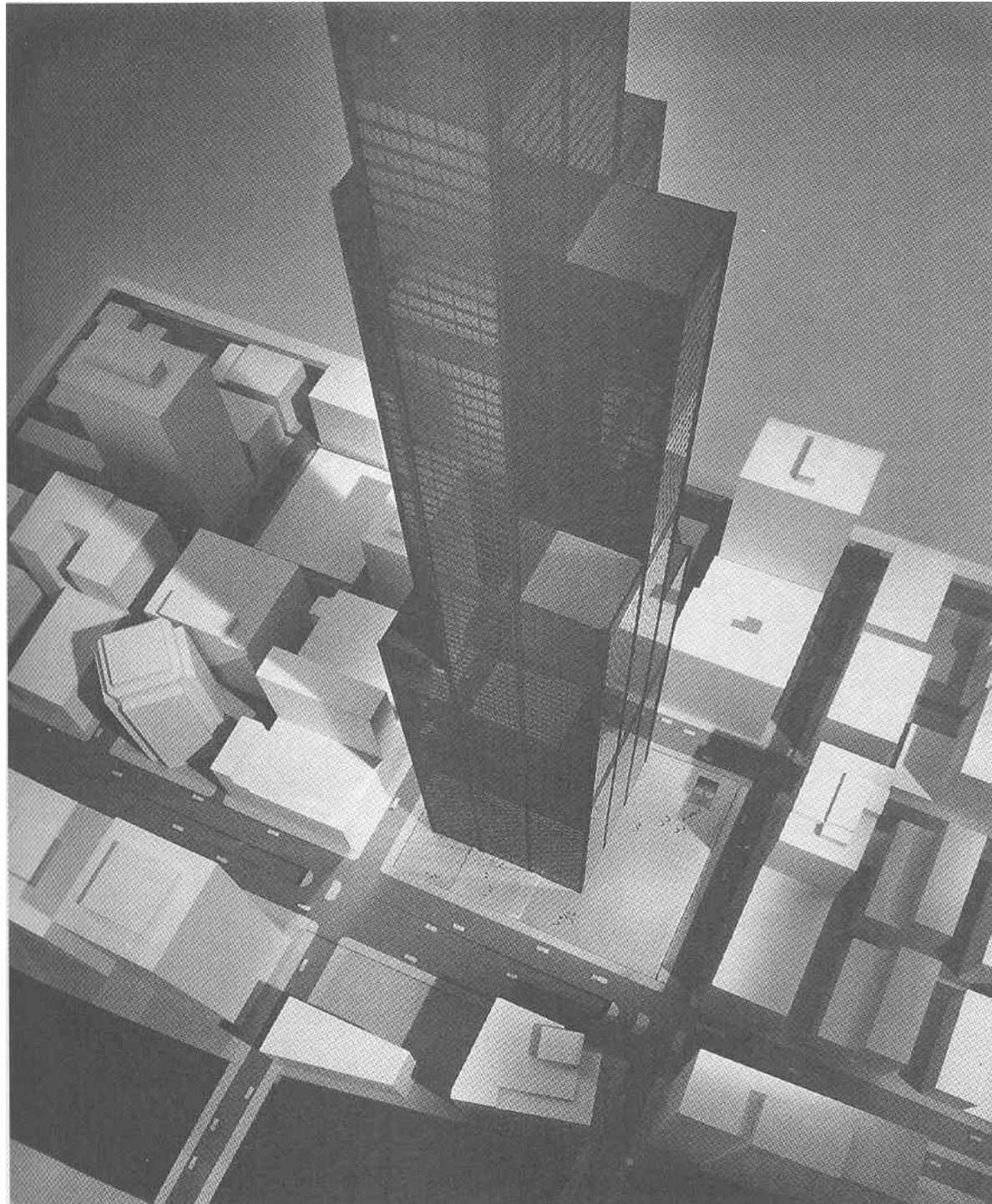
















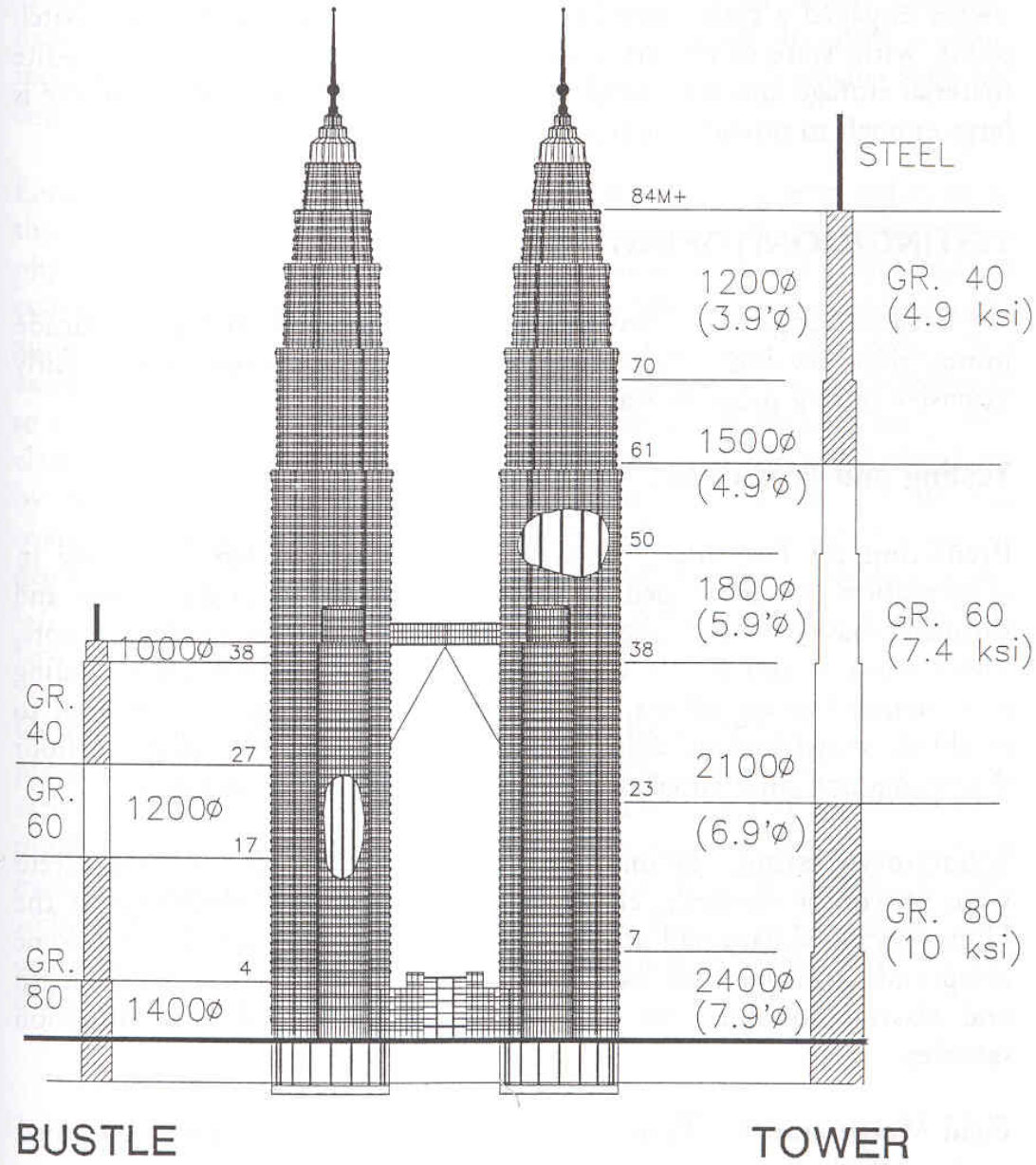


Fig. 5 Columns showing grade and size changes

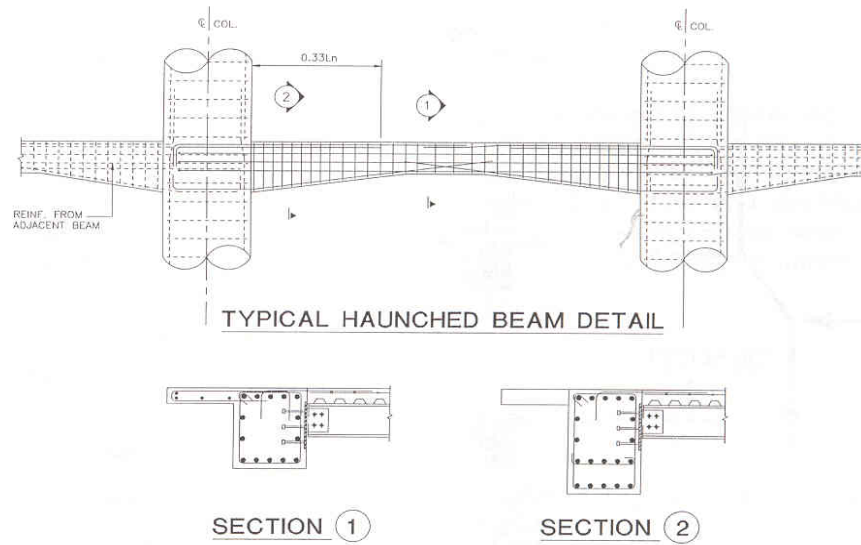


Fig. 2 Typical haunched beam detail

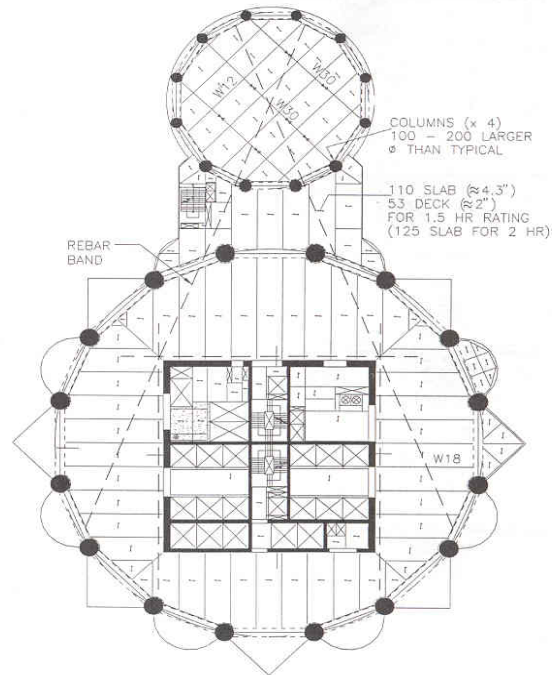
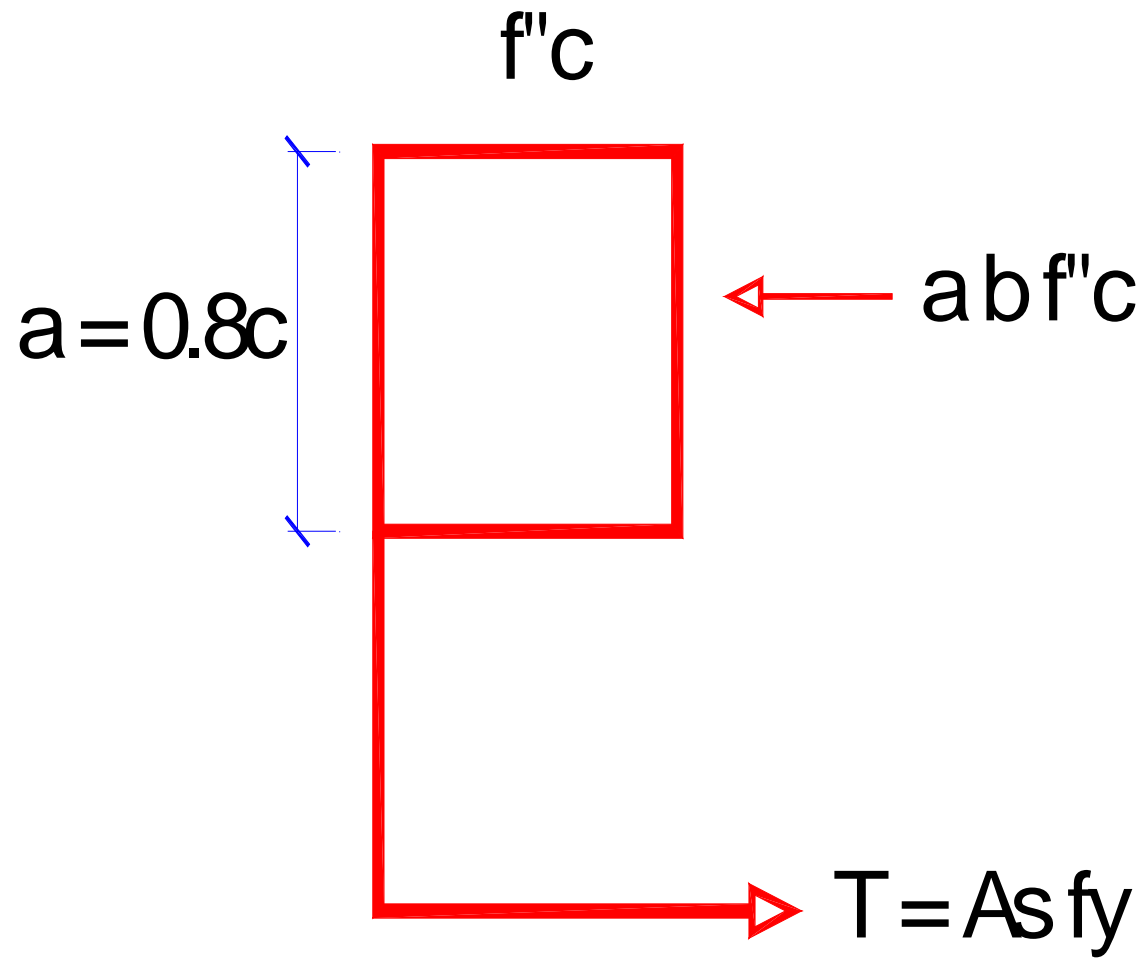


Fig. 3 Typical lower floor framing plan

N.T.C. -97

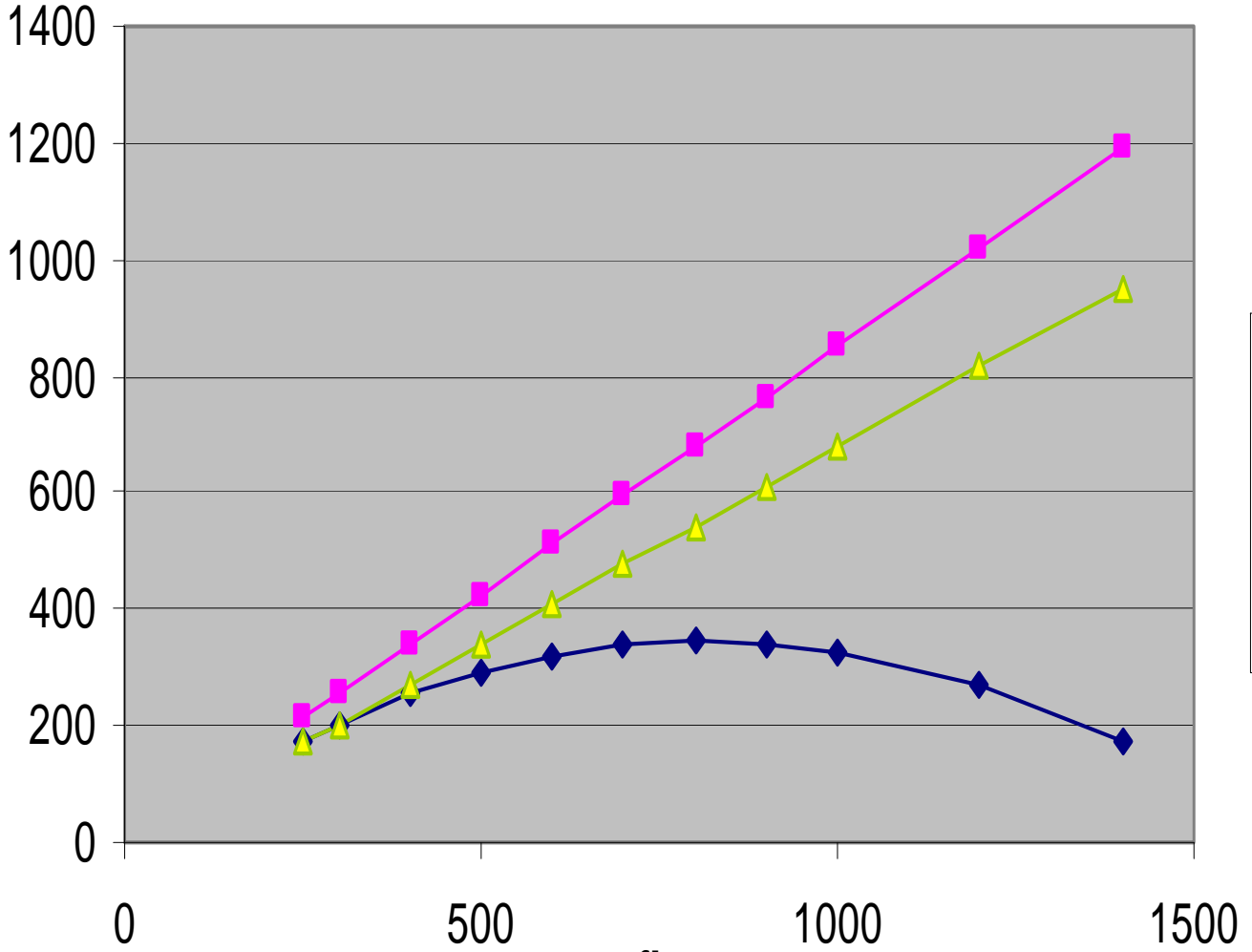
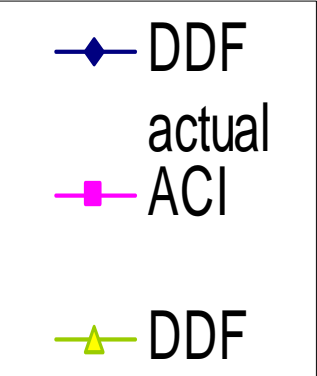


f'c

1400
1200
1000
800
600
400
200
0

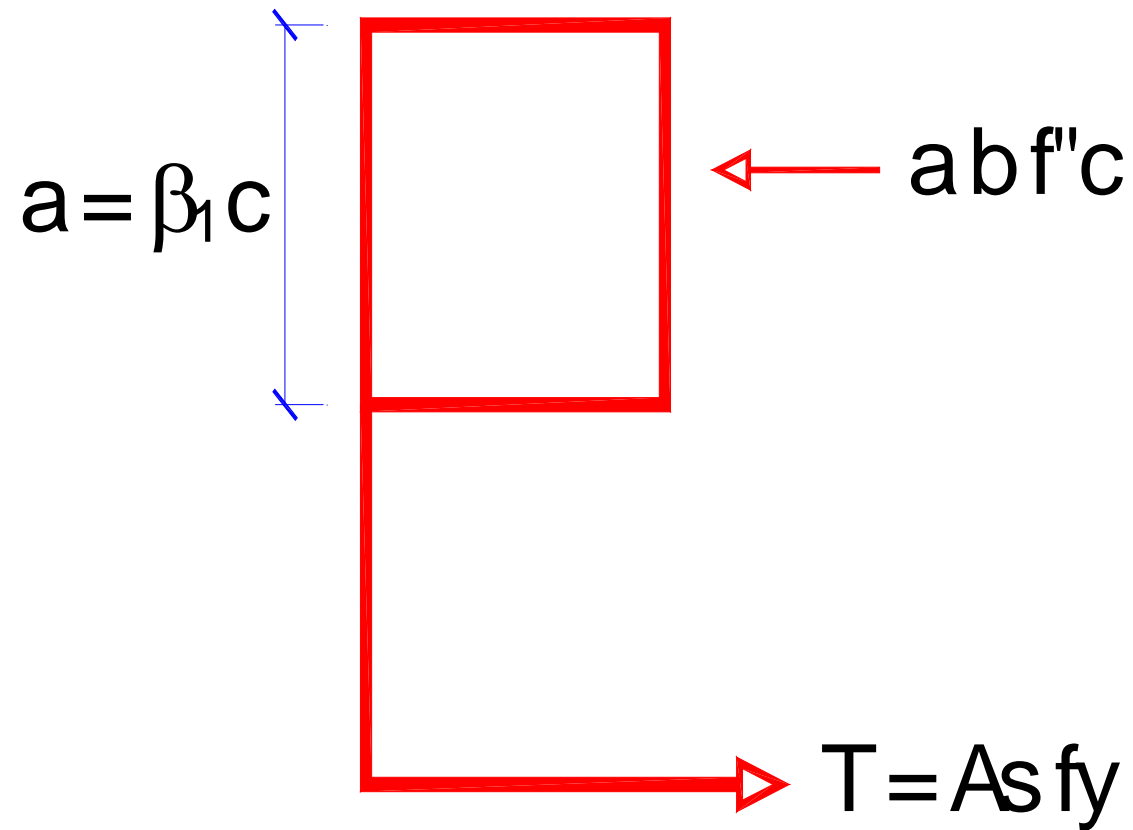
0 500 1000 1500

f'c

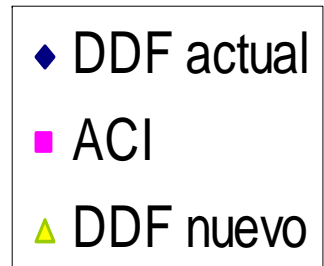
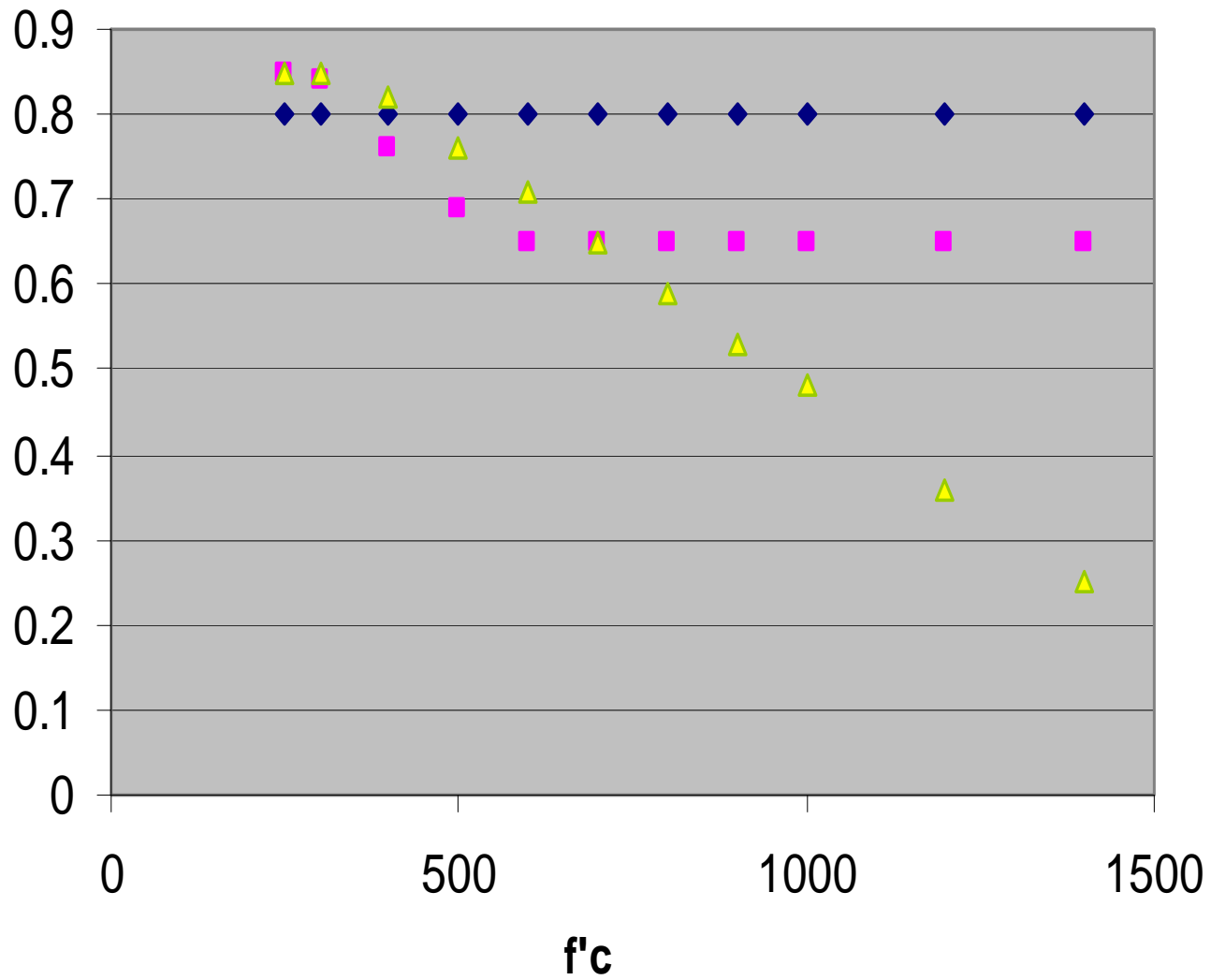


N.T.C. 20xx

$$f''c = 0.85 \times 0.8 \times f'c$$



beta



NTC del Distrito Federal
 $f'c \text{ max} = 550 \text{ kg/cm}^2$

Marcos Dúctiles

ACI 318 - 2008

NO SE PERMITEN
CONCRETOS CON
 $f'_c < 175 \text{kg/cm}^2$

CAPITULO 4

Requisitos de Durabilidad

Tabla 4.2.2 Requisitos para condiciones de exposición especial

Condición de exposición	Concreto de agregado de peso normal normal. Relación máxima agua/materiales cementantes	Concreto de agregado normal o ligero, f_c mínima, (kg/cm ²)
Concreto que se pretenda tenga baja permeabilidad en exposición al agua	0.5	280
Concreto expuesto a congelación y deshielo en condición húmeda o en descongelación por medio de químicos.	0.45	315
Para proteger de la corrosión al refuerzo en concretos expuestos a sales descongelantes agua	0.4	350

Categoría	Exposición	Clase	Condición	
F Congelacion y Deshielo	Ninguna	F0	Concreto no expuesto a ciclos de congelación y deshielo	
	Moderado	F1	Concreto expuesto a ciclos de congelación y deshielo y ocasionalmente expuesto con la humedad	
	Severo	F2	Concreto expuesto a ciclos de congelación y deshielo y en contacto continuo con la humedad.	
	Muy severo	F3	Concreto expuesto a ciclos de congelación y deshielo, en contacto continuo con la humedad y expuesto a quimicos descongelantes	
S Sulfatos			Sulfato soluble en agua (SO₄) en el terreno, porcentaje por peso	Dissolved Sulfato disuelto (SO₄) en agua, ppm
	Ninguna	S0	SO ₄ <0.10	SO ₄ <150
	Moderado	S1	0.10 ≤ SO ₄ <0.20	150 ≤ SO ₄ <1500 Agua de mar
	Severo	S2	0.20 ≤ SO ₄ ≤ 2.00	1500 ≤ SO ₄ ≤ 10,000
	Muy severo	S3	SO ₄ >2.00	SO ₄ >10,000
P Requisitos para baja permeabilidad	Ninguna	P0	En contacto con el agua cuando no se requiere baja permeabilidad	
	Requerido	P1	En contacto con el agua donde se requiere una baja permeabilidad	
C Protección del acero de refuerzo por corrosión	Ninguna	C0	Concreto seco o protegido de la humedad	
	Moderado	C1	Concreto expuesto a la humedad pero sin la presencia externa de cloruros C	
	Severo	C2	Concreto expuesto a la humedad y con presencia externa de cloruros provenientes de productos descongelantes, sal, agua salobre, agua de mar o salpicadura de estas fuentes.	

Exposición	Max. a/mc^{\dagger}	Min f_c' , kg/cm ²	Requisitos adicionales	
			Contenido de Aire	Limite de materiales cementicios
F0	N/A	175	N/A	N/A
F1	0.45	315	Tabla 4.4.1	N/A
F2	0.45	315	Tabla 4.4.1	N/A
F3	0.45	315	Tabla 4.4.1	Tabla 4.4.2

Exposición de clases F1, F2 y F3

- Relación máxima a/mc, 0.45
- Resistencia mínima a la compresión
 $f'_c = 315 \text{ kg/cm}^2$
- Contenido de aire, Tabla 4.4.1
- Límites en materiales cementantes sólo para F3, dado por la Tabla 4.4.2

Tamaño de agregado máximo	Contenido de aire, porcentaje	
	Exposición Clase F1	Exposición Clase F2 y F3
3/8	6	7.5
1/2	5.5	7
3/4	5	6
1	4.5	6
1-1/2	4.5	5.5
2†	4	5
3†	3.5	4.5

Exposición	Max. a/mc^{\dagger}	Min f_c' , kg/cm ²	Requisitos adicionales		
			<p align="center">Contenido máximo de Iones de Cloruro disuelto en el concreto, porcentaje por peso del cemento (Cl⁻)</p>		<p align="center">Requisitos que se relacionane</p>
			<p align="center">Concreto Reforzado</p>	<p align="center">Concreto Presforzado</p>	
C0	N/A	175	1.00	0.06	None
C1	N/A	175	0.30	0.06	
C2	0.40	350	0.15	0.06	7.7.6, 18.16**

CAPITULO 5

Calidad del concreto,
mezclado y colocación

$$5.1 \quad f'_c > 175 \text{ kg/cm}^2$$

5.6.3.3 Criterios de aceptación de los cilindros de prueba

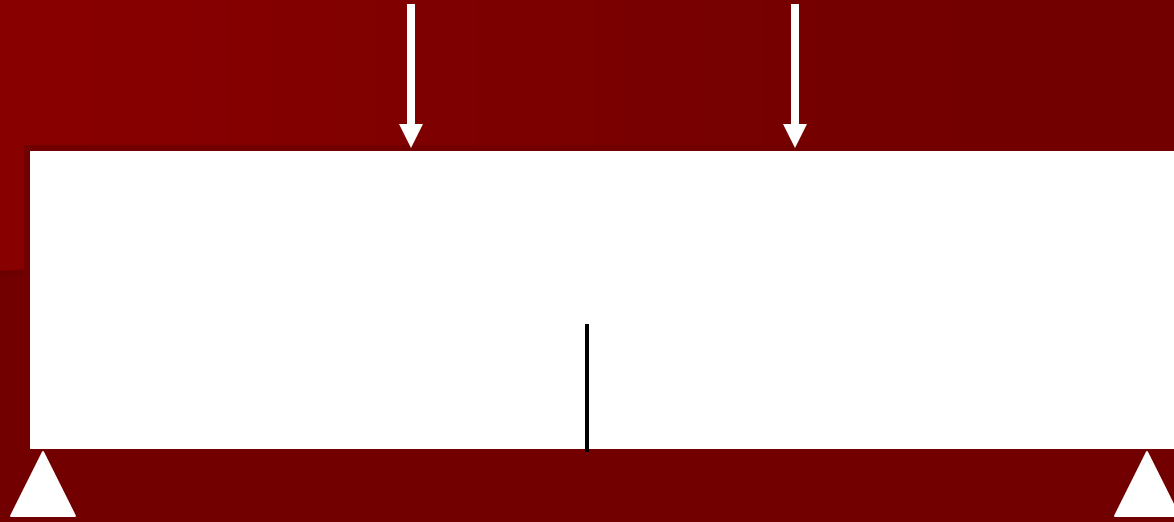
El promedio de 2 cilindros no debe ser menor del $f'c$ en:

$0.1 f'c$ cuando $f'c > 350$
 kg/cm^2

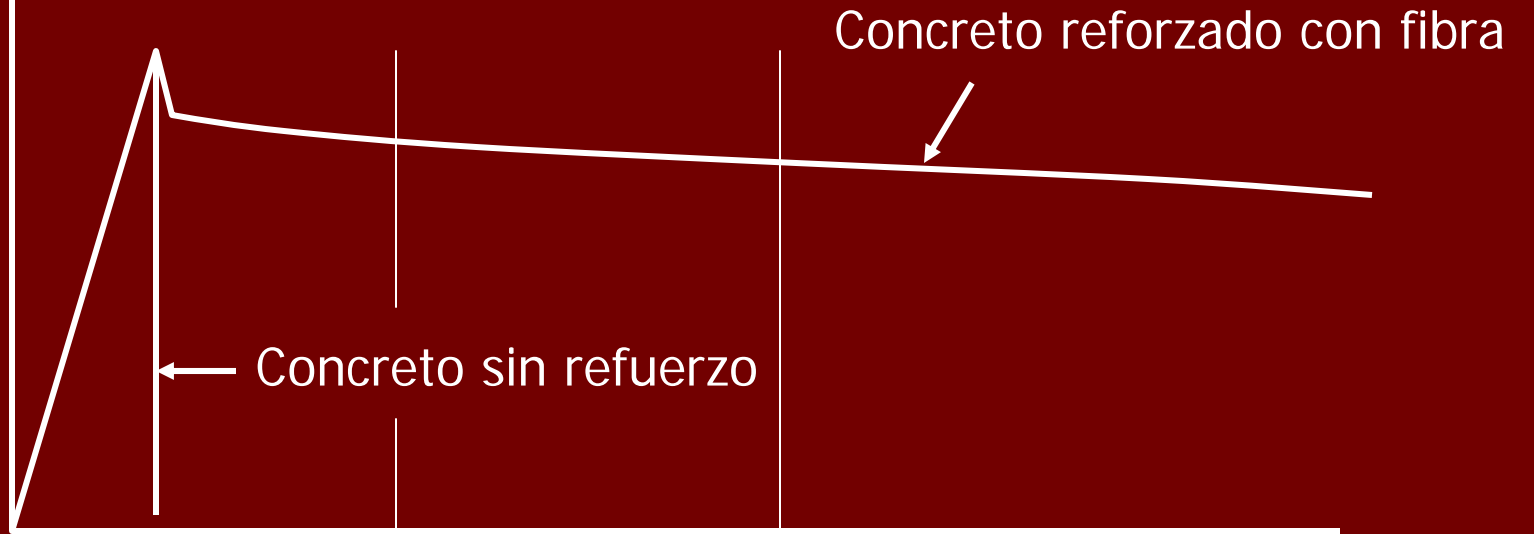
Anteriormente era un valor fijo de
 35 kg/cm^2

Capítulos referentes a Materiales (3 – 5)

- 5.6.2.3 – La prueba de resistencia se hará cuando menos con el promedio de **dos** cilindros de **15 x 30** o cuando menos con **tres** cilindros de **10 x 20** cm
- 5.6.6.2 – La utilización del refuerzo con **fibra de acero** podrá considerarse aceptable para resistir el cortante:
a) 60 kg por m³, b) Resistencia residual a la flexión de una viga del 90 % en su resistencia pico a una deformación de $\ell/300$, y c) Resistencia residual del 75% en su resistencia pico a una deformación de $\ell/150$



Carga Total



$\ell/300$

$\ell/150$

Deformación al centro del claro

5.6.5.3 Manejo de corazones.
Se debe retirar el agua de la superficie de la muestra y colocarla en bolsas herméticas.

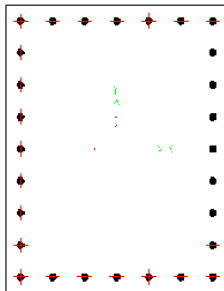
Las muestras deben ensayarse después de 48 hrs y antes de 7 días de la extracción

10.13 f'_c col. $<$ 1.4 f'_c trabe
ACI 318 - 08

10.13 f'_c col. $<$ 1.2 f'_c trabe
ACI 318 - 11 ó 14 ???

Concretos de alta resistencia
Mayor eficacia en elementos a
flexocompresión o compresión
que a elementos a flexión

Column 100x120
 $f'_c = 500 \text{ kg/cm}^2$
28 # 10



Interaction Surface (Mexican RCDF 2001)

Edit

	P	M3	M2
1	-3475.8898	0.	0.
2	-2958.2603	252.8212	0.
3	-2577.0944	400.9791	0.
4	-2174.4271	511.1075	0.
5	-1736.1072	587.449	0.
6	-1236.2234	639.7941	0.
7	-901.2128	614.1189	0.
8	-594.0955	577.7906	0.
9	-251.0234	494.5695	0.
10	161.5721	327.3376	0.
11	770.8475	0.	0.
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			

Options

- phi
- no phi
- no phi with fy increase

3D View

Plan: 315

Elevation: 35

3d MM PM3 PM2

Curve 1
Angle 0.

Done

Interaction Surface (Mexican RCDF 2001)

Edit

	P	M3	M2
1	-3475.8898	0.	0.
2	-2951.2637	0.	217.1397
3	-2565.4148	0.	342.8493
4	-2154.8888	0.	437.9369
5	-1713.95	0.	505.0509
6	-1204.6458	0.	552.8522
7	-897.0235	0.	528.7679
8	-611.0677	0.	496.5719
9	-304.1859	0.	433.4014
10	128.1432	0.	285.4681
11	770.8475	0.	0.
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			

Options

- phi
- no phi
- no phi with fy increase

3D View

Plan: 315

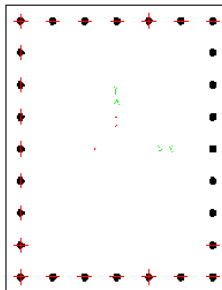
Elevation: 35

3d MM PM3 PM2

Curve 7
Angle 90.

Done

Column 100x120
 $f'c = 400 \text{ kg/cm}^2$
28 # 10



Interaction Surface (Mexican RCFD 2001)

Edit

	P	M3	M2
1	-2915.6102	0.	0.
2	-2460.9609	219.3881	0.
3	-2144.7253	342.0388	0.
4	-1806.9883	435.627	0.
5	-1433.5987	504.3953	0.
6	-998.6451	558.1342	0.
7	-711.3842	539.2078	0.
8	-447.8822	514.658	0.
9	-148.9792	447.1804	0.
10	213.9145	298.5531	0.
11	770.8475	0.	0.
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			

Options

- phi
- no phi
- no phi with fy increase

3D View

315 Plan

35 Elevation

3d MM PM3 PM2

Curve 1
Angle 0.

Done

Interaction Surface (Mexican RCFD 2001)

Edit

	P	M3	M2
1	-2915.6102	0.	0.
2	-2453.7504	0.	189.3694
3	-2133.3978	0.	293.7016
4	-1789.1482	0.	374.8761
5	-1413.7057	0.	435.88
6	-969.8978	0.	485.1483
7	-709.4592	0.	466.8093
8	-467.7641	0.	444.499
9	-204.4056	0.	394.217
10	178.9472	0.	262.1023
11	770.8475	0.	0.
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			

Options

- phi
- no phi
- no phi with fy increase

3D View

315 Plan

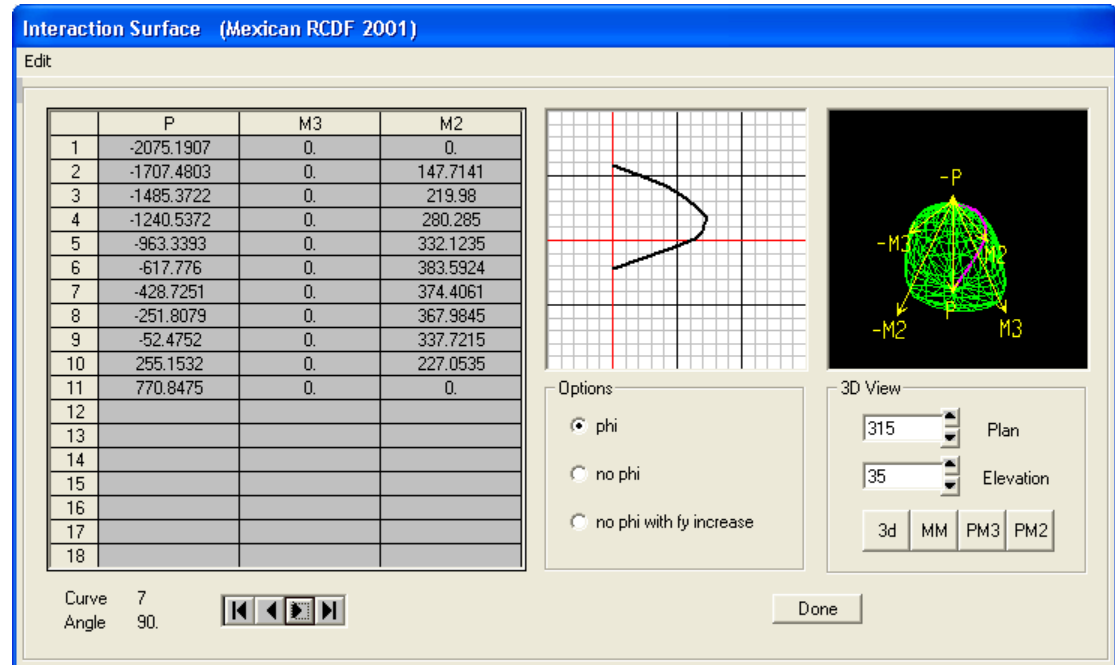
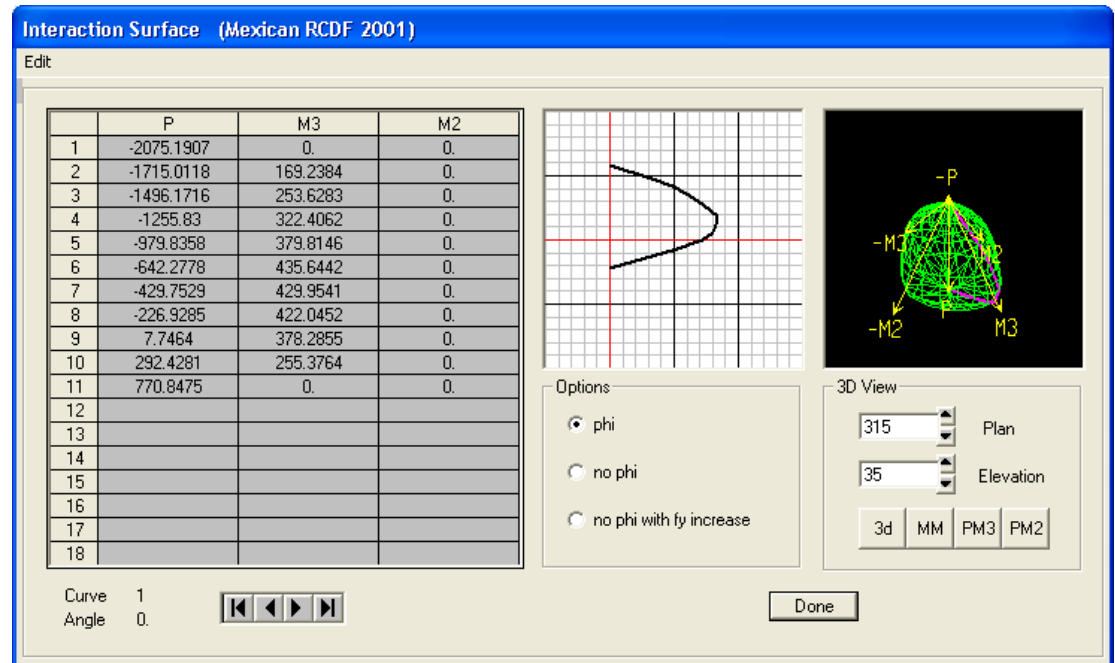
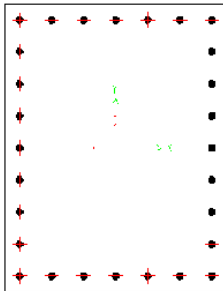
35 Elevation

3d MM PM3 PM2

Curve 7
Angle 90.

Done

Column 100x120
 $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$
28 # 10



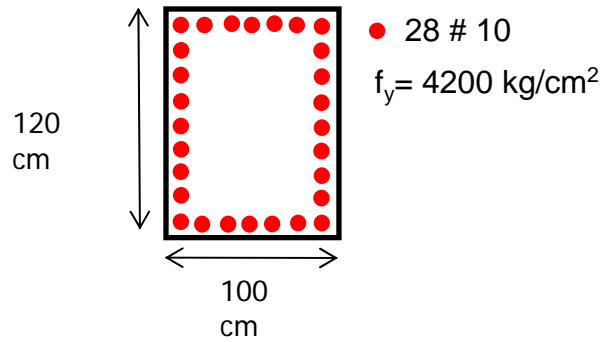
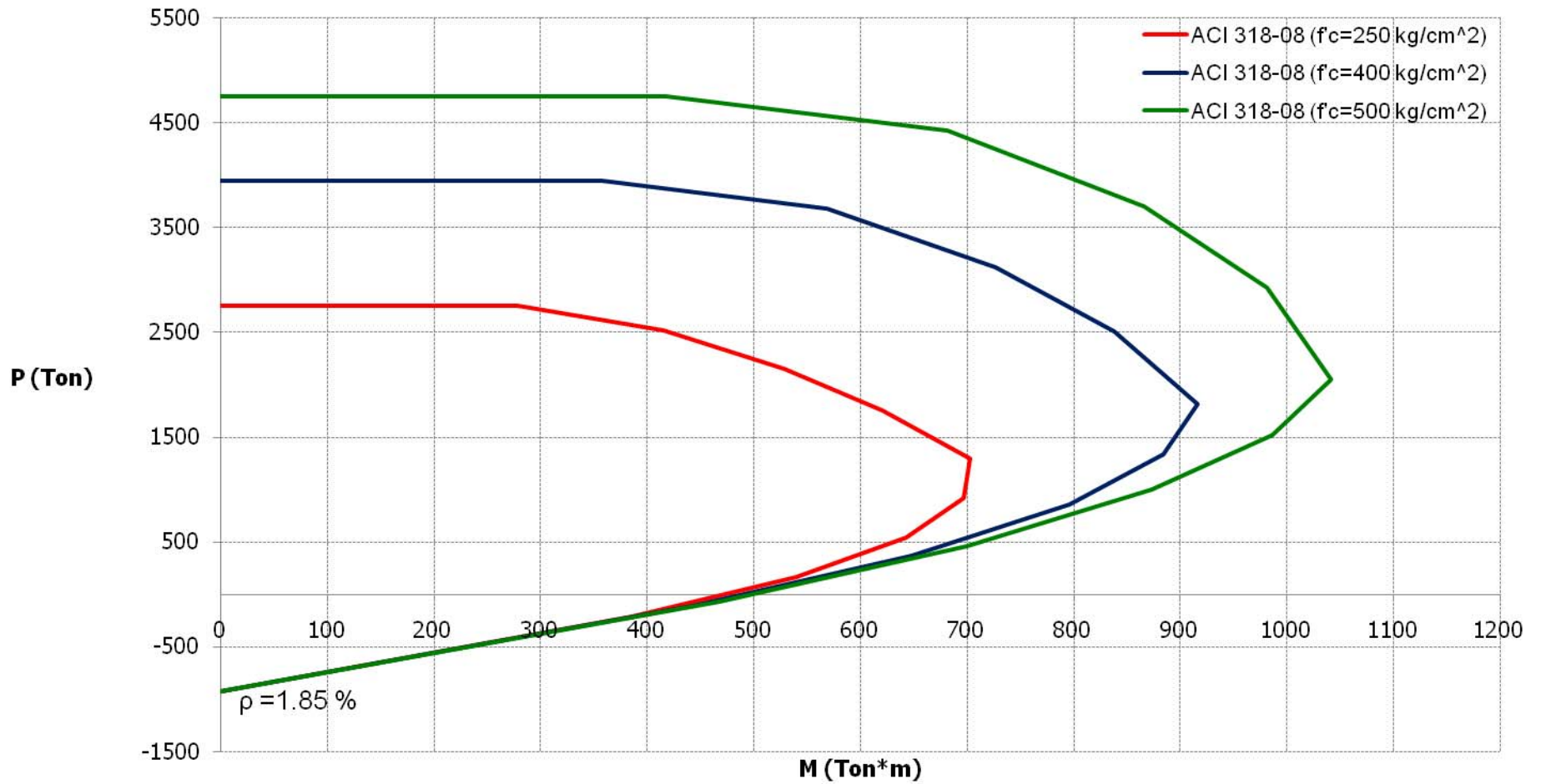


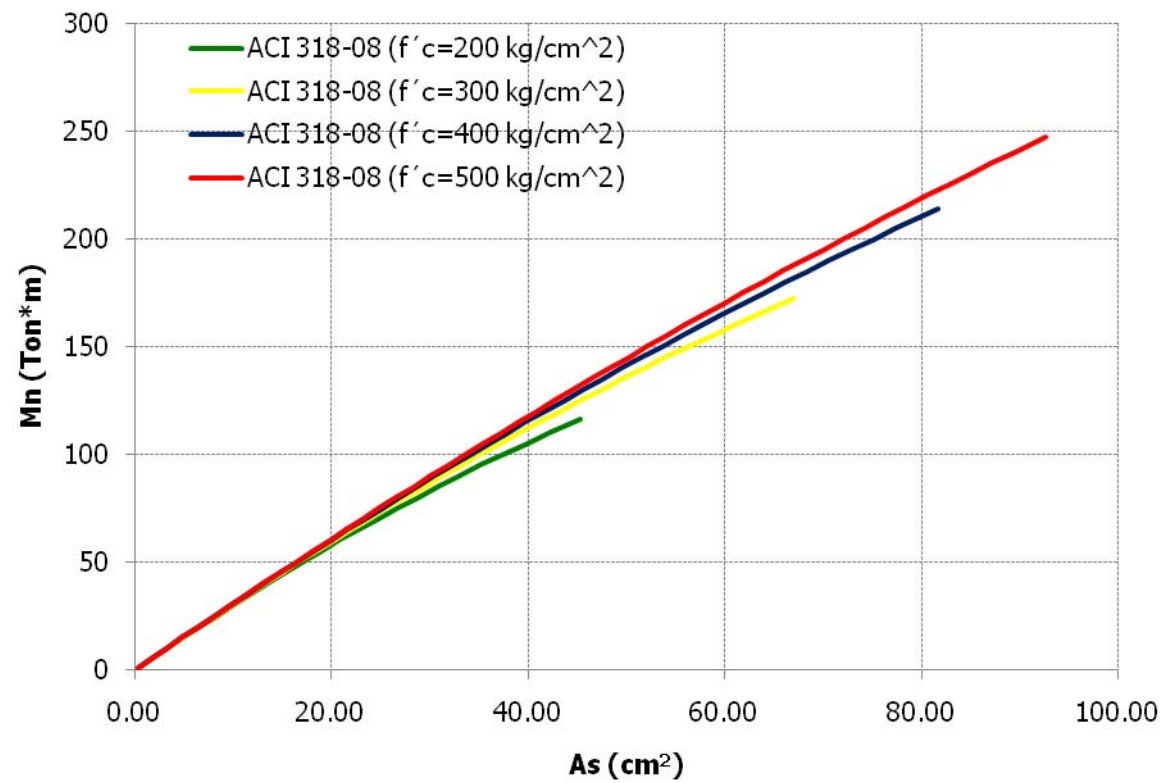
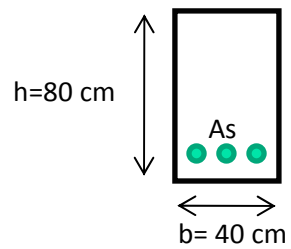
DIAGRAMA DE INTERACCION



Aumento a la compresión pura
de un 67 % al pasar de una
resistencia de 250 kg/cm² a
500 kg/cm²

Estudio de vigas

$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$



Aumento a la flexión pura de un
10 % al pasar de una
resistencia de 250 kg/cm² a
500 kg/cm²

Mayor diferencia a menor
porcentaje de acero de refuerzo

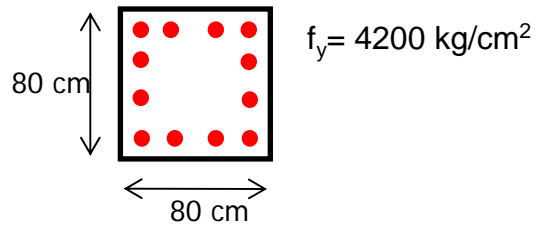
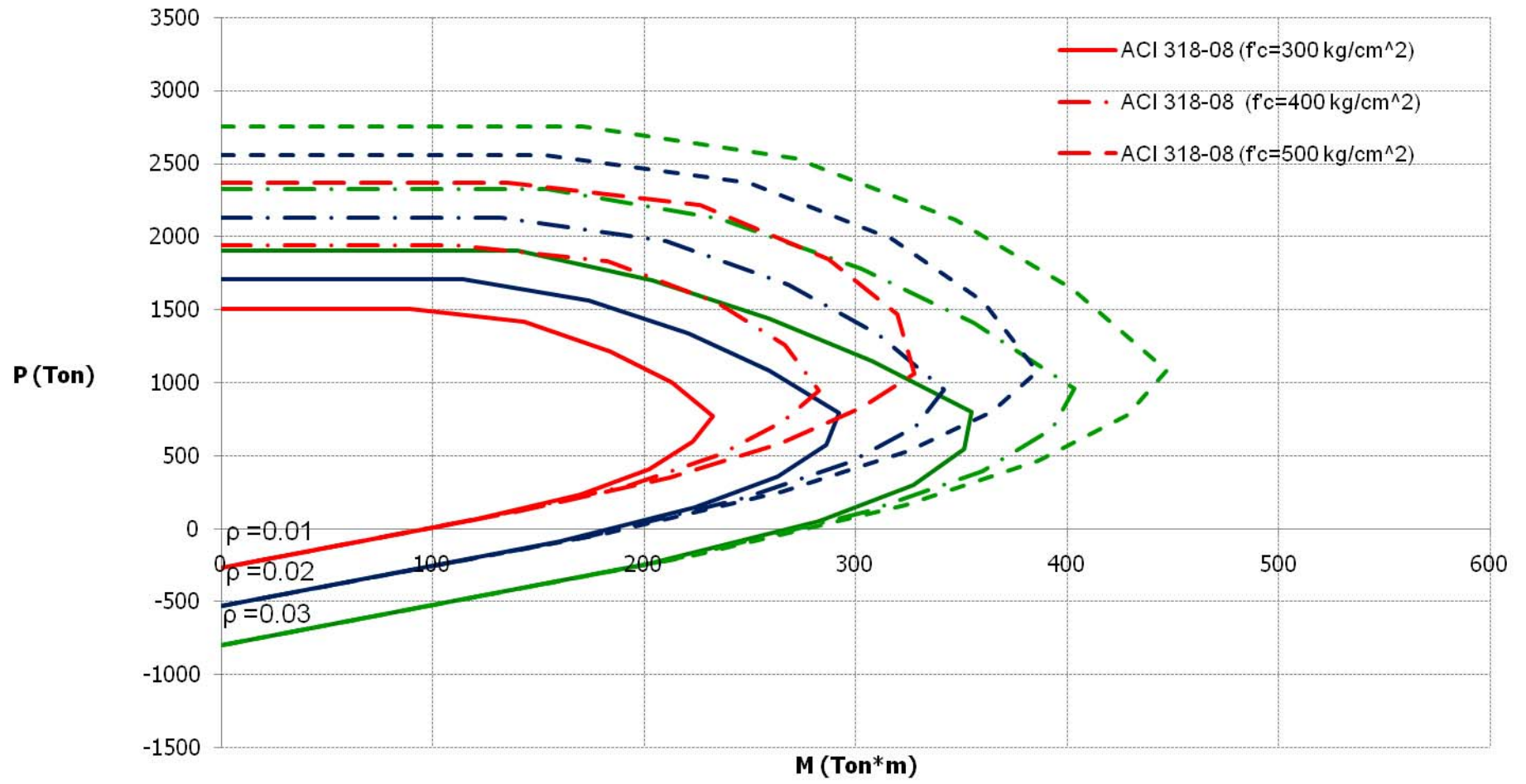


DIAGRAMA DE INTERACCION



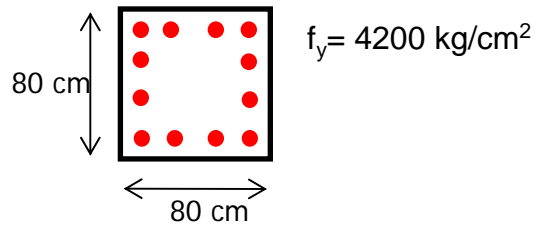
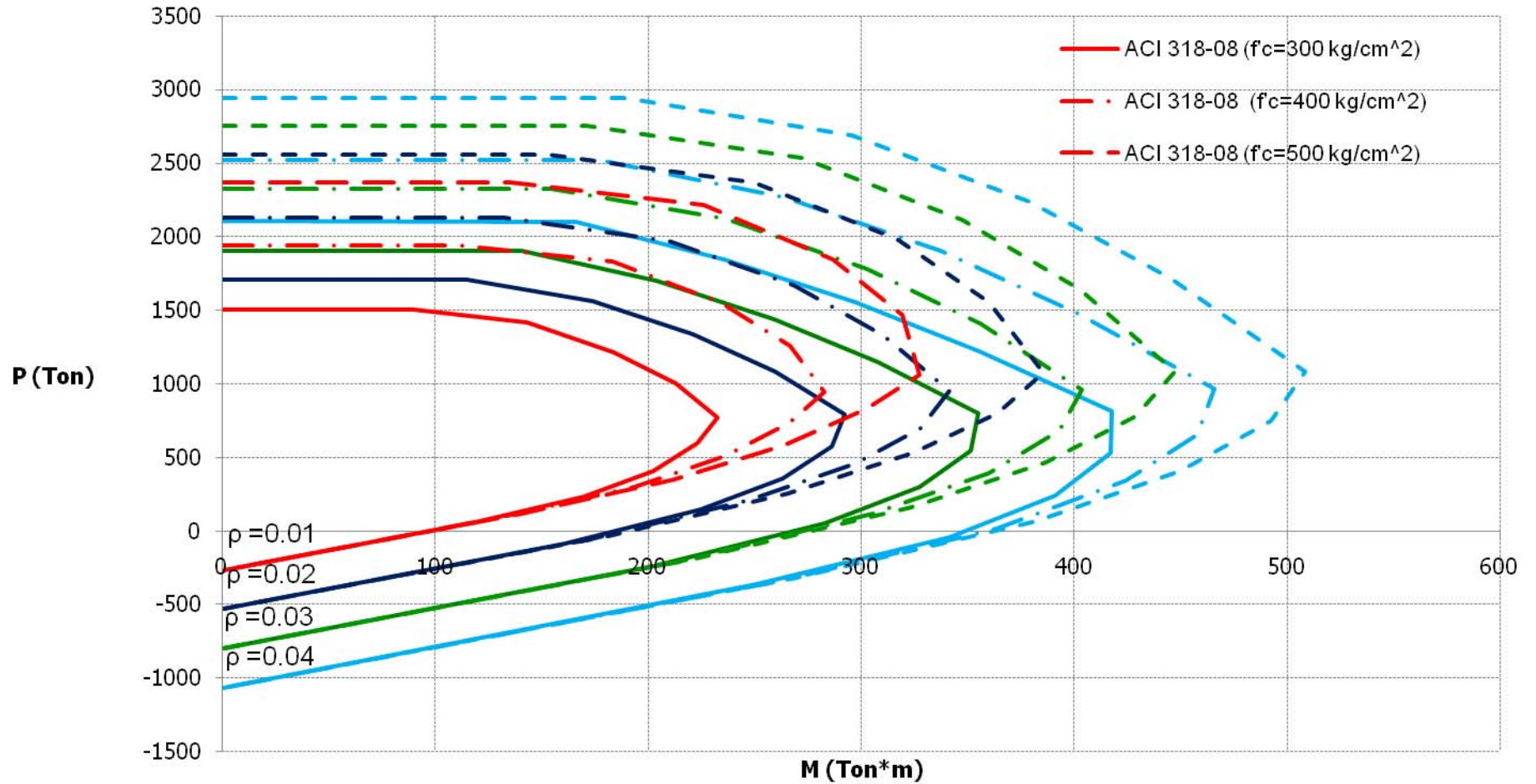


DIAGRAMA DE INTERACCION



Mayor $f'c$ mayor E

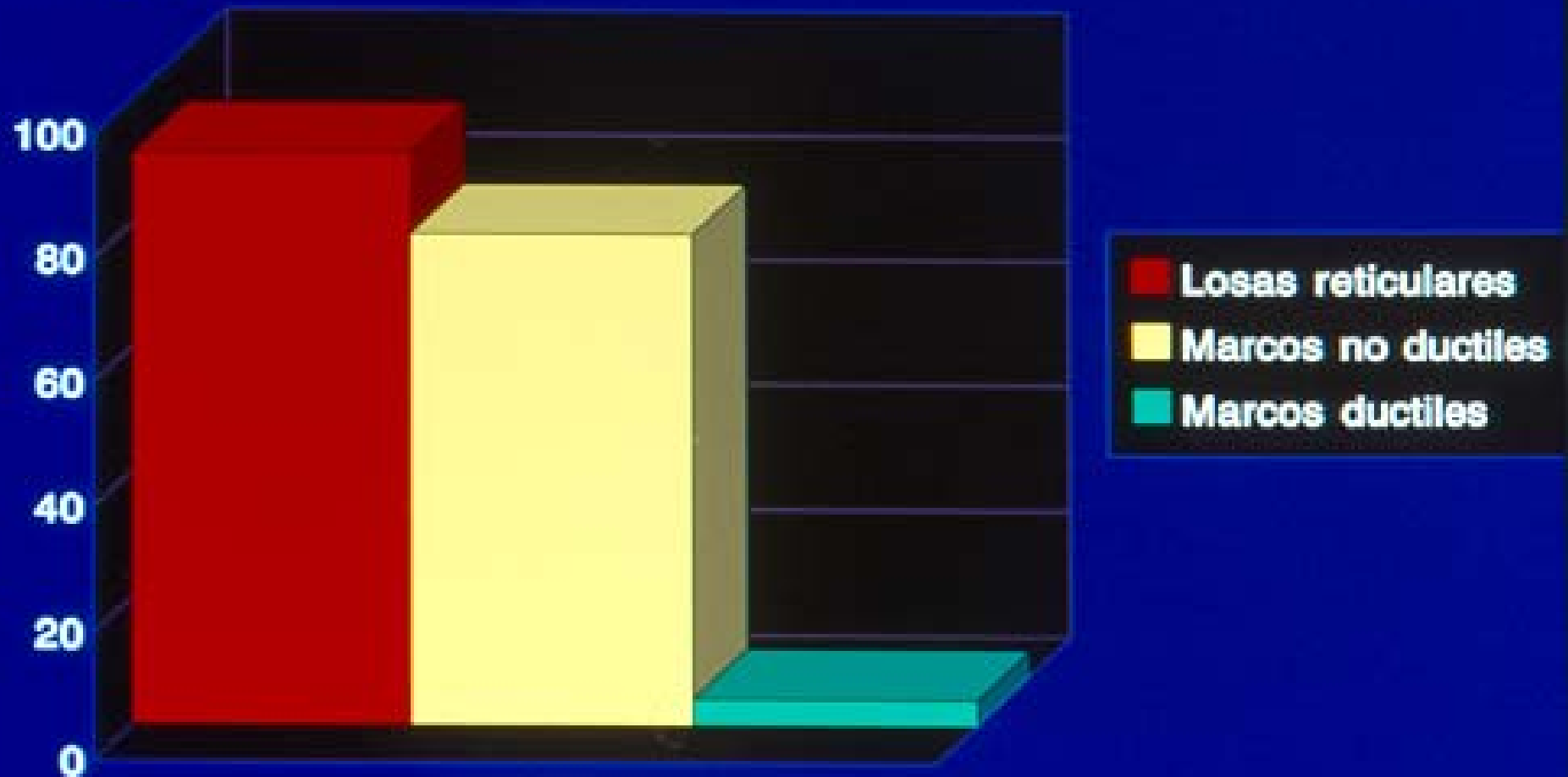
E está en función de $f'c$

Un valor mayor del módulo de elasticidad significa:

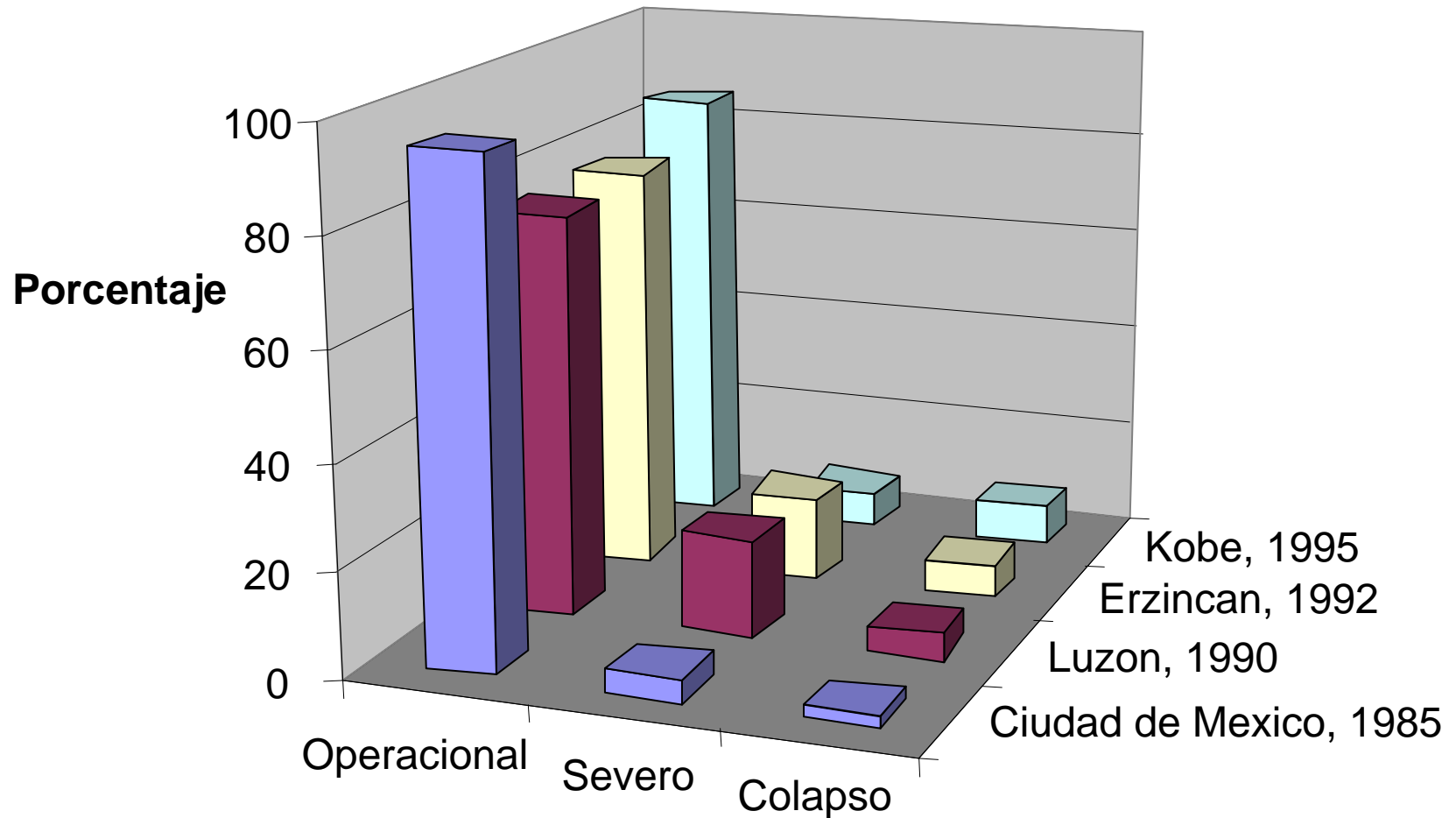
- Un menor desplazamiento lateral de la estructura.
- Un menor desplazamiento vertical del sistema de piso.
- Un menor efecto de vibración.
- Una menor amplificación de efectos dinámicos bajo la acción del viento.

Edificios con daños graves

Casos



Daños en edificios debido a sismos (1985 – 1995)



Rigidez efectiva

a) Módulo de elasticidad

$$E_c = 15,000 \sqrt{f'_c}$$

b) Momentos de inercia, I

Trabes 0.35 I_g

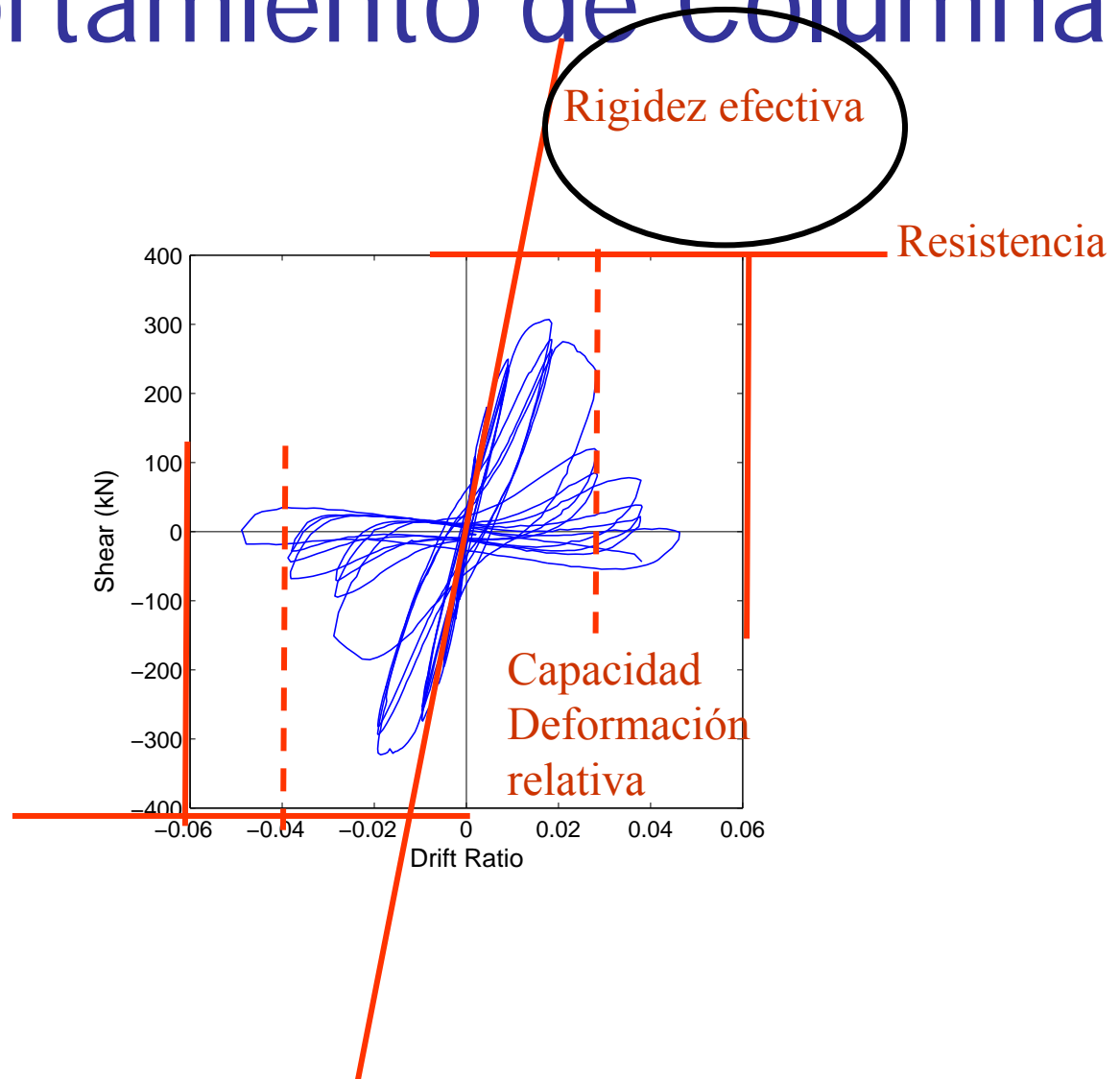
Columnas 0.70 I_g

Muros (No agrietados) 0.70 I_g

(Agrietados) 0.35 I_g

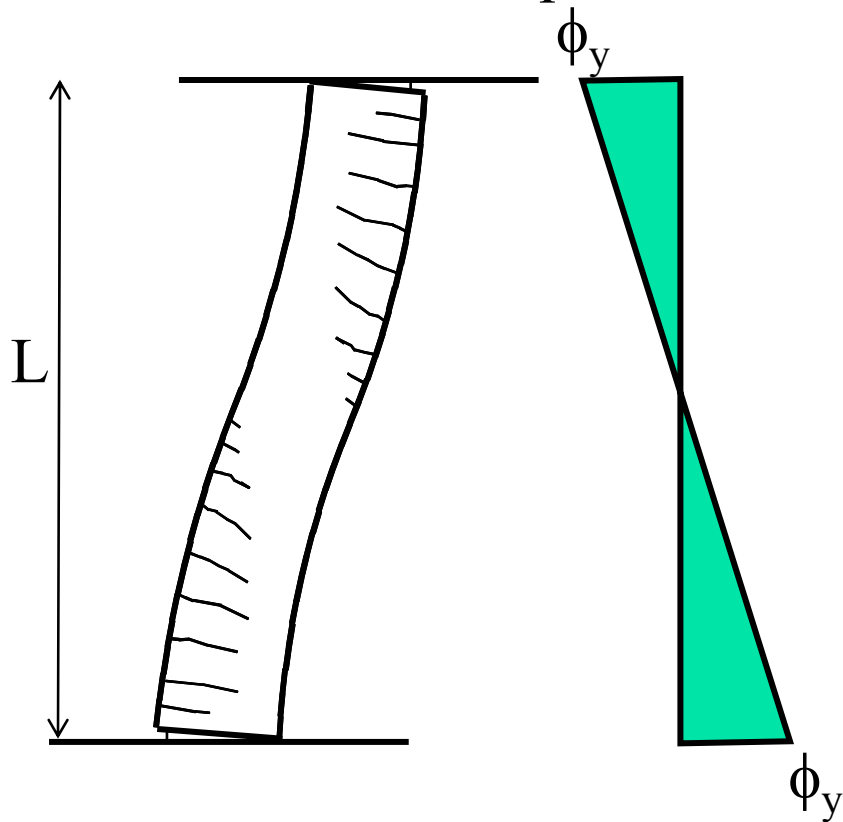
Losas planas 0.25 I_g

Comportamiento de Columna



Rigidez efectiva

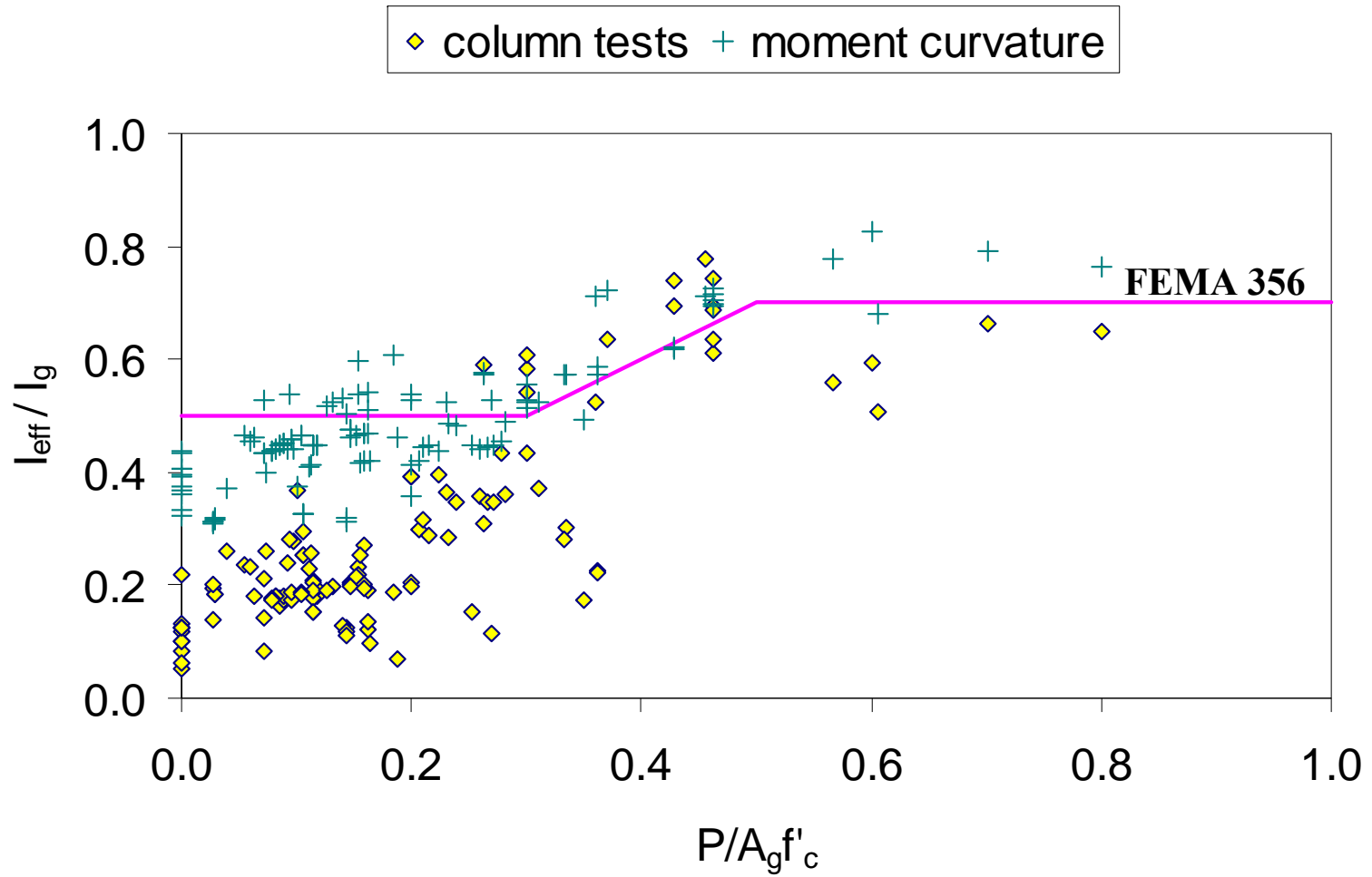
Deformaciones por flexión:



$$\Delta_{flex} = \frac{L^2}{6} \phi_y$$

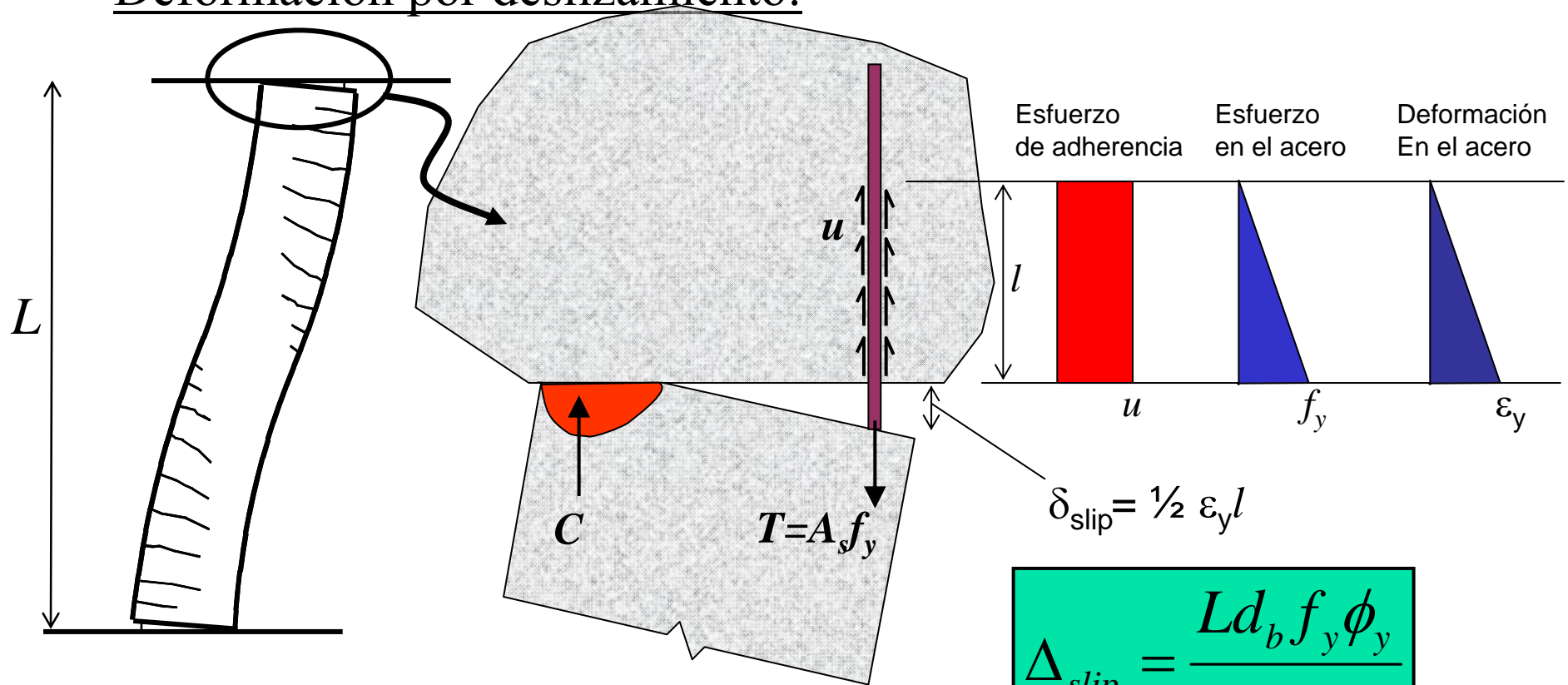
No esta considerada la rotación adicional en los extremos por deslizamiento de las varillas !

Rigidez efectiva



Rigidez efectiva

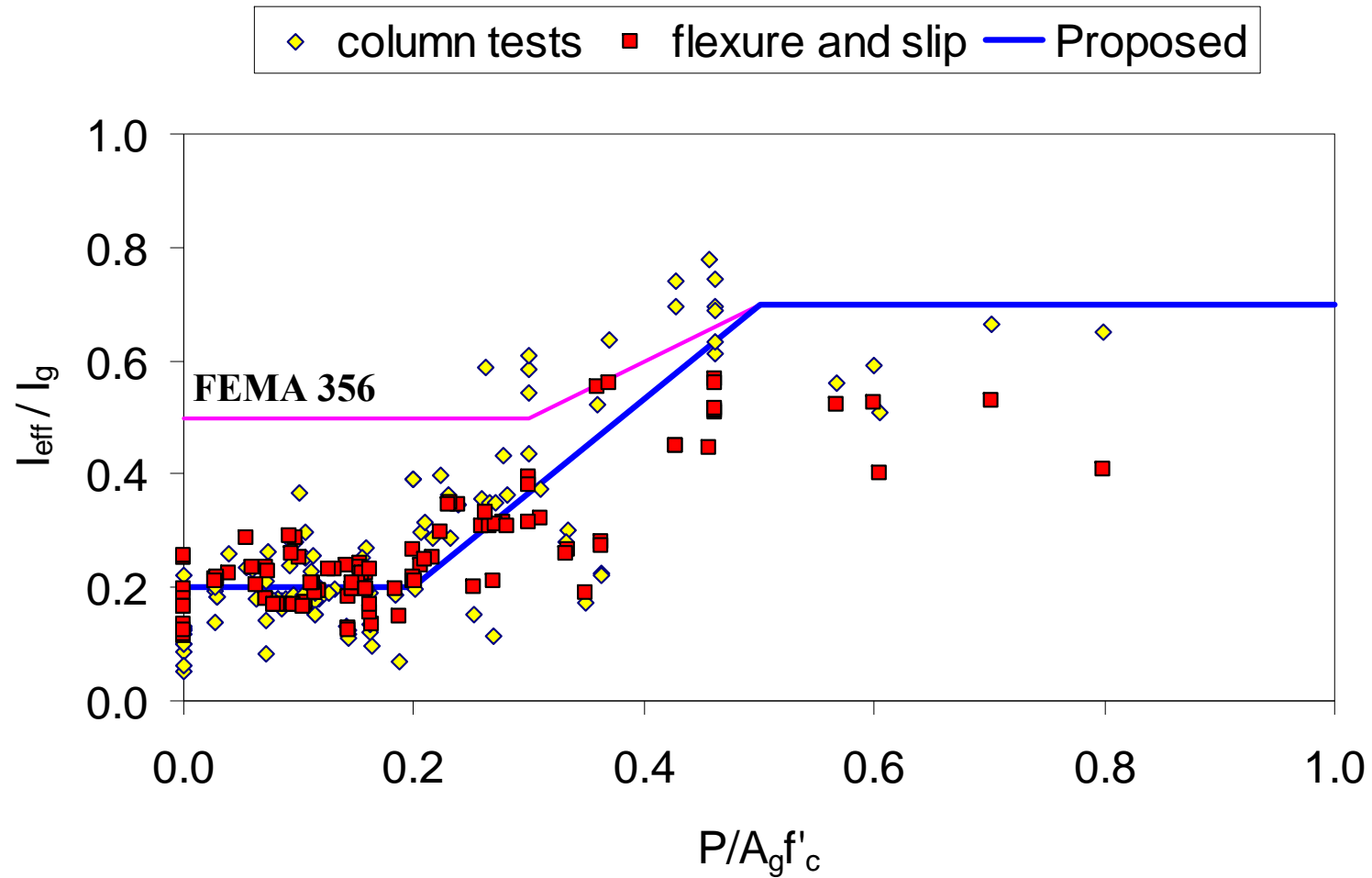
Deformación por deslizamiento:



$$\Delta_{slip} = \frac{L d_b f_y \phi_y}{8u}$$

$$u \approx 6\sqrt{f'_c} - 12\sqrt{f'_c}$$

Rigidez efectiva



















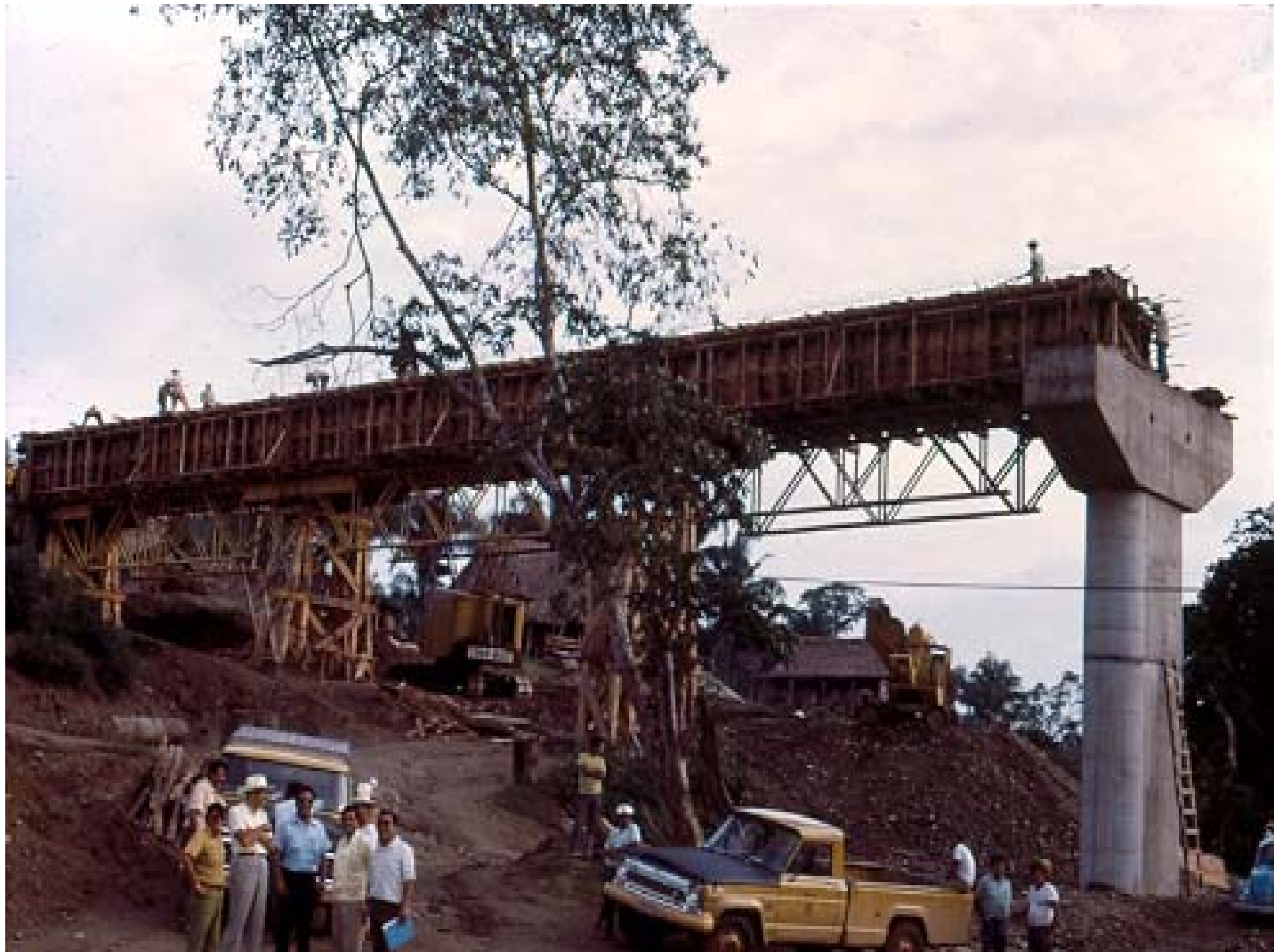






















11/01/2002 09:50













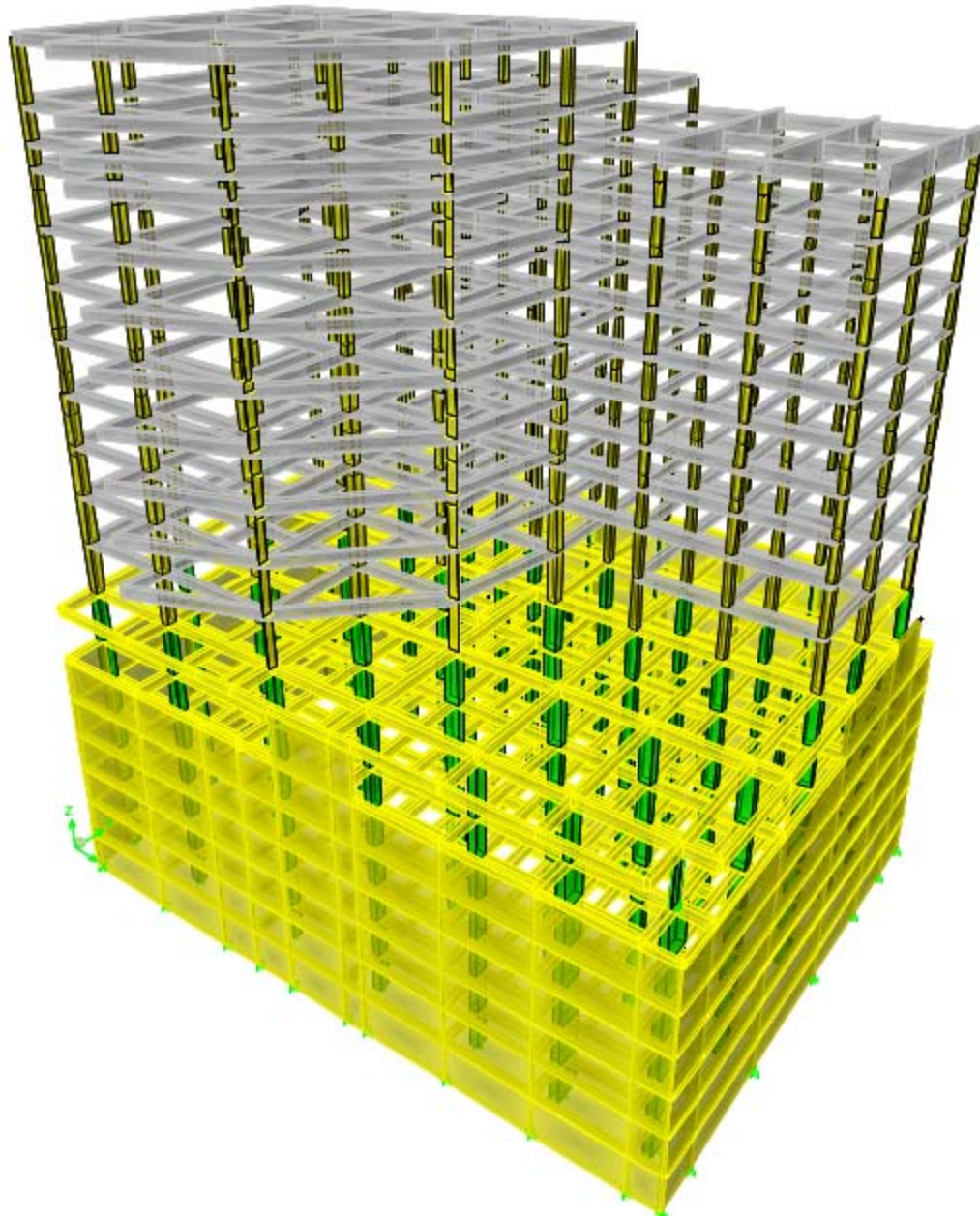












stark+ortiz
asesores en ingeniería estructural

■ 500 kg/cm²

■ 400 kg/cm²

■ 350 kg/cm²











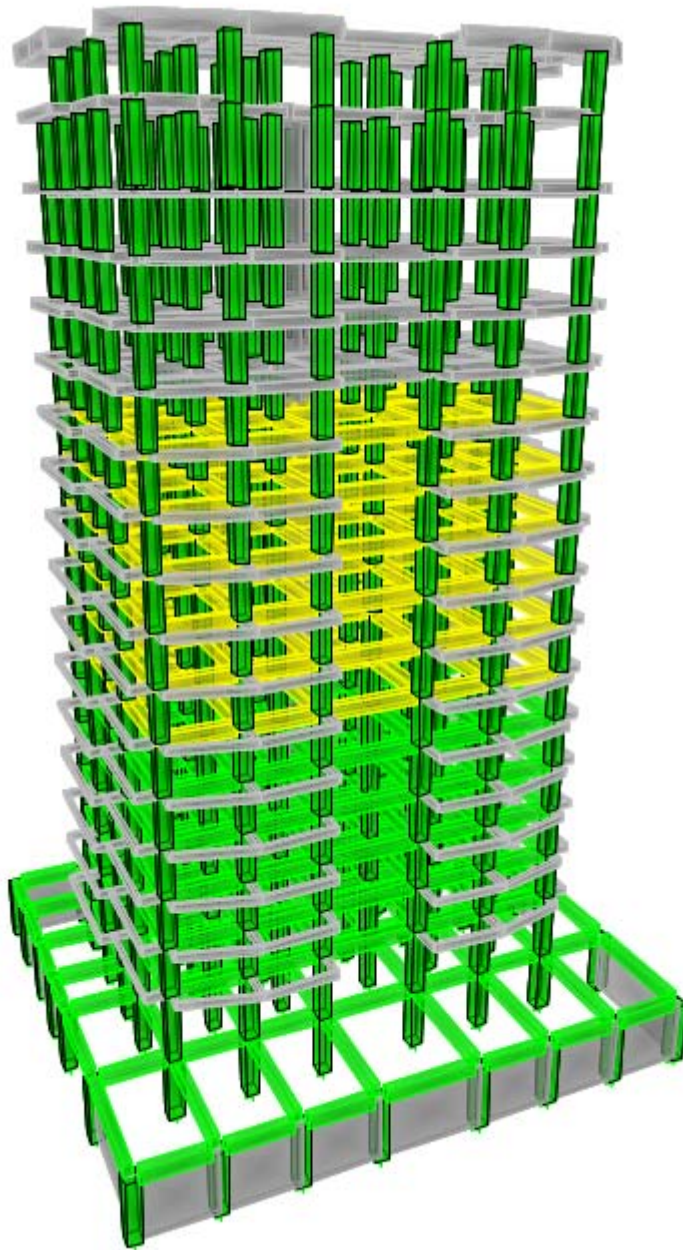






stark+ortiz

asesores en ingeniería estructural



■ 500 kg/cm²

■ 450 kg/cm²

■ 400 kg/cm²



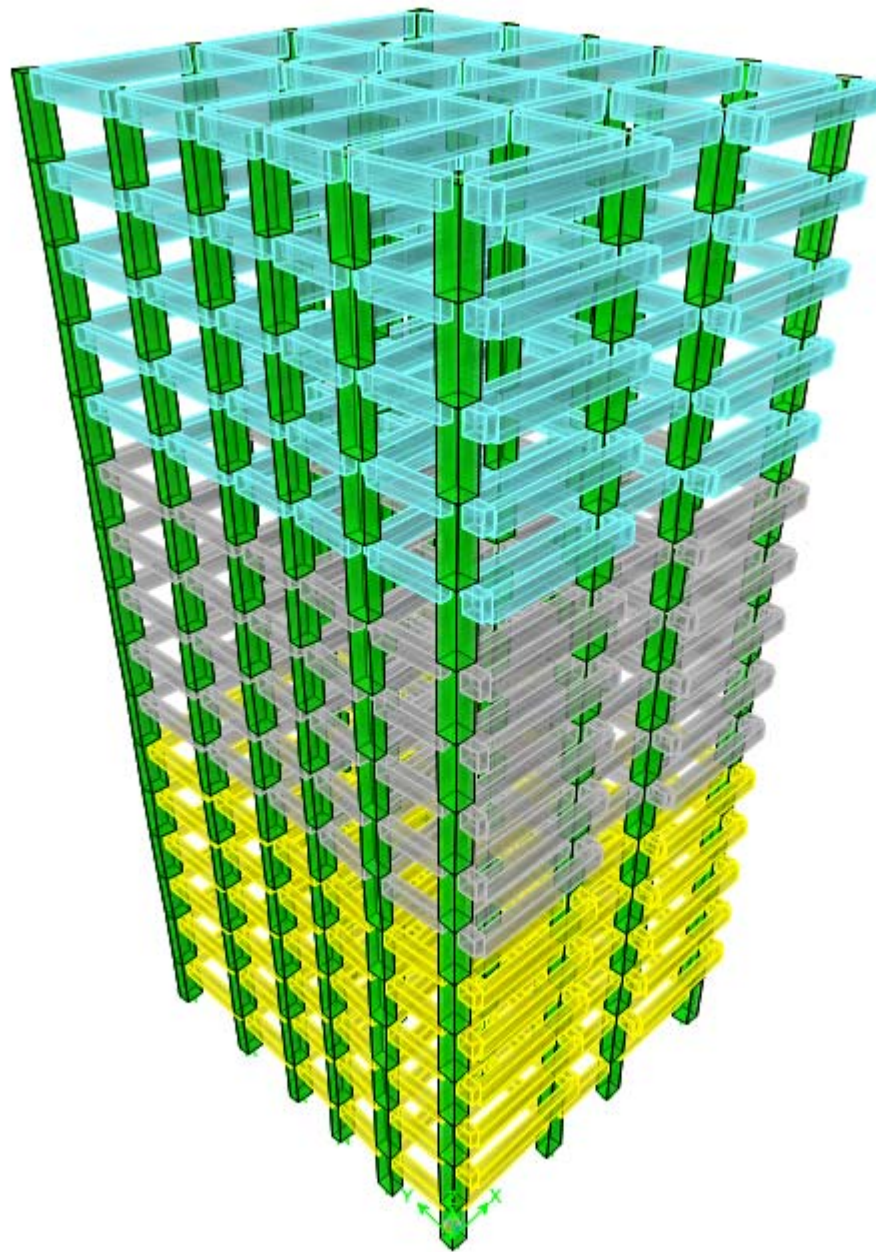






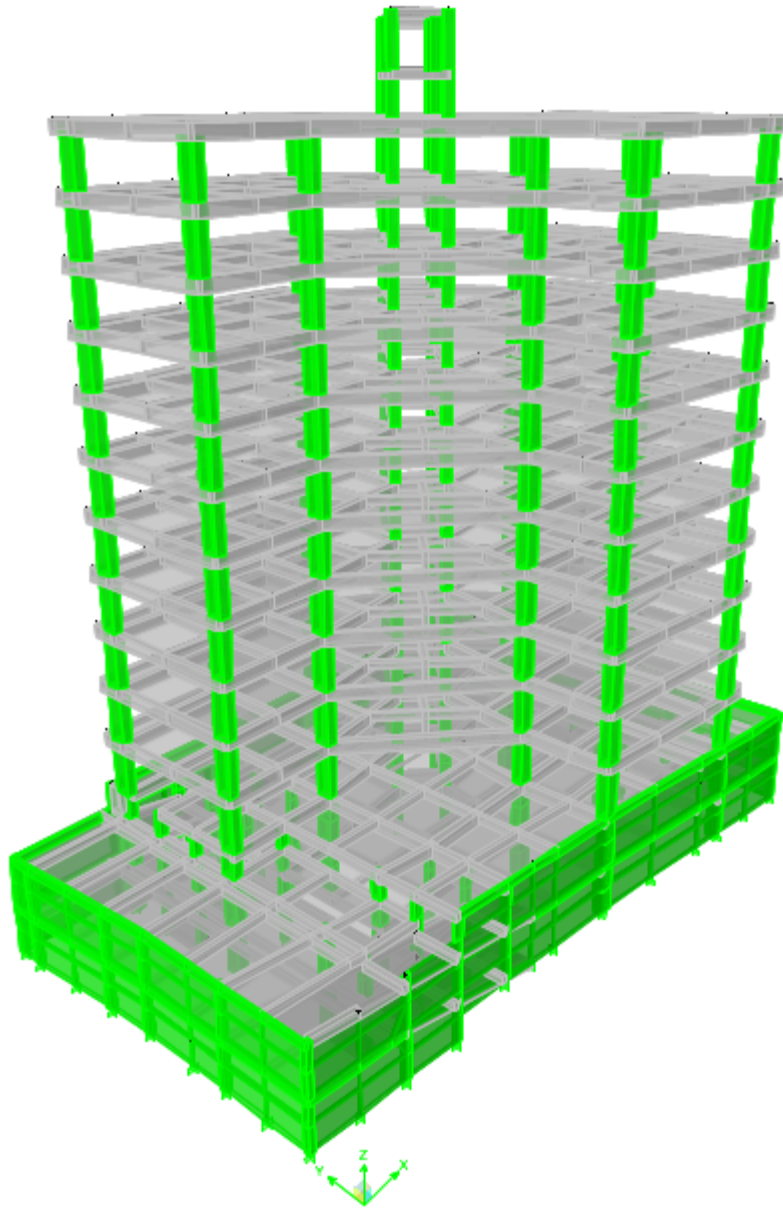






stark+ortiz
asesores en ingeniería estructural

- 500 kg/cm²
- 450 kg/cm²
- 400 kg/cm²
- 350 kg/cm²



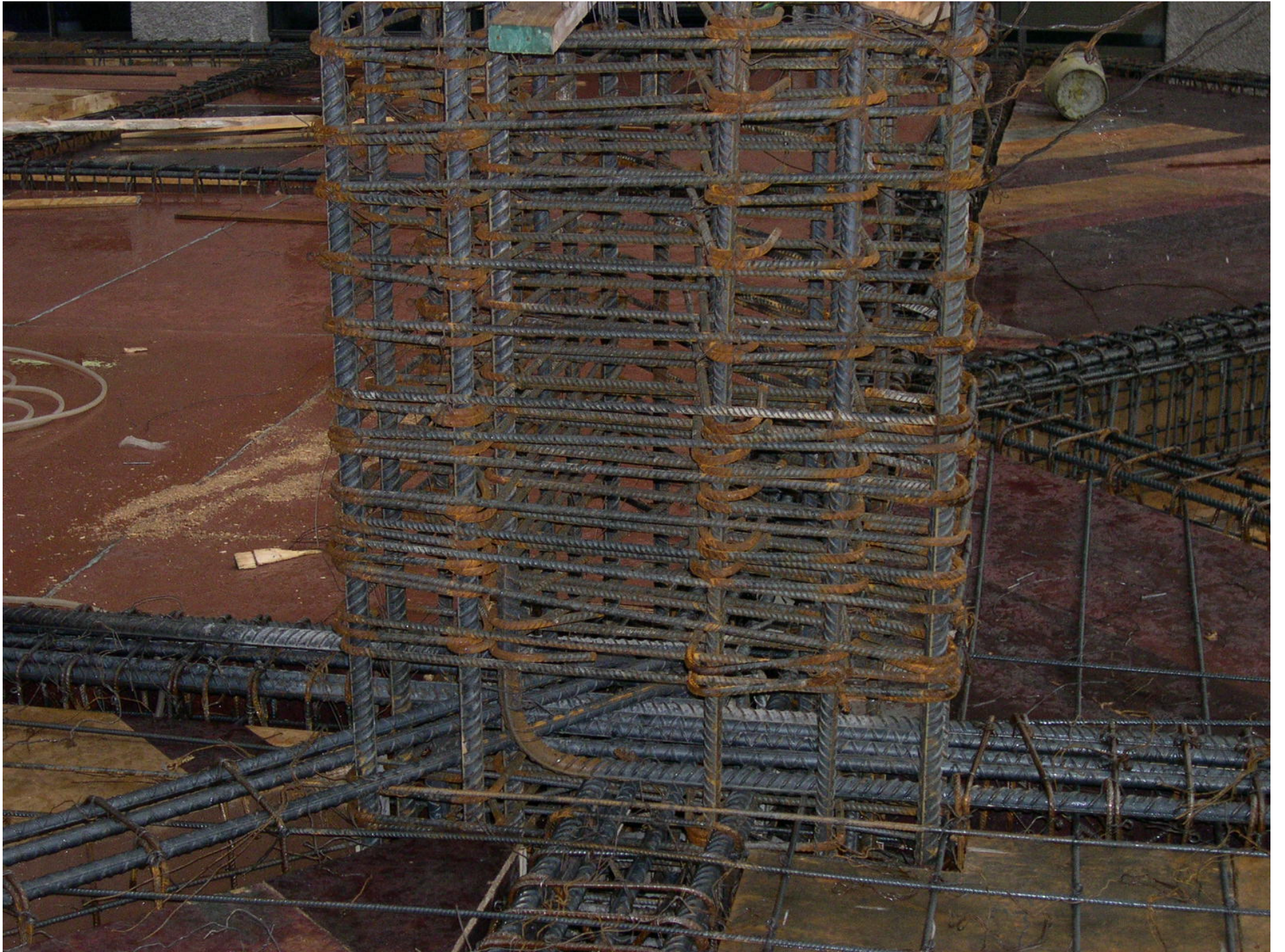
■ 500 kg/cm²

■ 350 kg/cm²



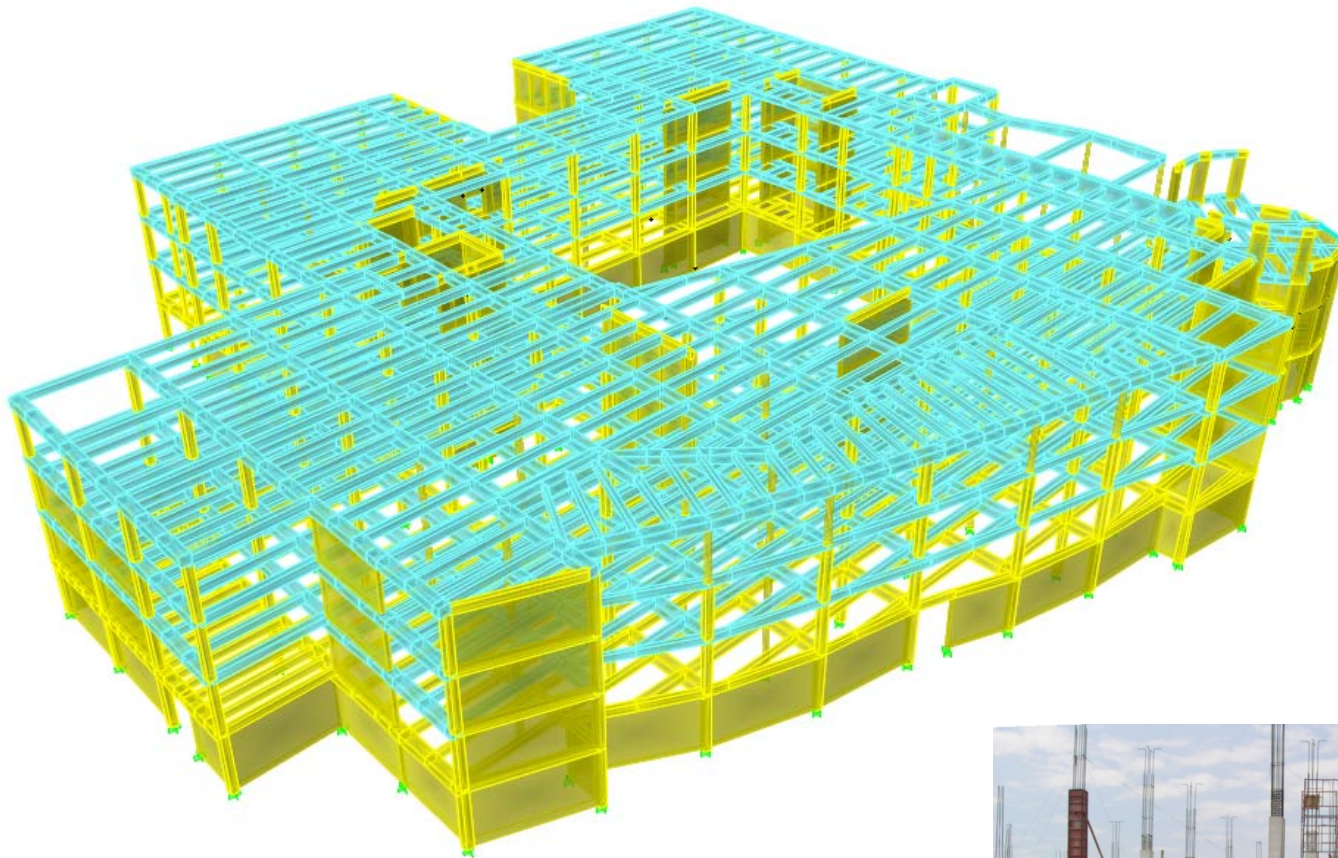
stark+ortiz
asesores en ingeniería estructural



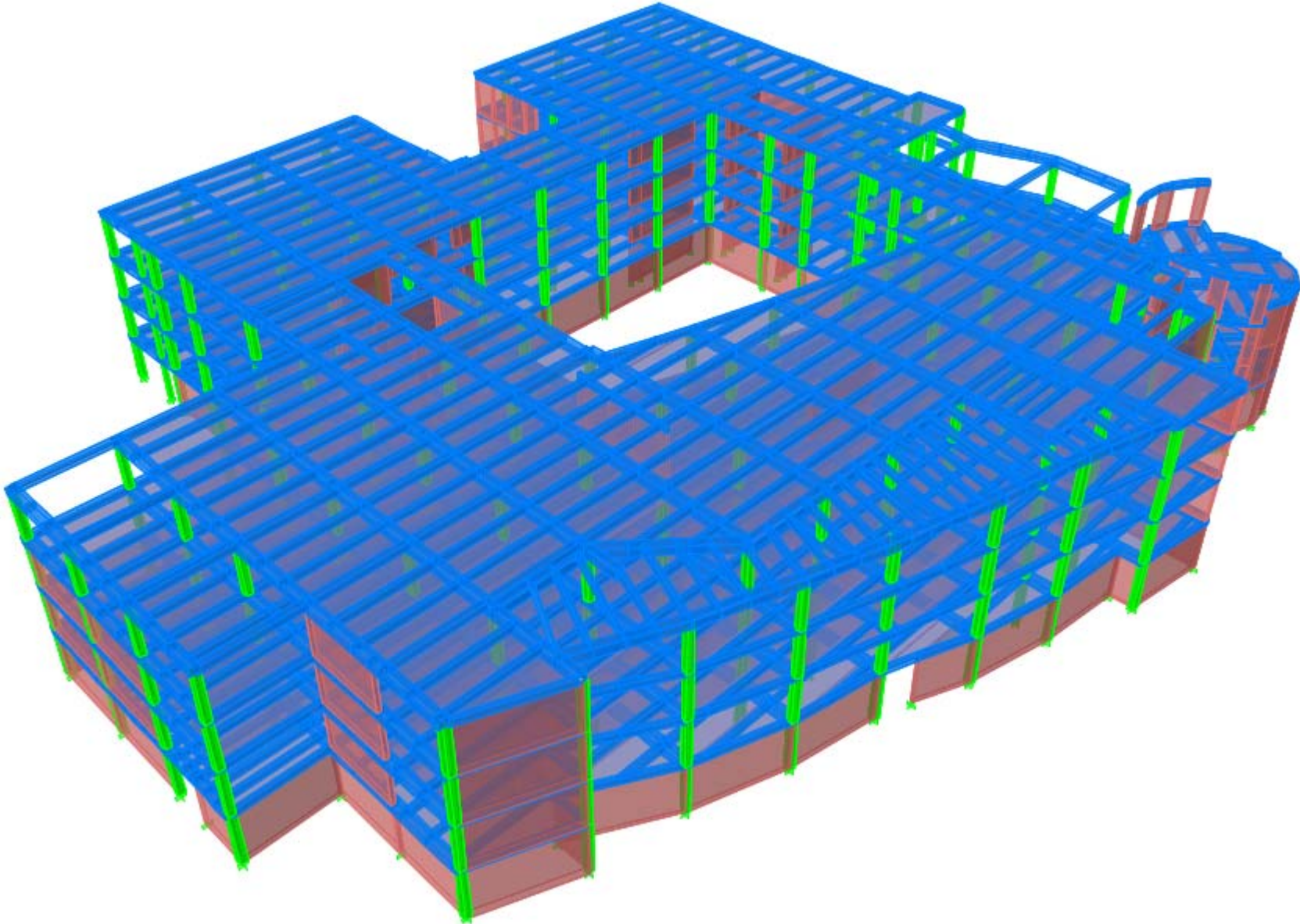


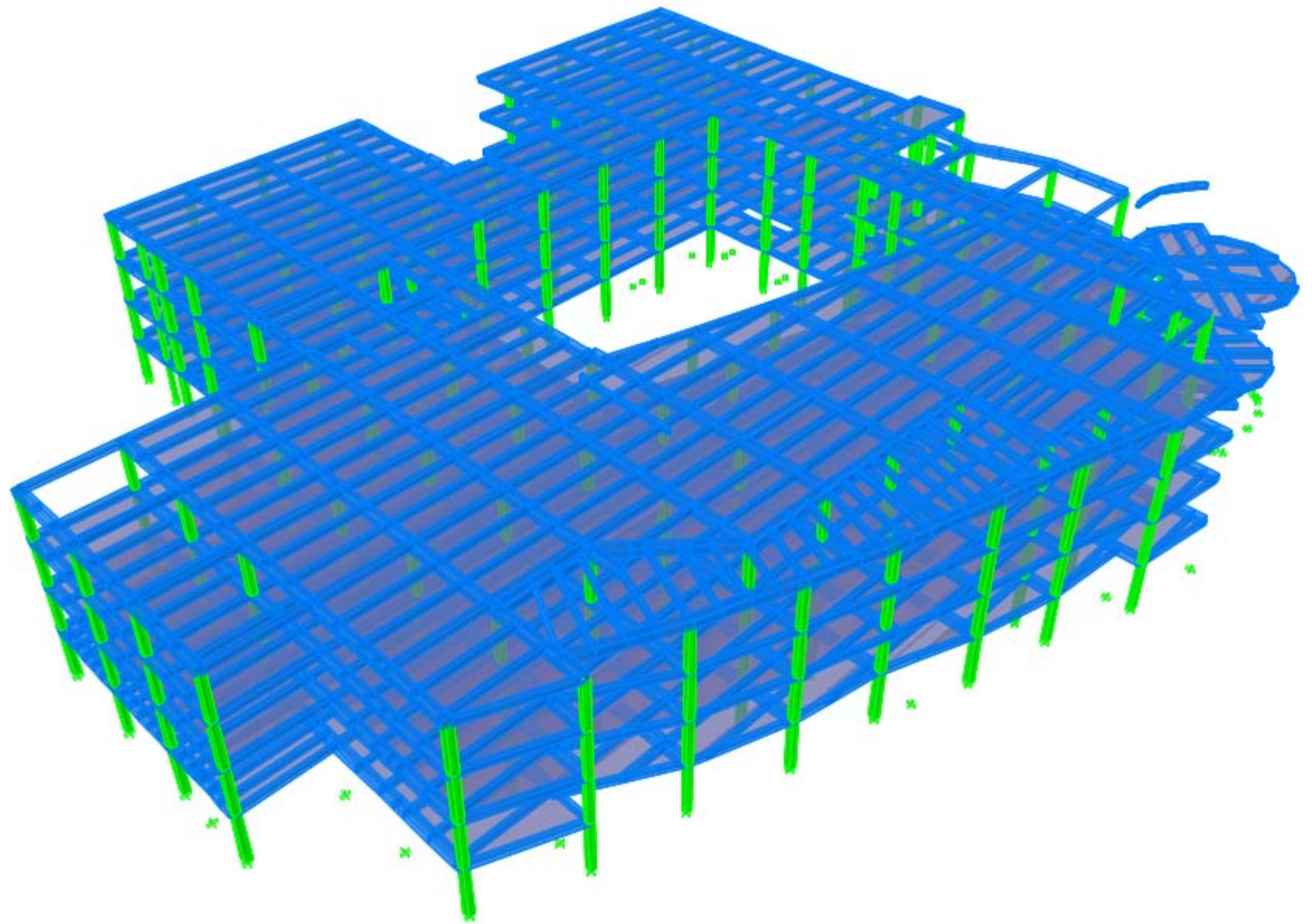
■ 400 kg/cm²

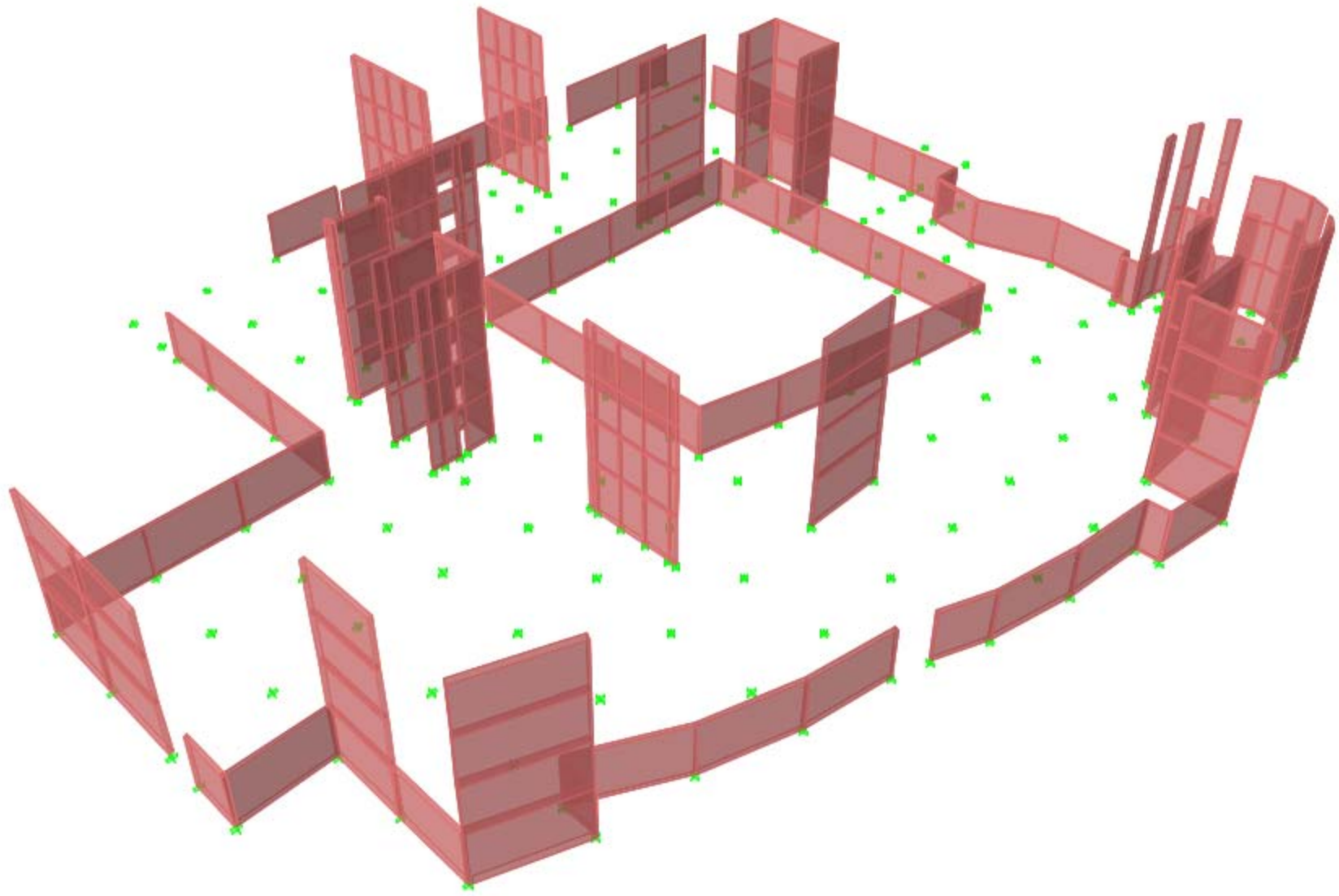
■ 300 kg/cm²



stark+ortiz
asesores en ingeniería estructural





















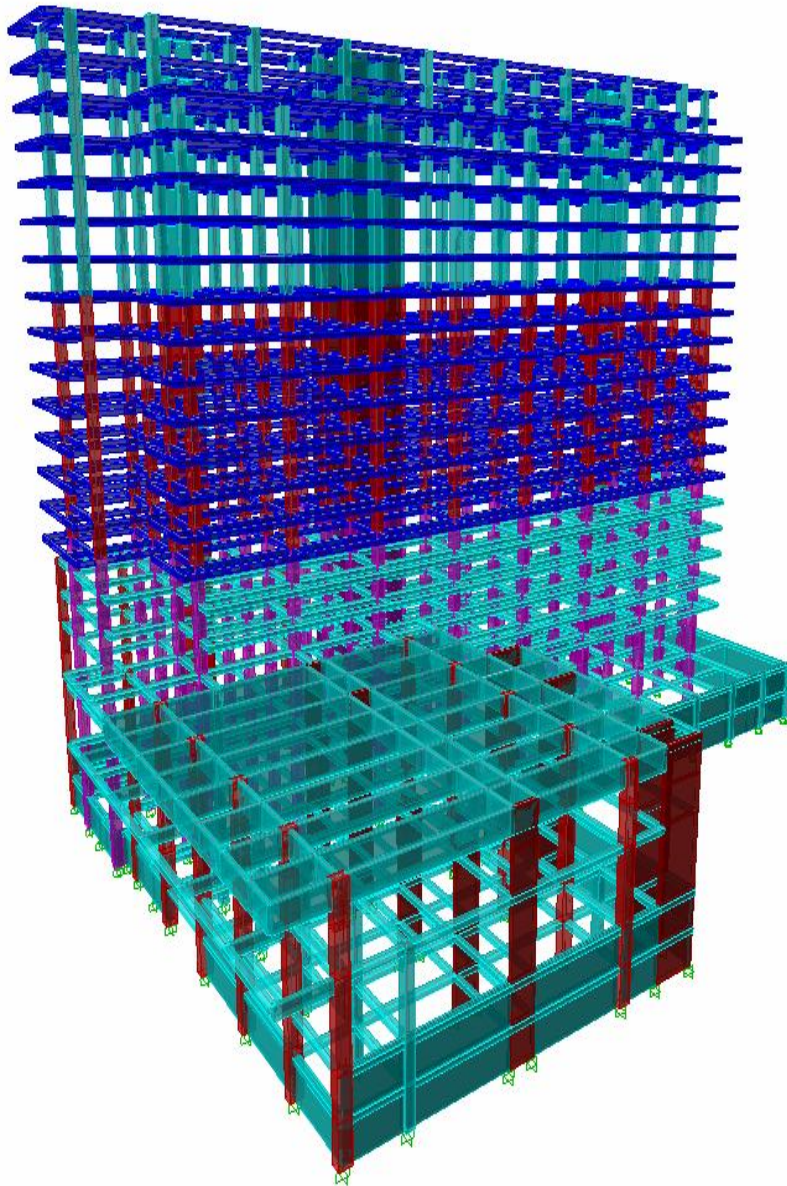






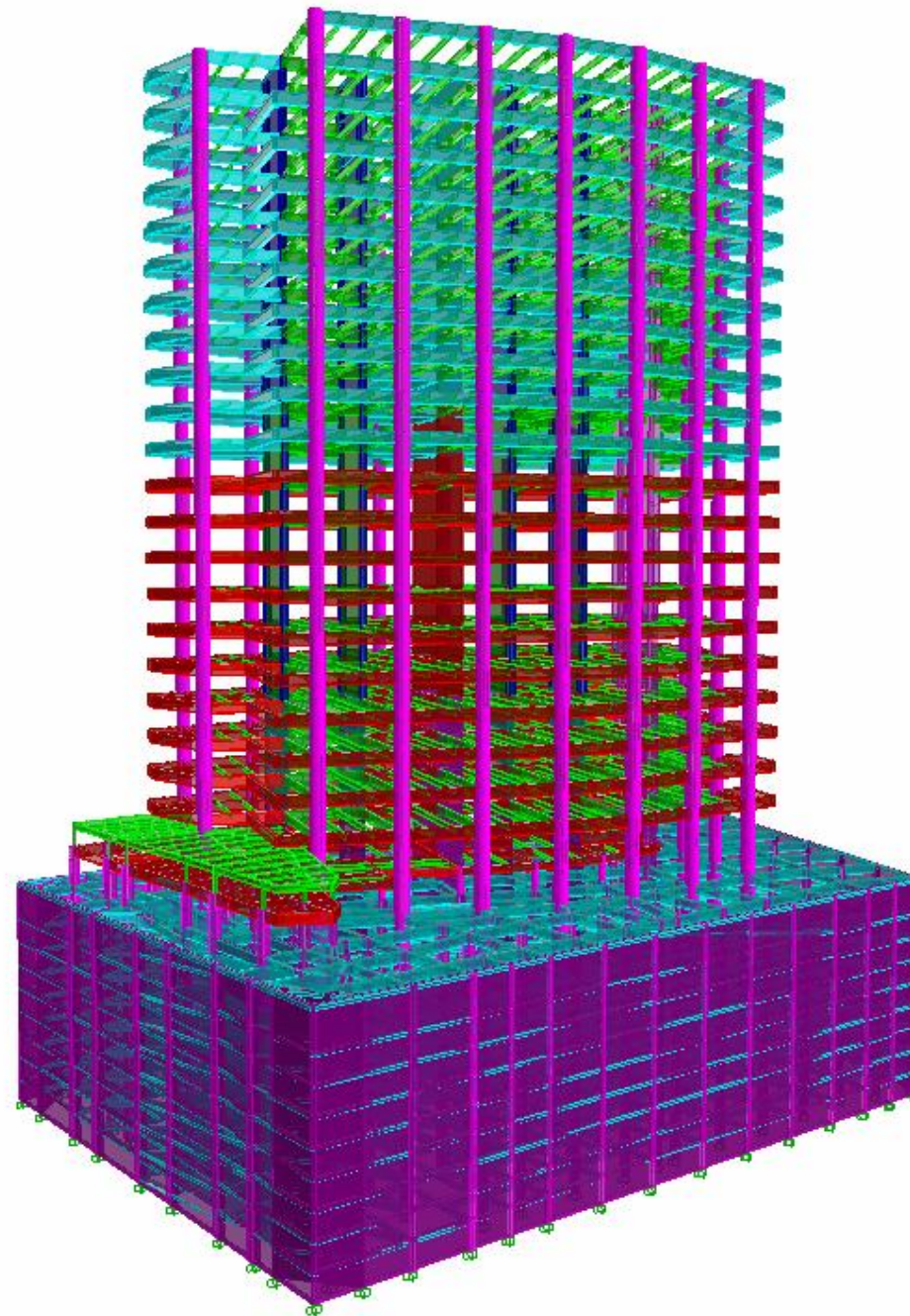


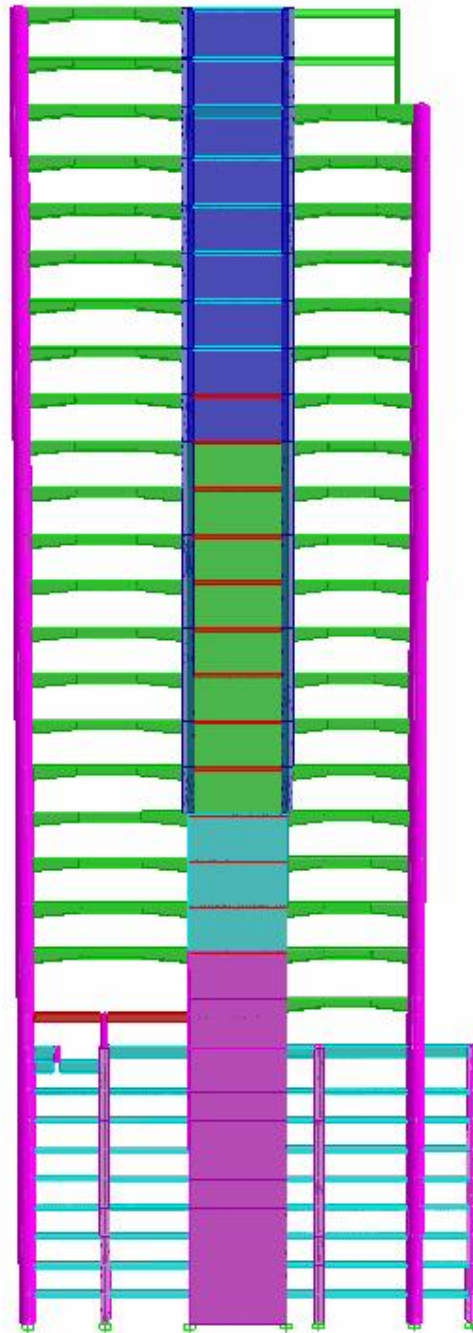




- 500 kg/cm²
- 450 kg/cm²
- 400 kg/cm²
- 300 kg/cm²

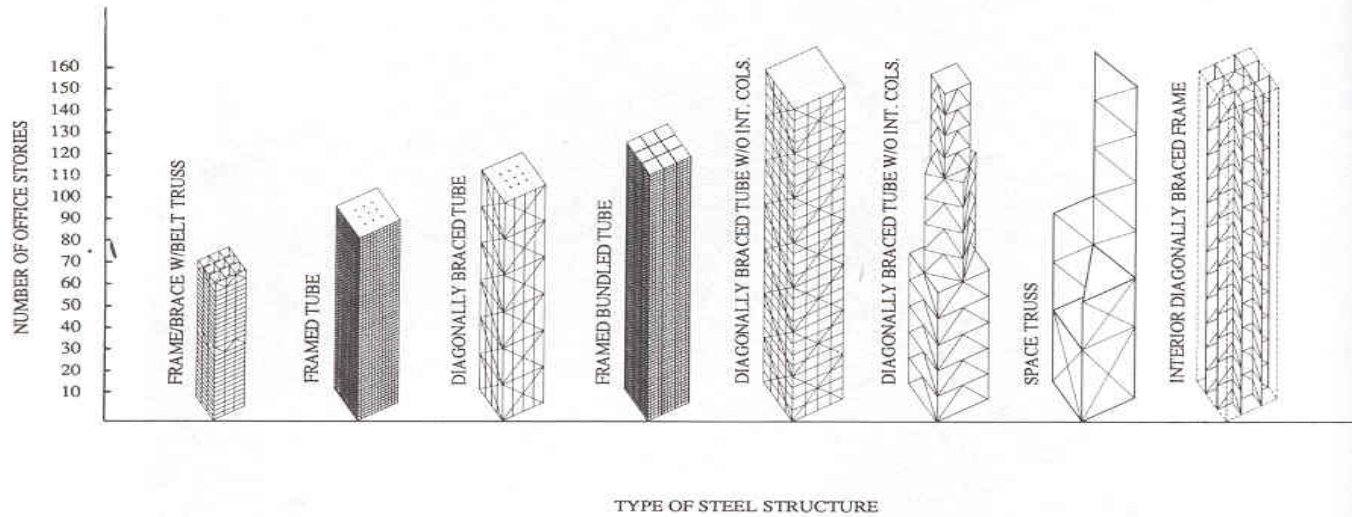
- 500 kg/cm²
- 450 kg/cm²
- 400 kg/cm²
- 350 kg/cm²





- 500 kg/cm²
- 450 kg/cm²
- 400 kg/cm²
- 350 kg/cm²
- 300 kg/cm²

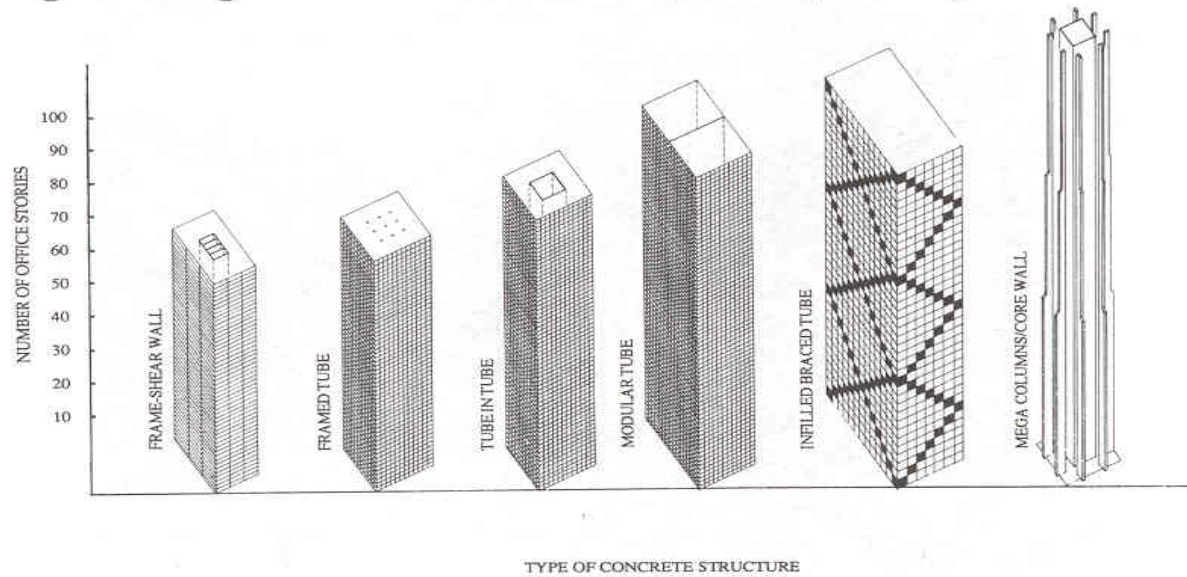
EDIFICIOS ALTOS



HEIGHTS OF STRUCTURAL STEEL SYSTEMS

(Figure Developed by M. Elnimeiri)

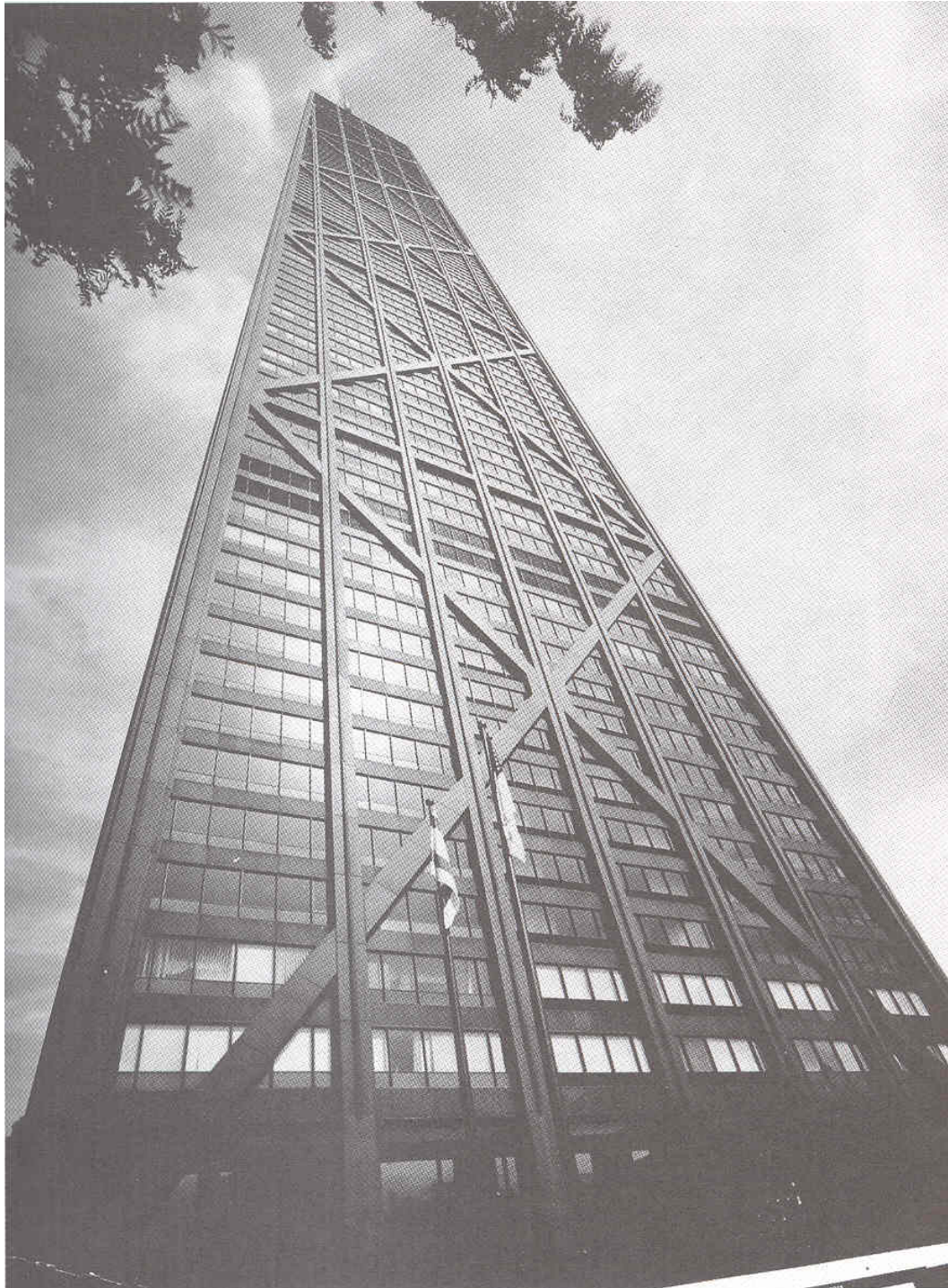
Fig. 6 Heights of structural steel systems (Courtesy: M. Elnimieri)



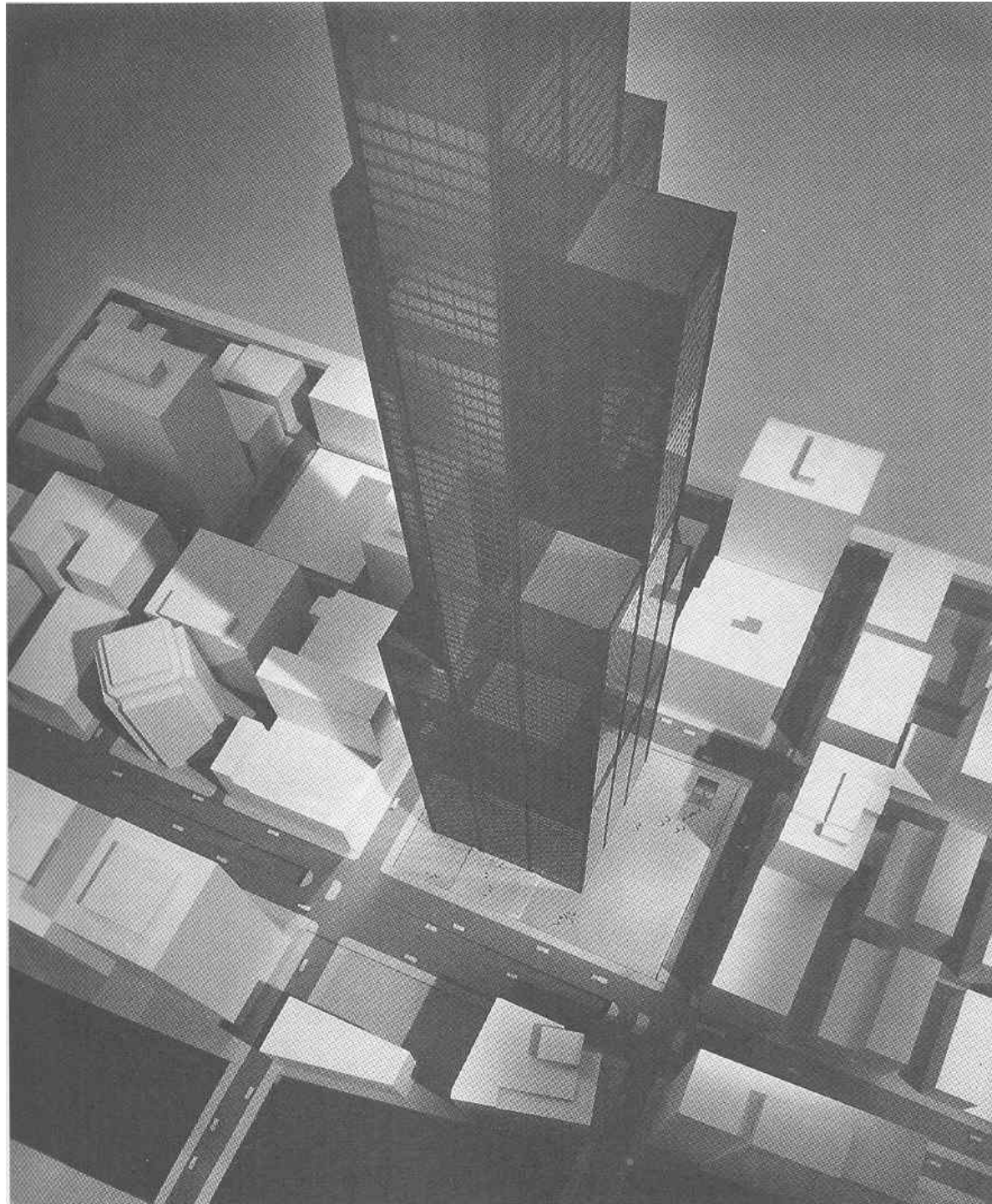
HEIGHTS OF CONCRETE STRUCTURAL SYSTEMS

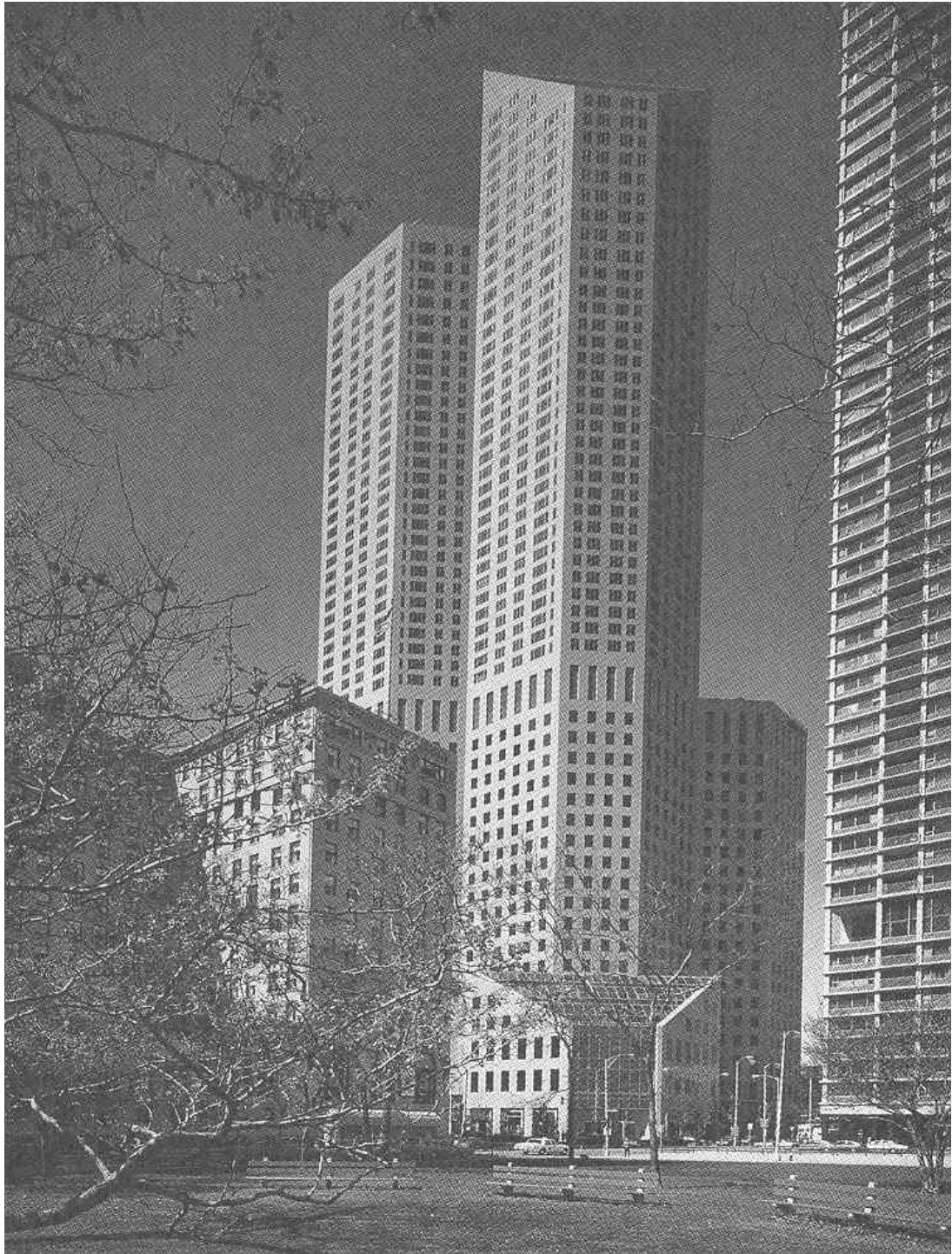
(Figure Developed by M. Elnimeiri)

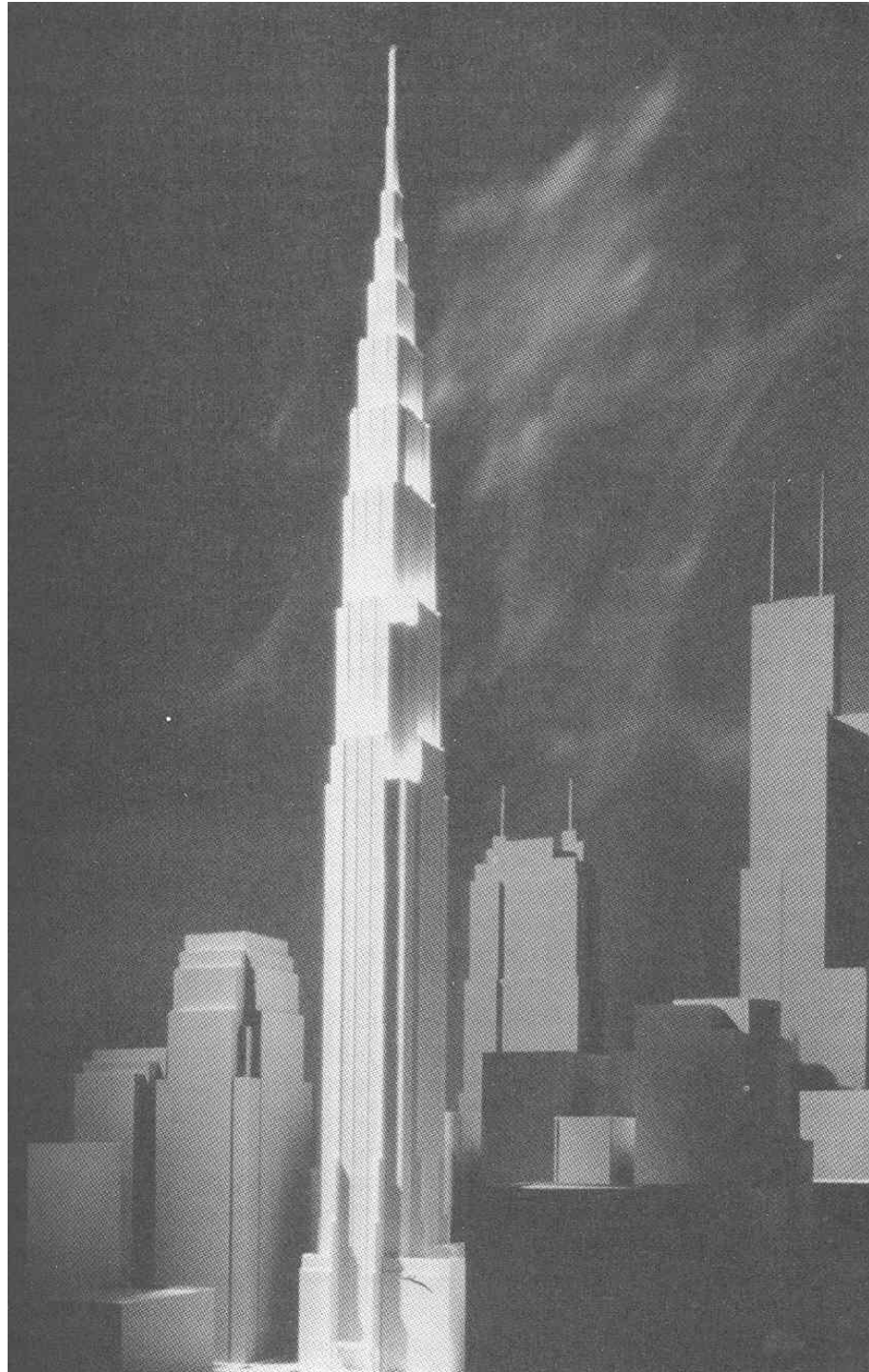
Fig. 7 Heights of structural concrete systems (Courtesy: M. Elnimieri)











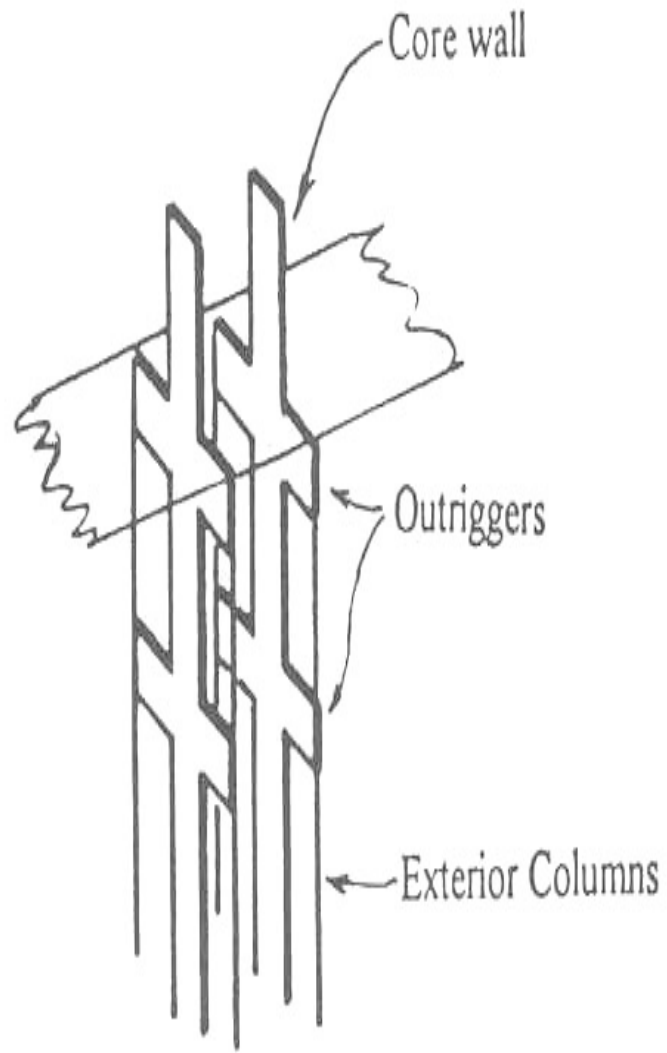


Fig. 1 Conventional outrigger system

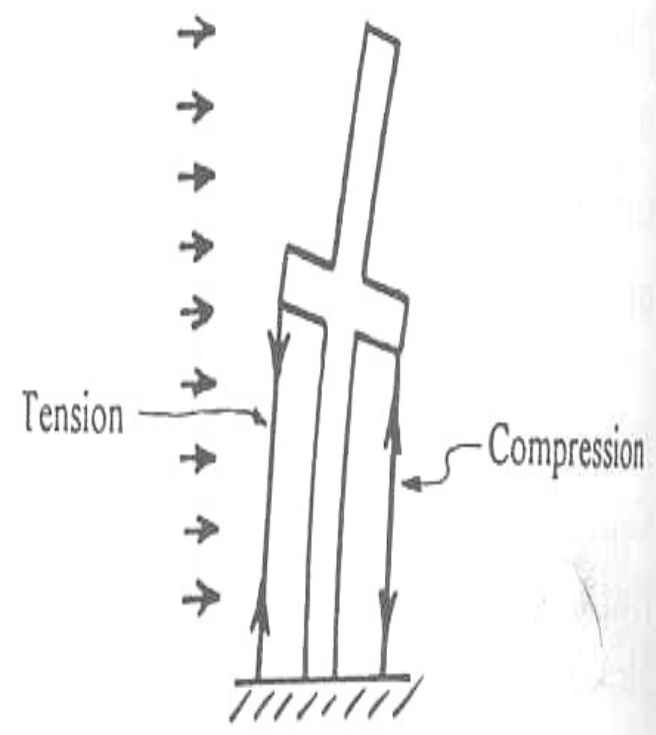


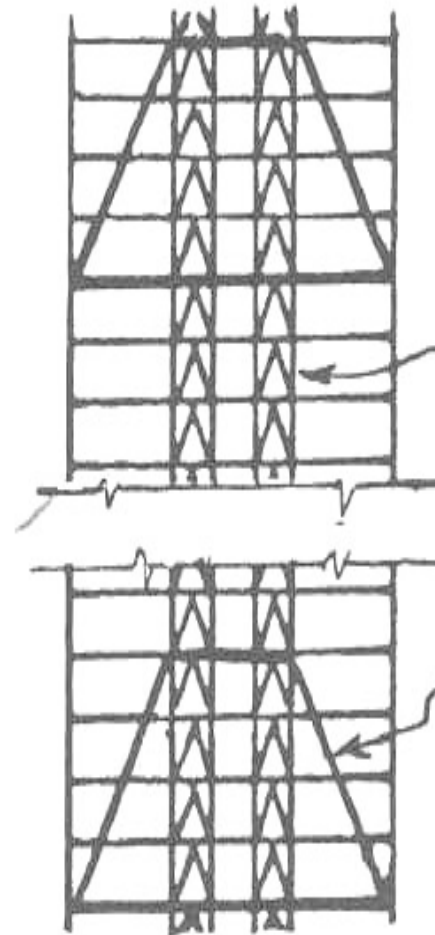
Fig. 2 Action under lateral loading

Reinforced concrete
wall panels

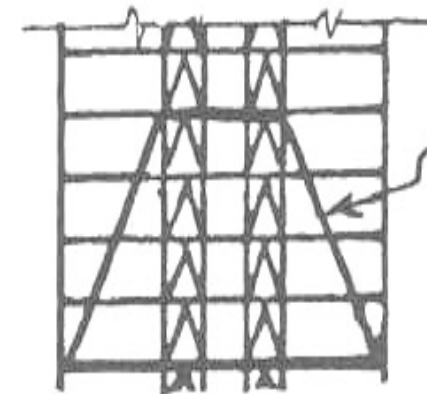


Shear walls

Fig. 3 Staggered panel
outrigger



Braced core walls



Superdiagonals

Fig. 4 Superdiagonal
outriggers

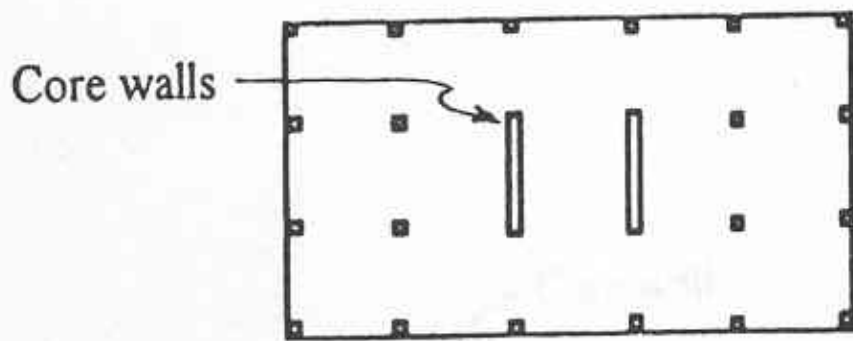


Fig. 5a Typical floor plan

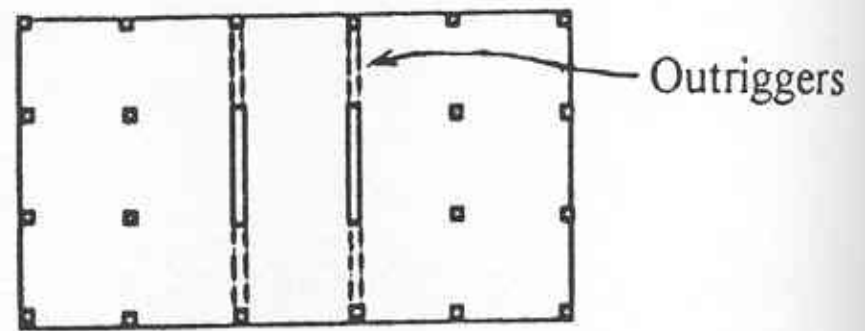


Fig. 5b Conventional outrigger plan

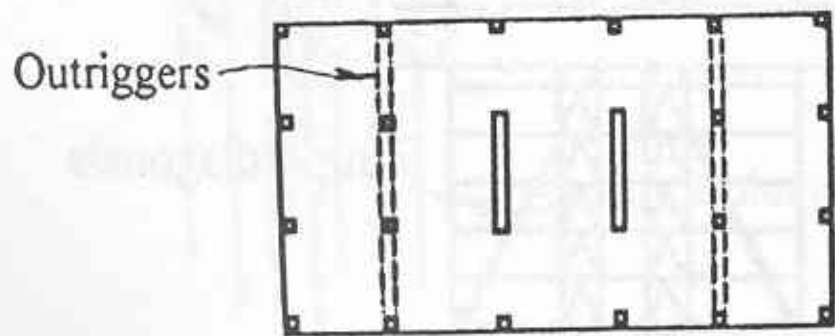


Fig. 5c Offset outrigger plan

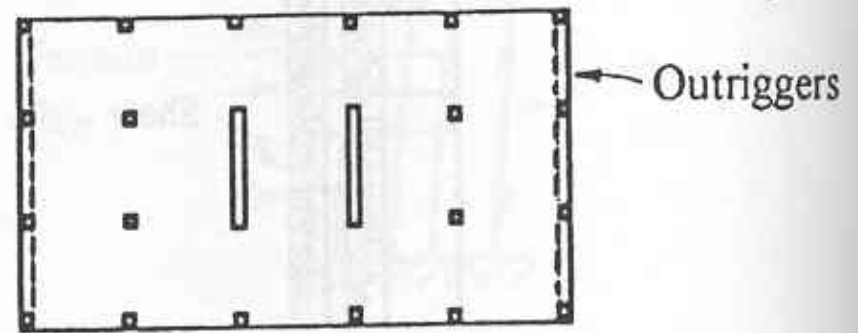


Fig. 5d Alternative offset outrigger system

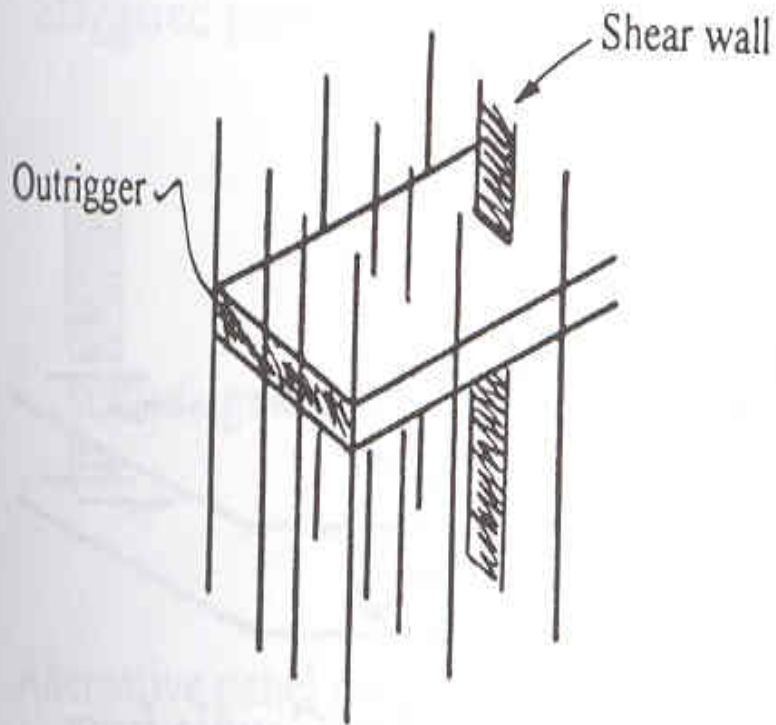


Fig. 6 Axonometric view of Case 5d

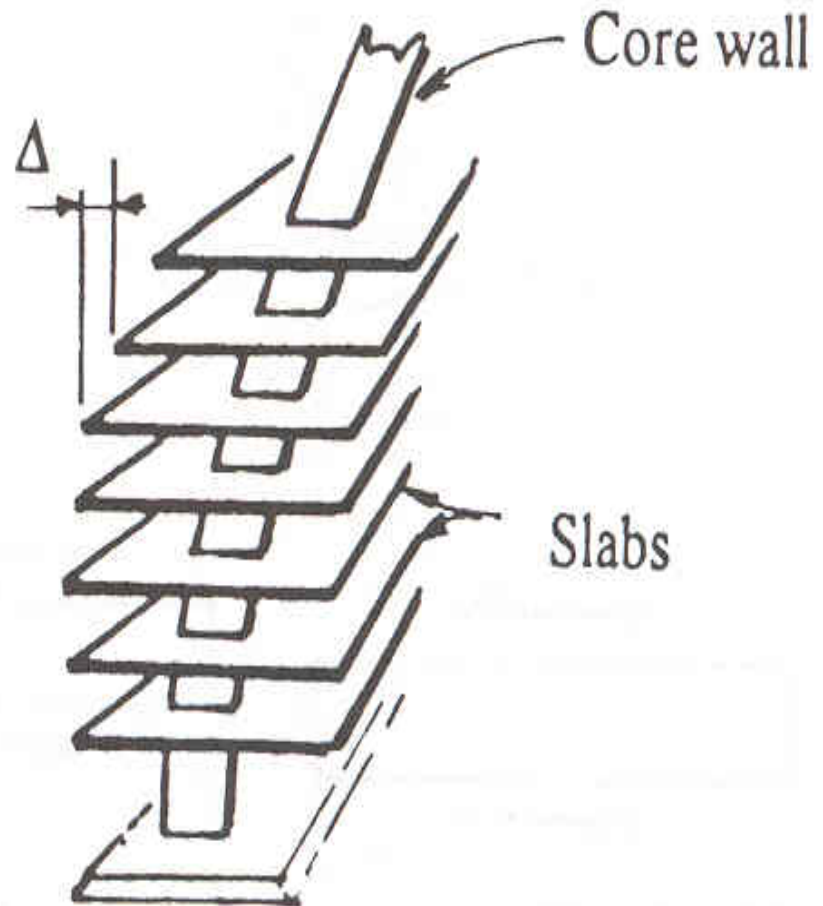


Fig. 7 Relative displacements of slabs



Fig. 8a Outrigger
subject to couple
from slabs



Fig. 8b Restraining
couple from columns

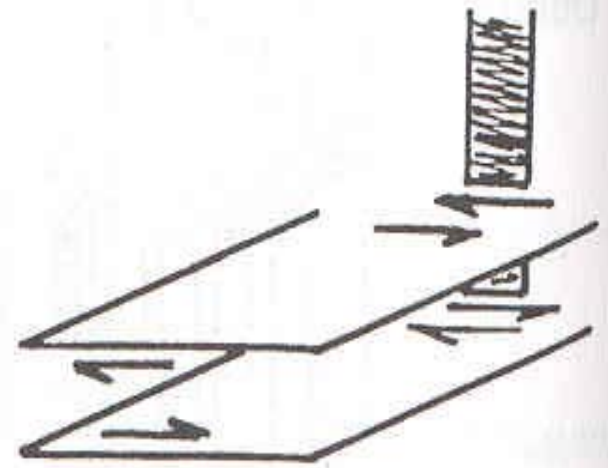


Fig. 8c Couple from
columns
transferred
through slab to
core

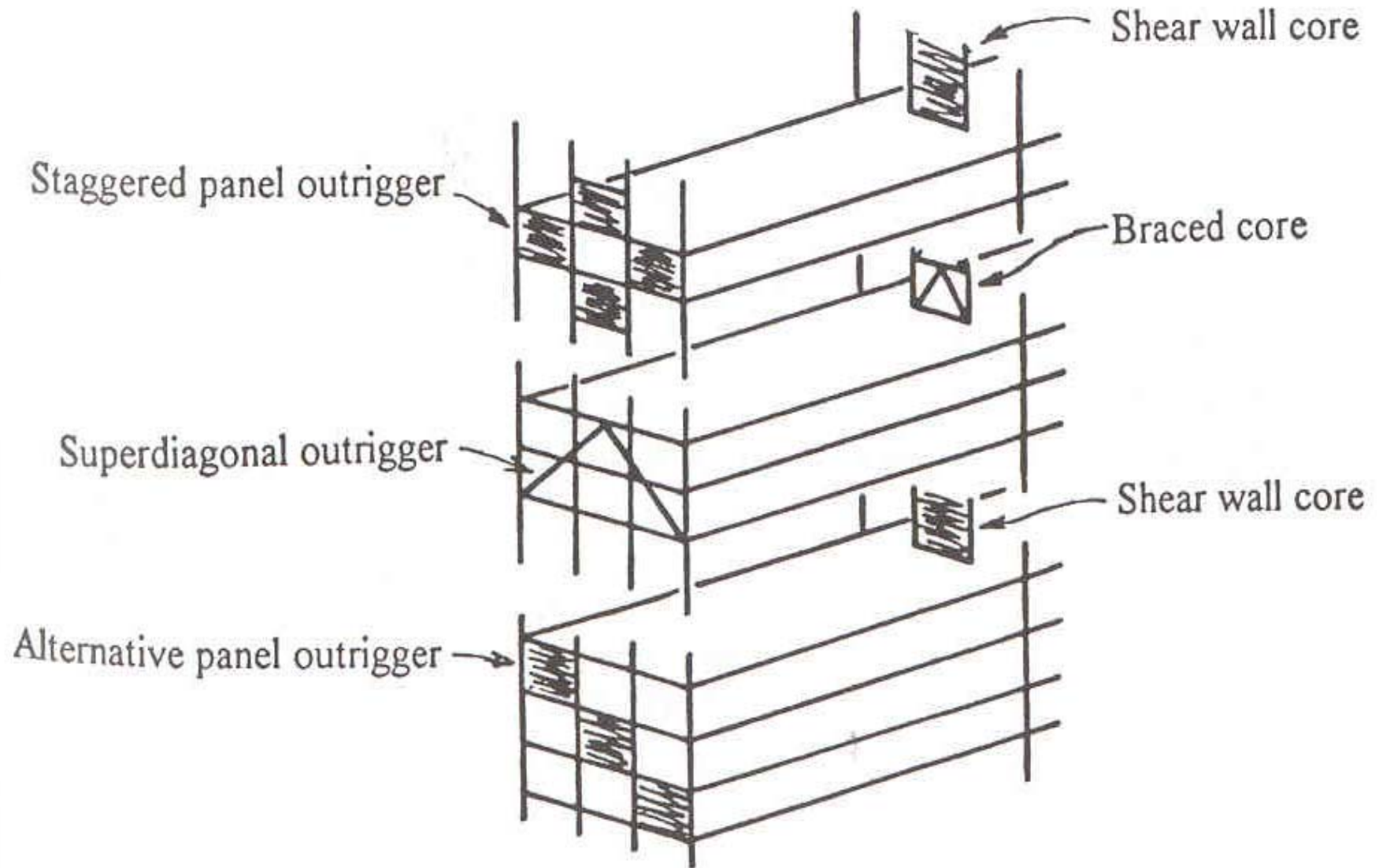


Fig. 9 Offset outriggers spread over several stories

Table 1 Roof Displacement and Story Drift Ratio (30-story Frame)

	S0	S1	S2	S3	SN	SN01
Δ_{roof}	385 (mm)	229	151	115	117	242
δ_{max}	0.54%	0.30%	0.19%	0.14%	0.14%	0.32%
COD	1.399	1.293	1.279	1.257	1.234	1.325

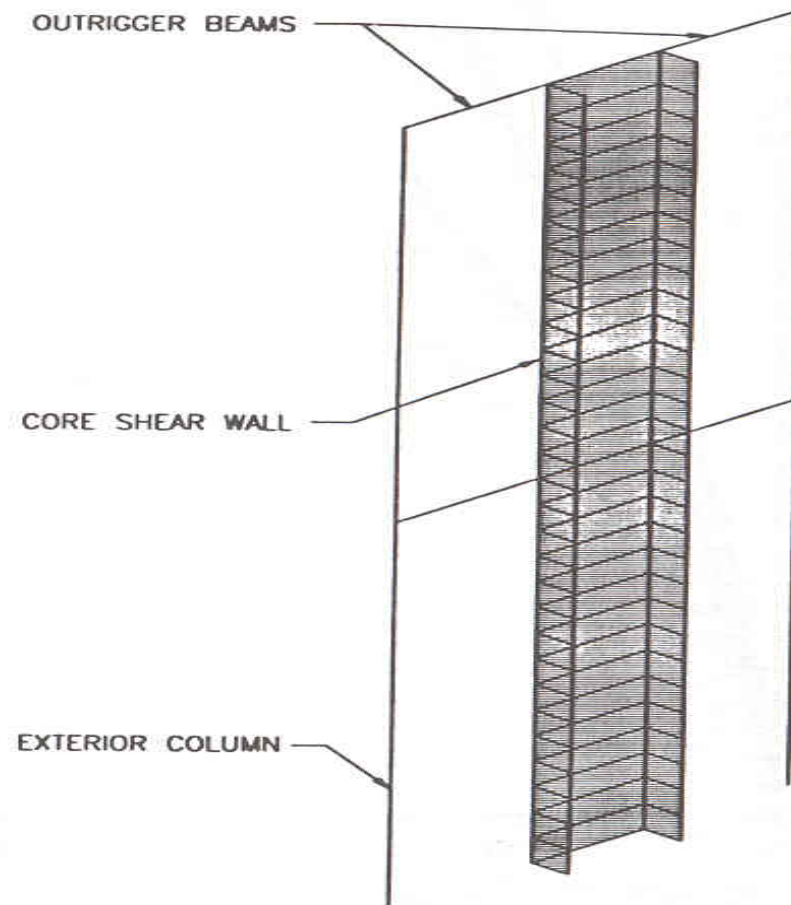


Fig. 1 Frame model

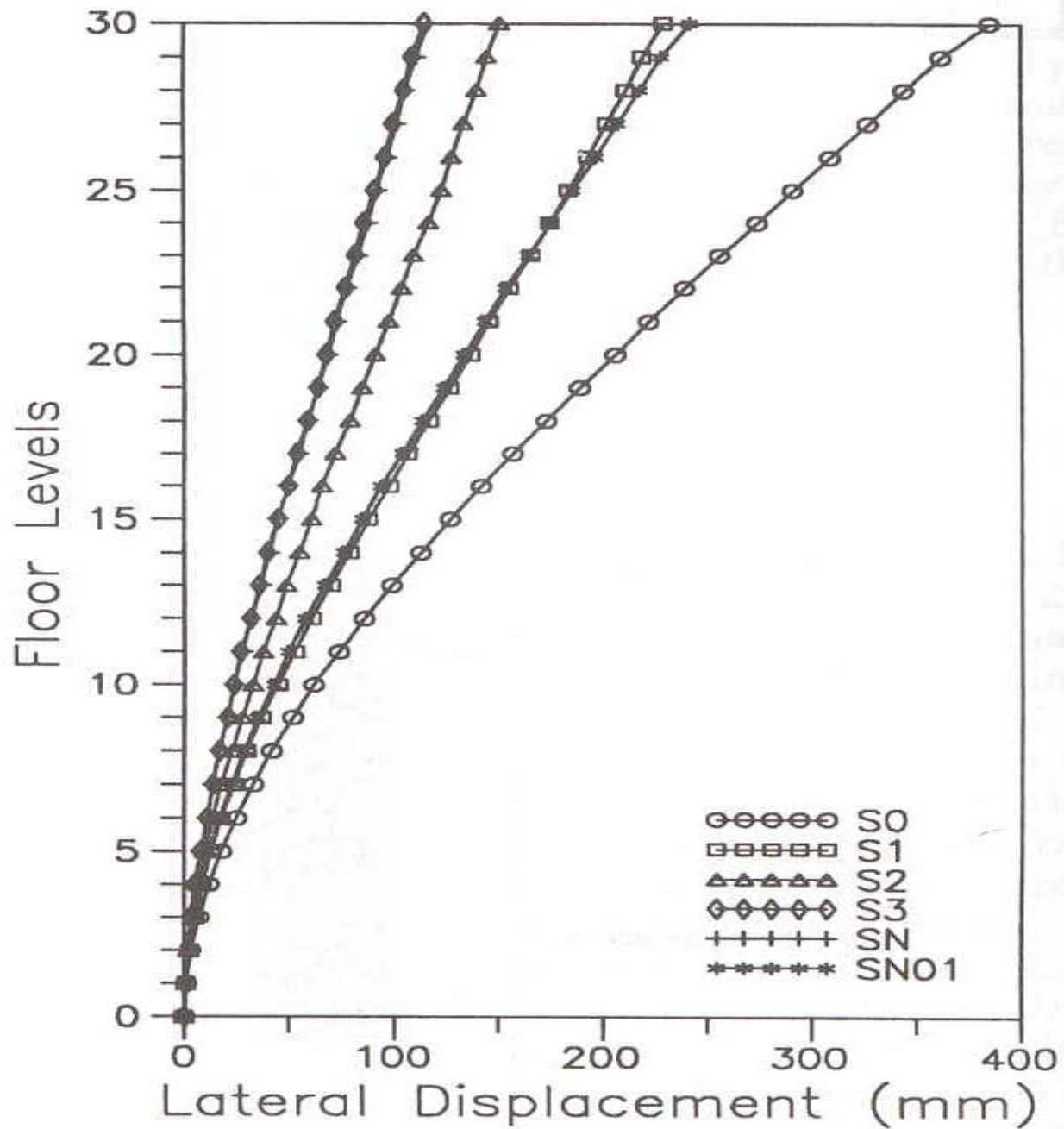


Fig. 2 30-story frame displacement

Table 2 Roof Displacement and Story Drift Ration (60-story Frame)

	S0	S1	S2	S3	SN	SN01
Δ_{roof}	1632 (mm)	735	423	365	292	739
δ_{max}	1.15%	0.49%	0.28%	0.24%	0.19%	0.48%
COD	1.411	1.328	1.310	1.293	1.288	1.302

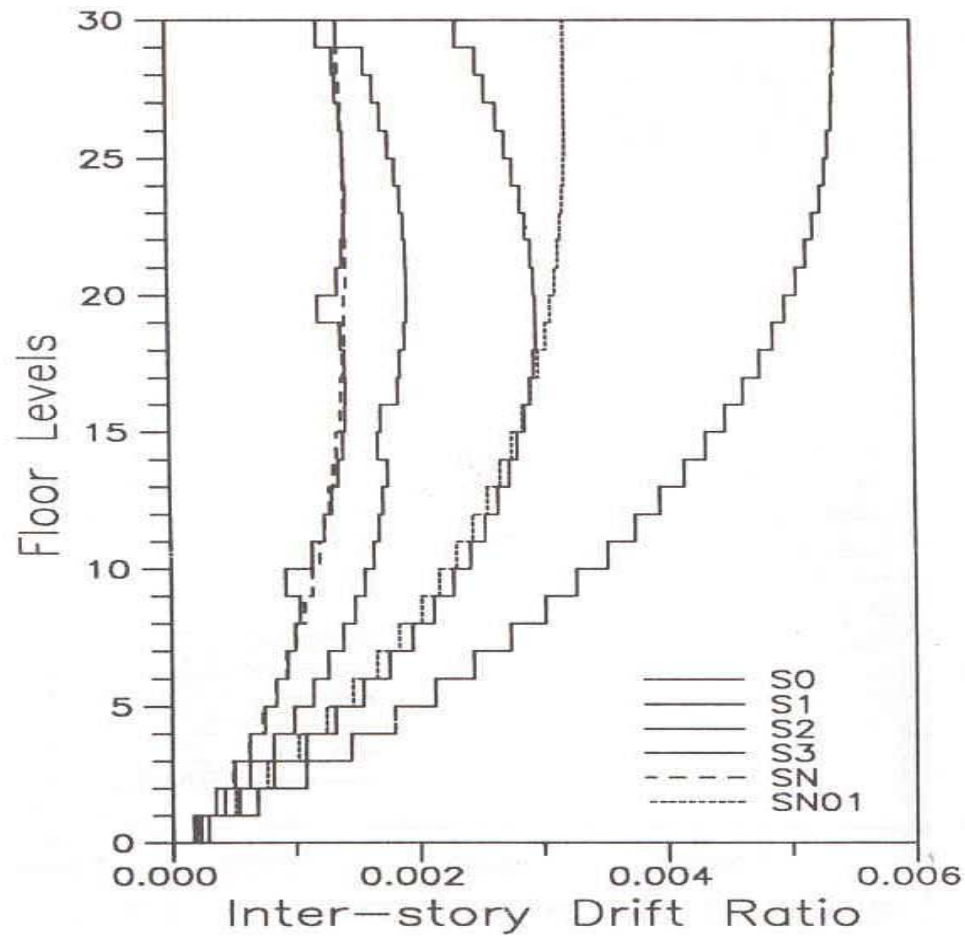


Fig. 3 30-story frame drift ratio

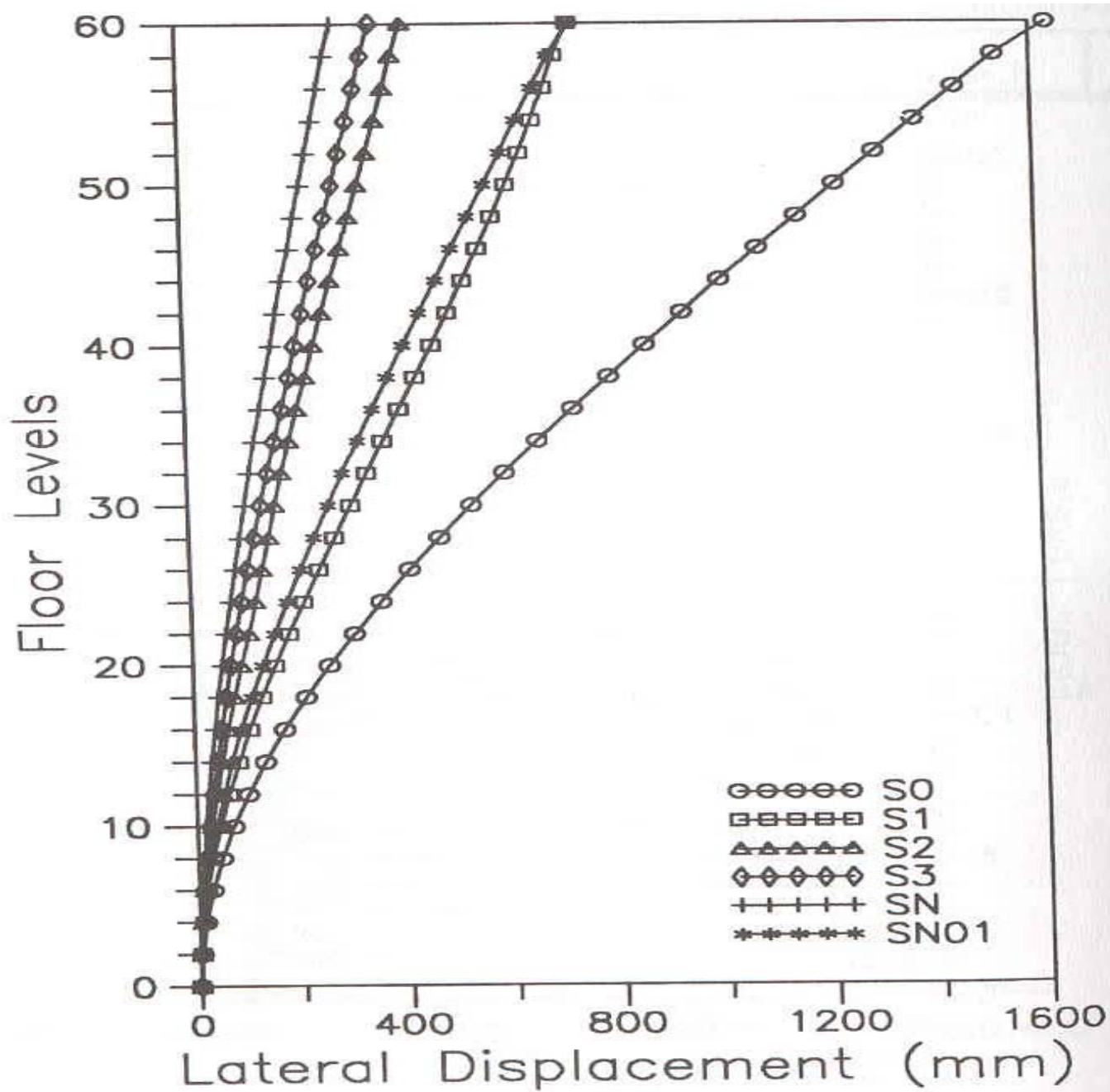


Fig. 4 60-story frame displacement

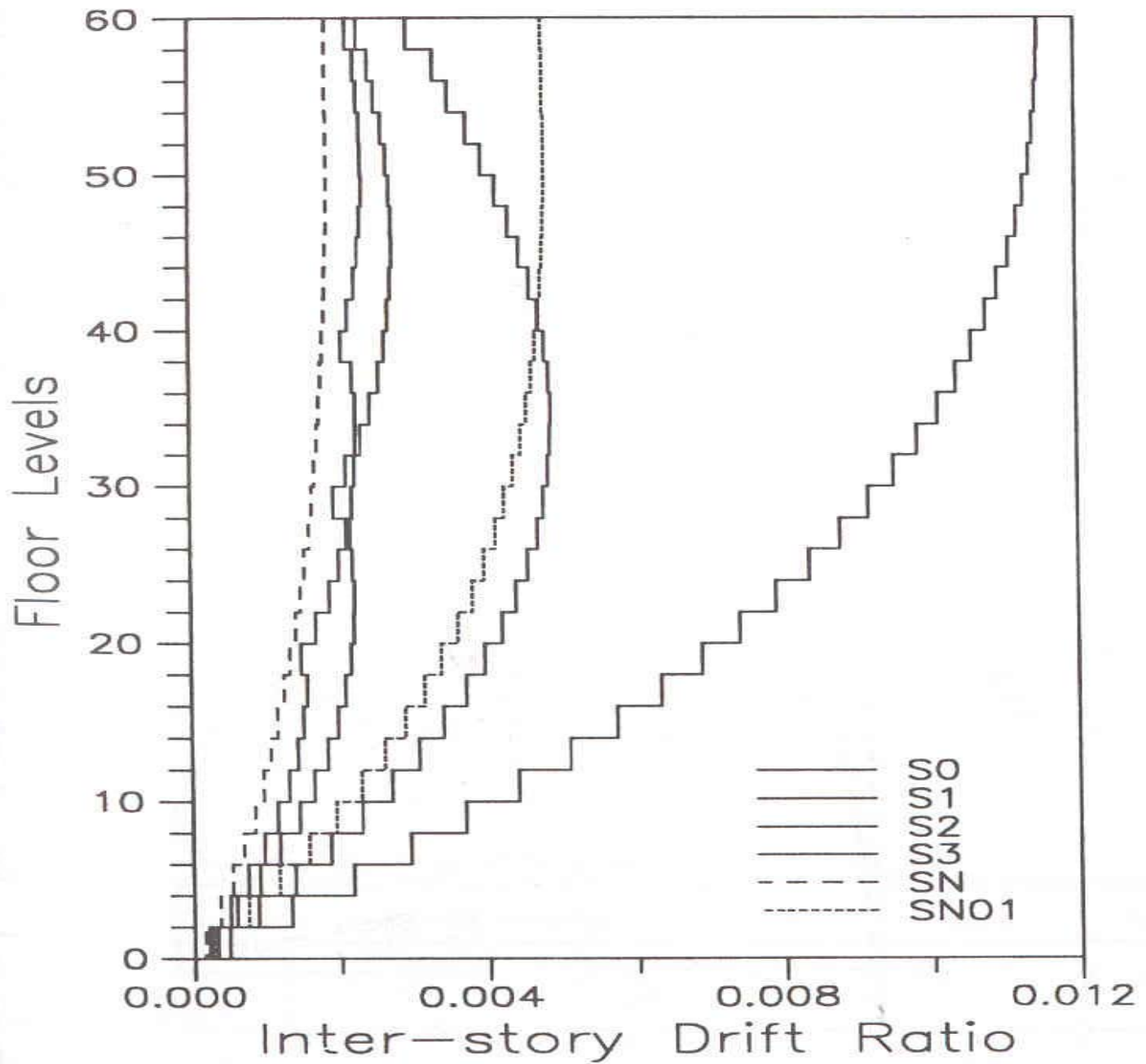


Fig. 5 60-story frame drift ratio

Table 3 Exterior Column Overturning Moment (30-story Frame)

	S0	S1	S2	S3	SN	SN01
P_{col}	0 (kN)	2388	4094	5311	7370	2818
M_c/M_T	0%	24.5%	42.0%	54.5%	75.6%	28.9%

Table 4 Exterior Column Overturning Moment (60-story Frame)

	S0	S1	S2	S3	SN	SN01
P_{col}	0 (kN)	6414	10559	12007	13996	8382
M_c/M_T	0%	32.9%	54.1%	61.6%	71.7%	43.0%

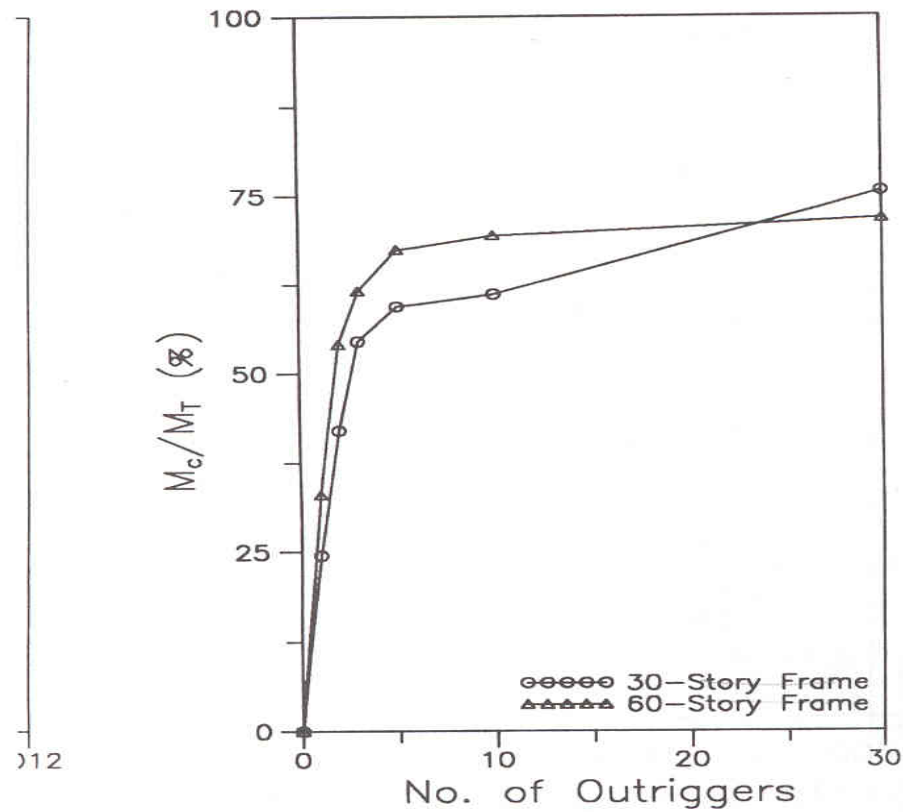


Fig. 6 Column overturning moment

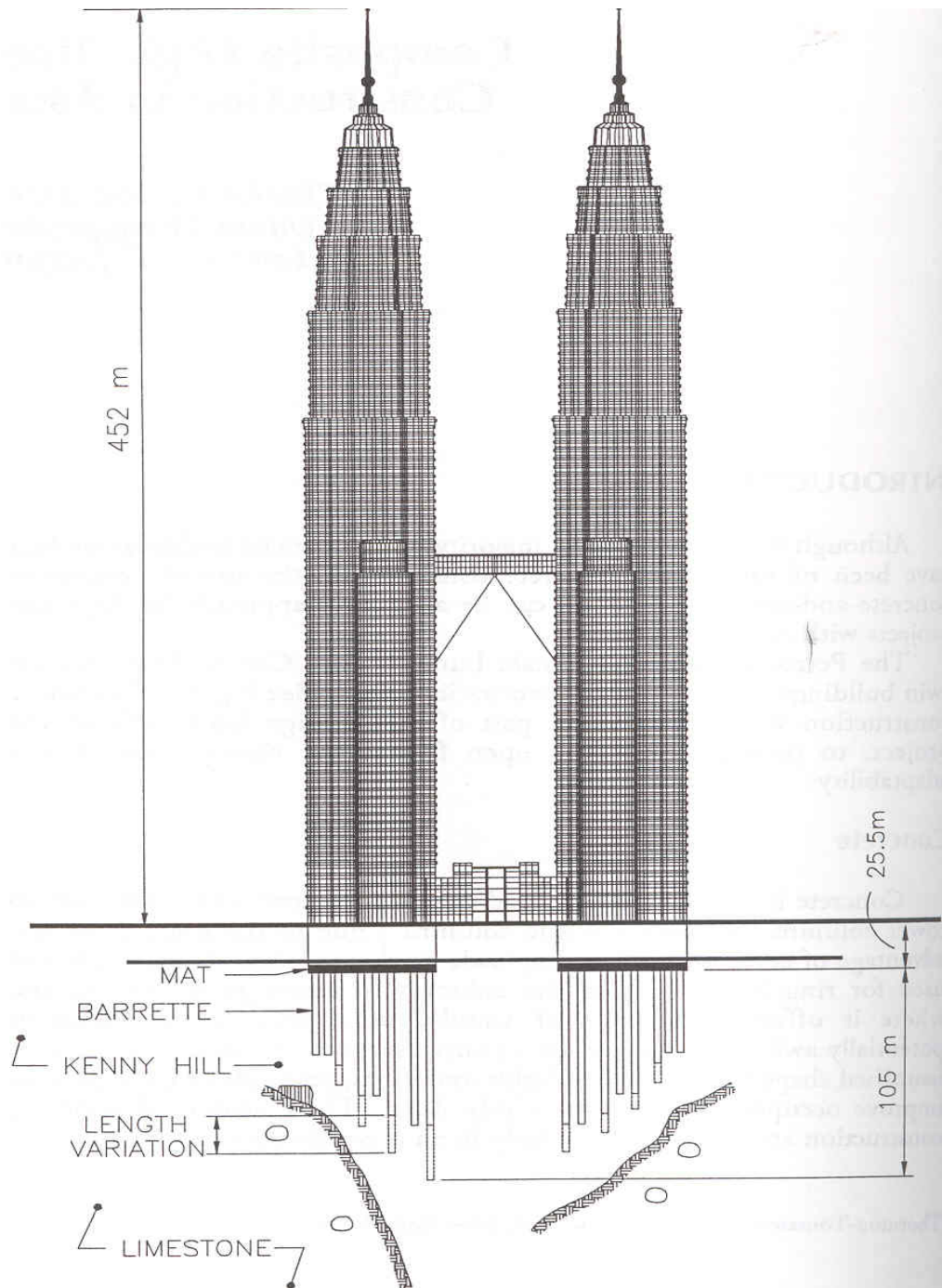


Fig. 1 KLCC elevation including foundations

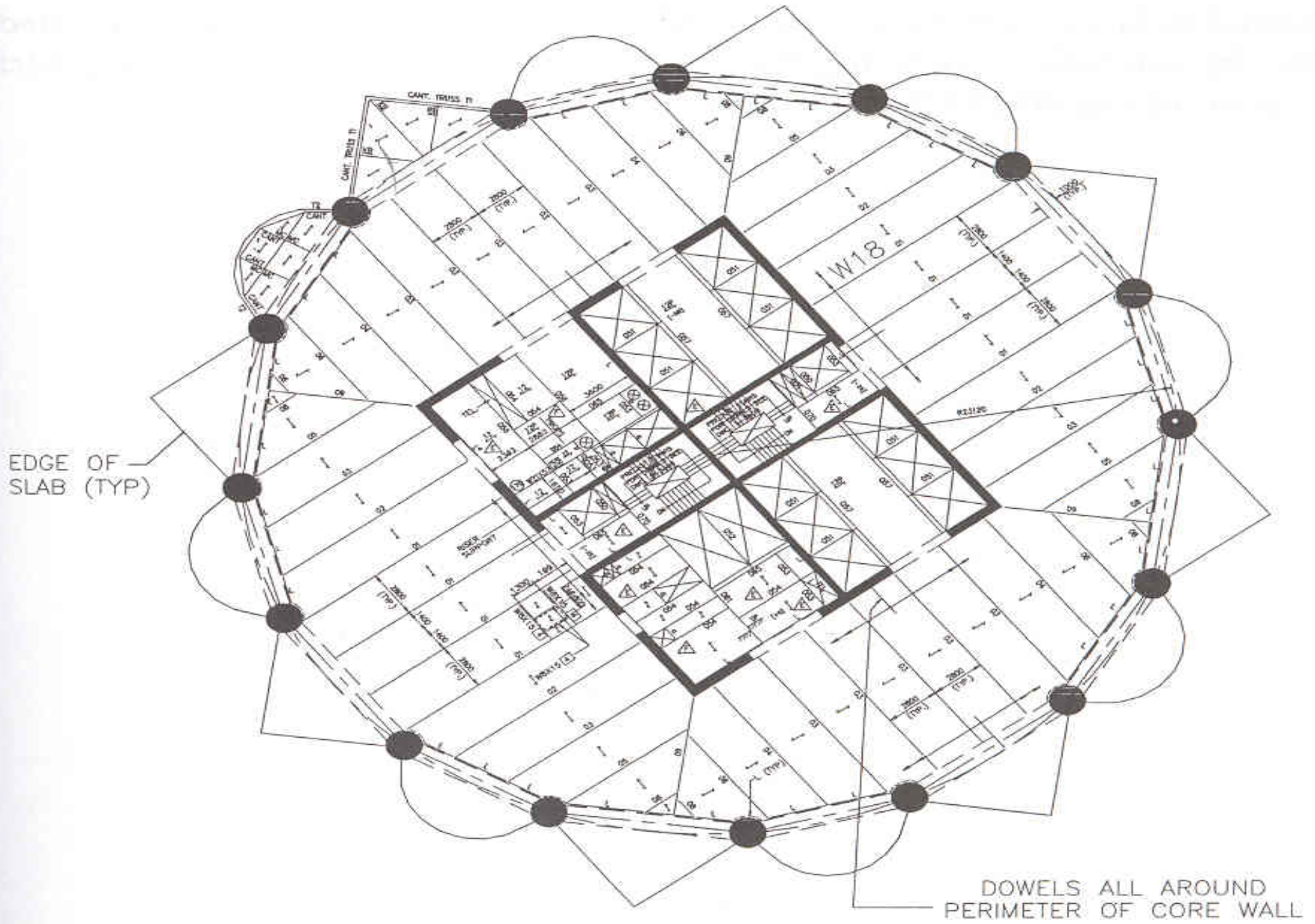


Fig. 2 KLCC typical upper tower plan

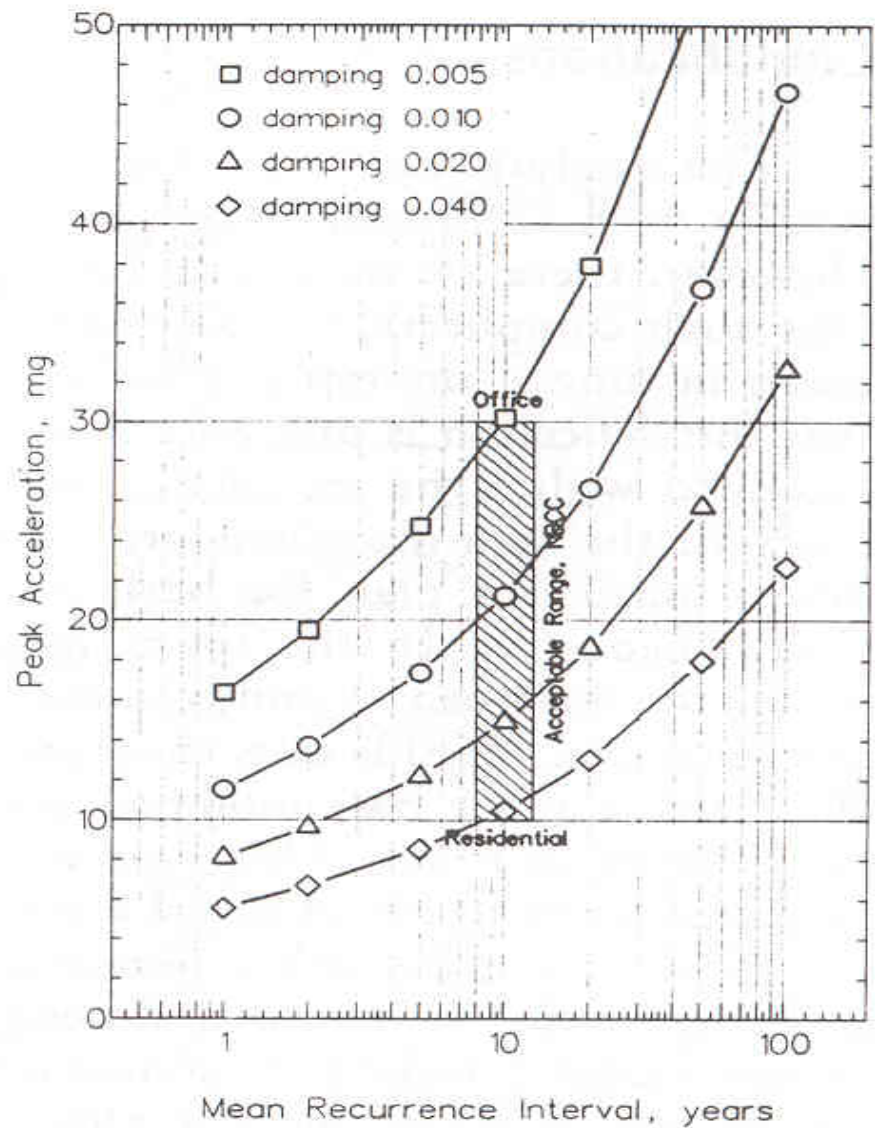
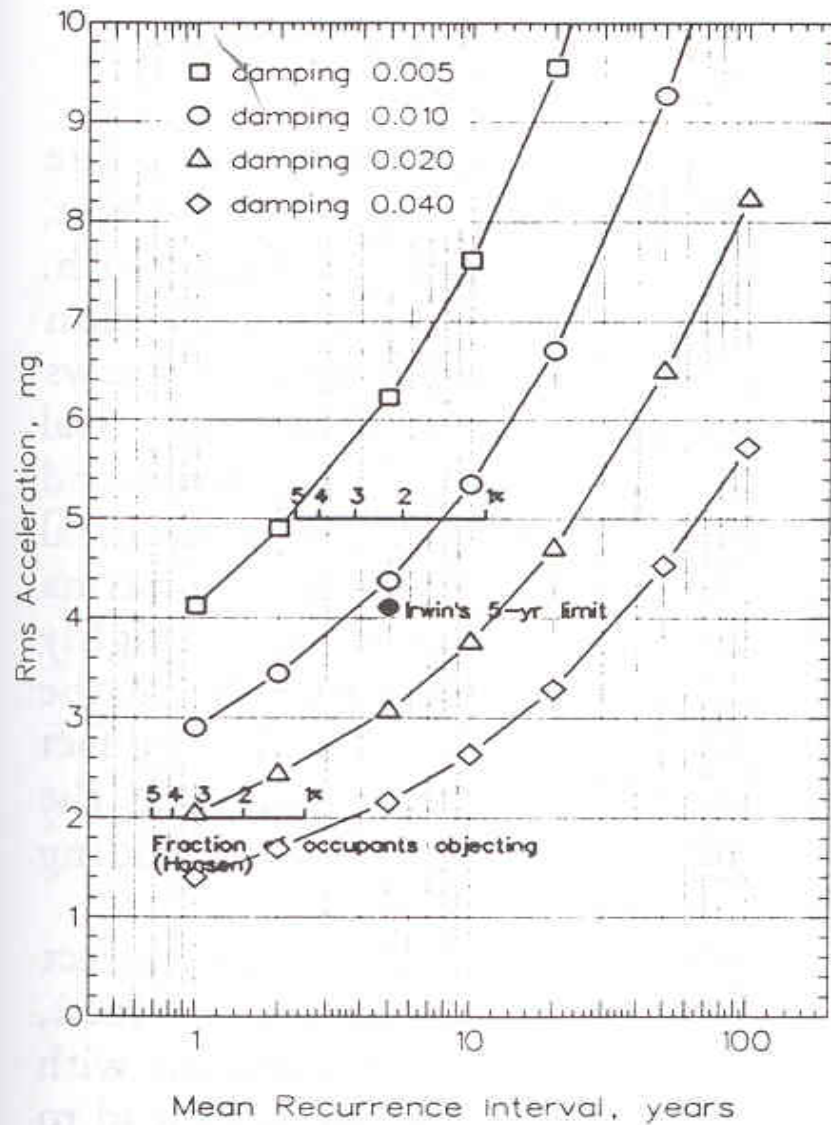


Fig. 2 RMS and peak acceleration response with comparison to acceptance criteria

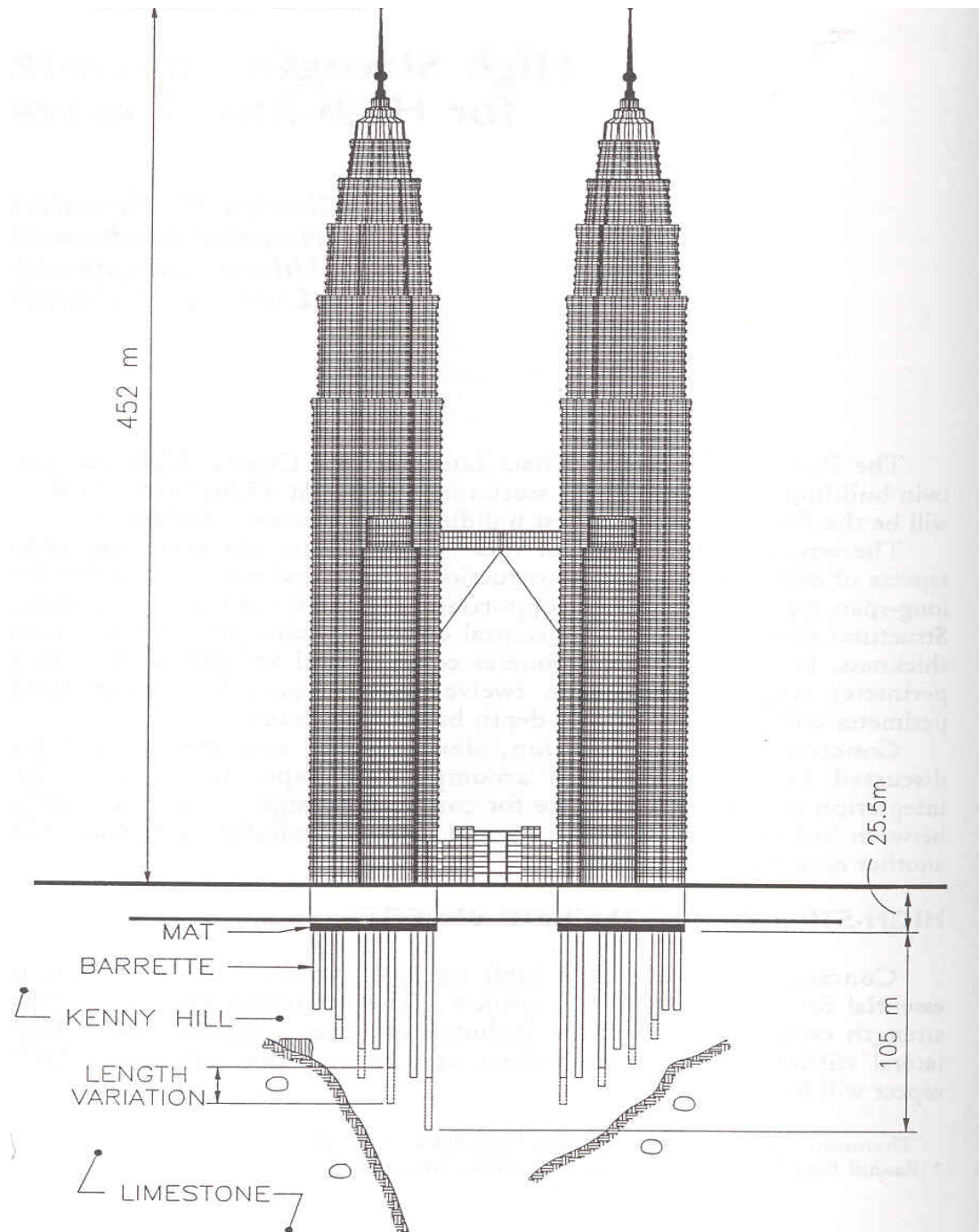


Fig. 1 Elevation of Petronas Towers at Kuala Lumpur City Centre

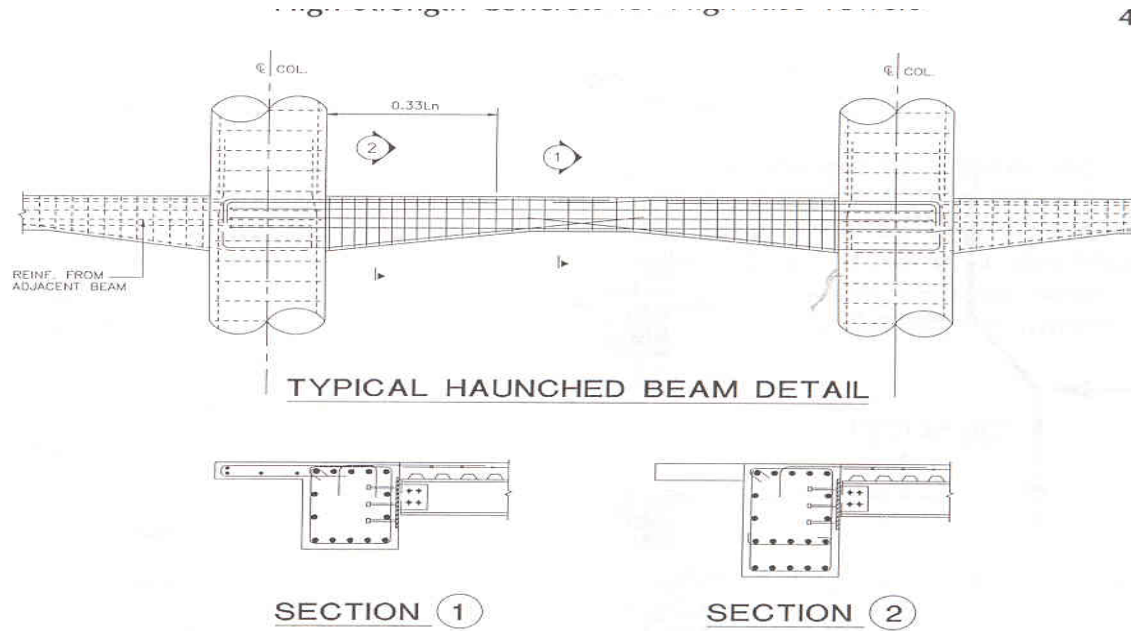
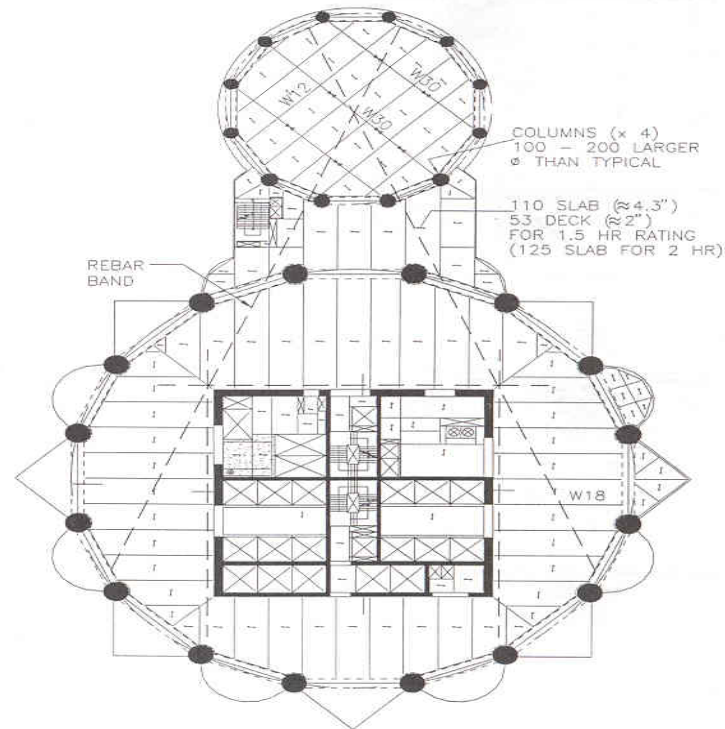


Fig. 2 Typical haunched beam detail



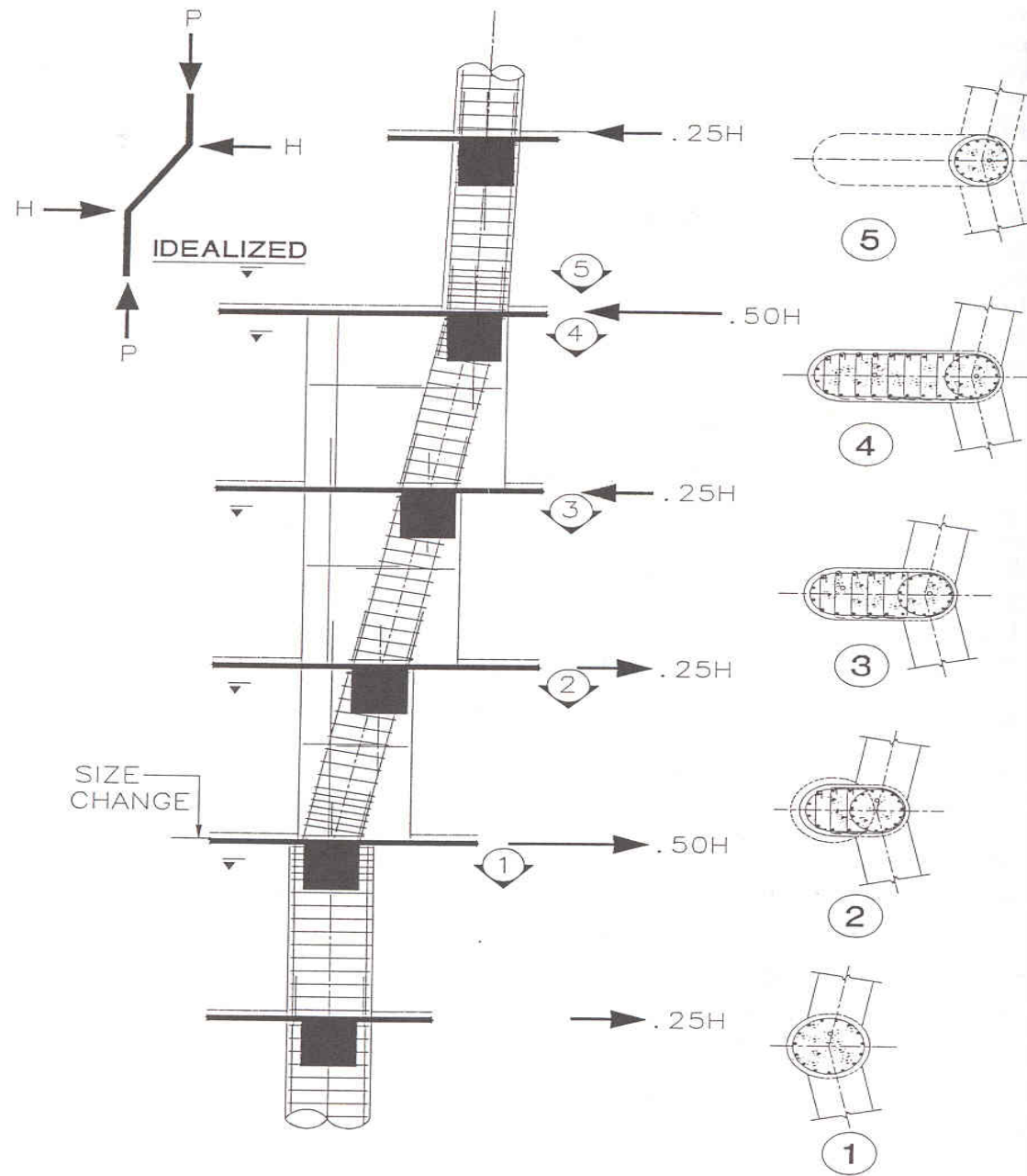


Fig. 4 Sloping column treatment

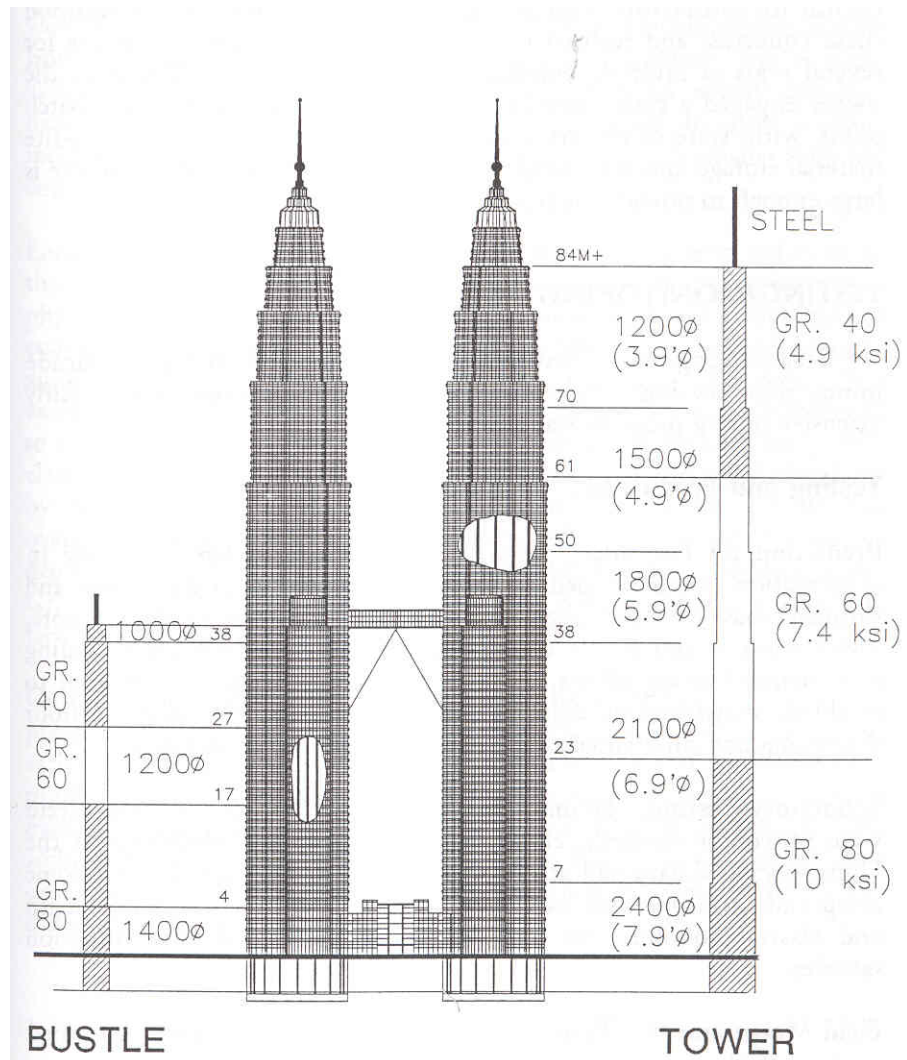
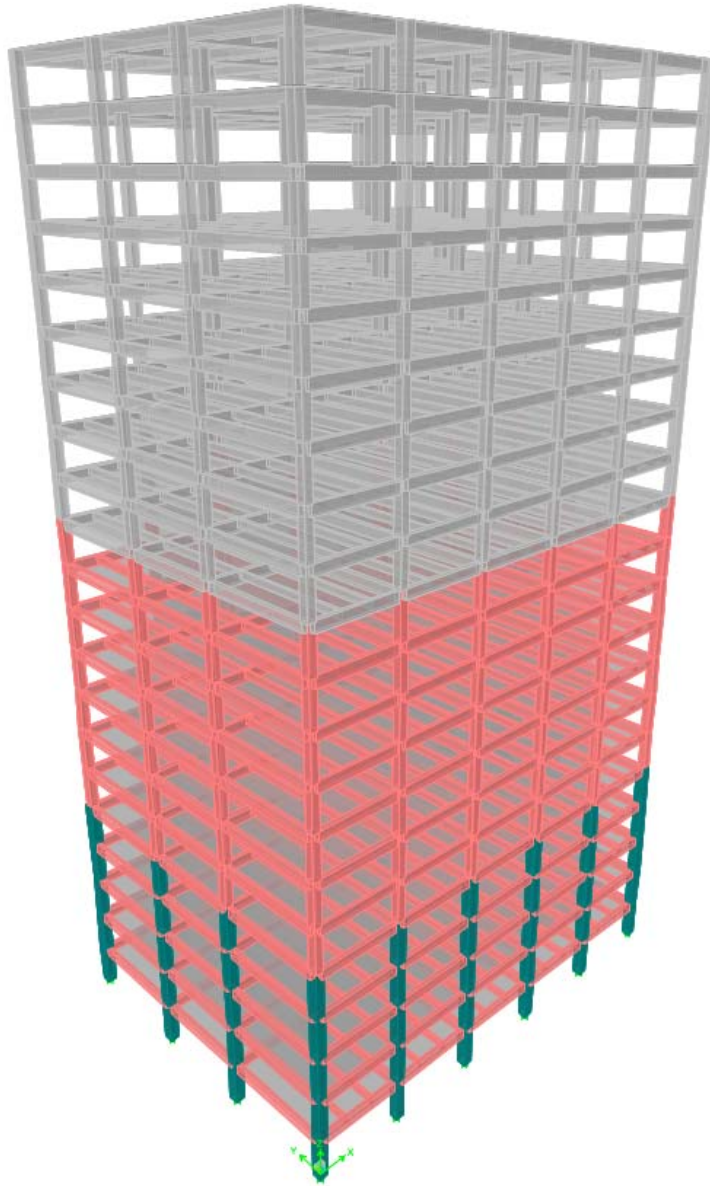


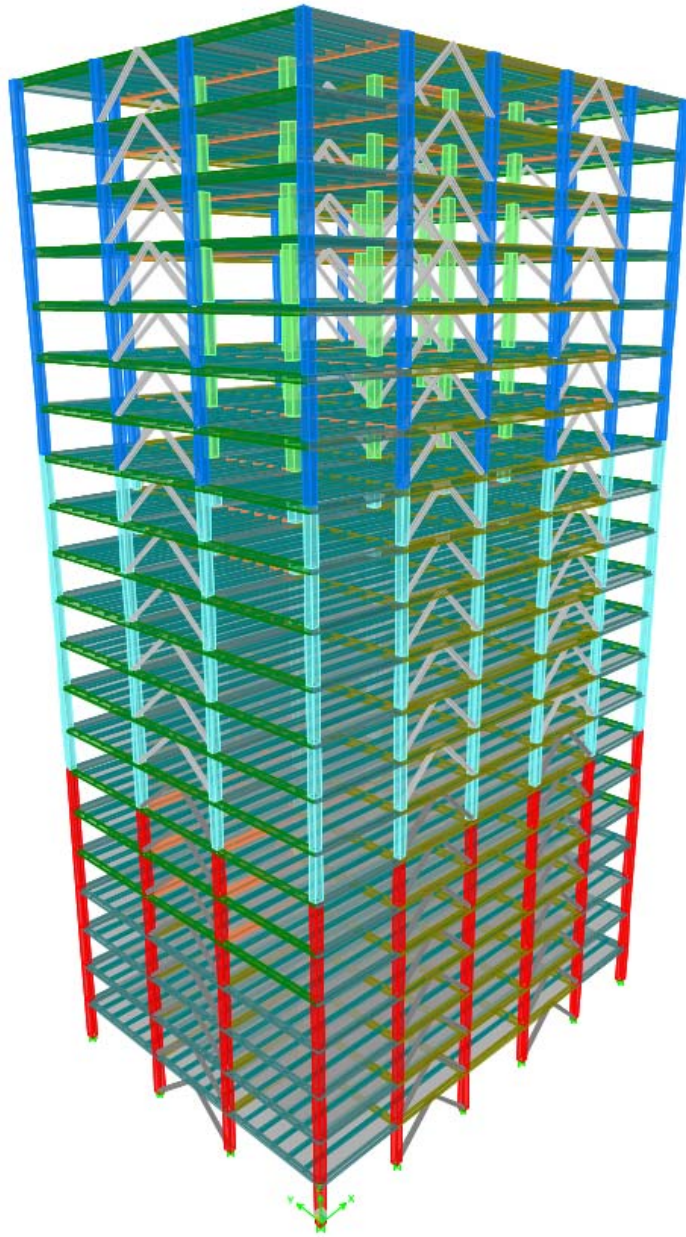
Fig. 5 Columns showing grade and size changes

ESTUDIO PARAMETRICO



COMPARATIVO 21 NIVELES

- 500 kg/cm²
- 400 kg/cm²
- 350 kg/cm²



COMPARATIVO
21 NIVELES
ACERO



COMPARATIVO 21 NIVELES

■ 250 kg/cm²









MORENA 326
COL. DEL VALLE

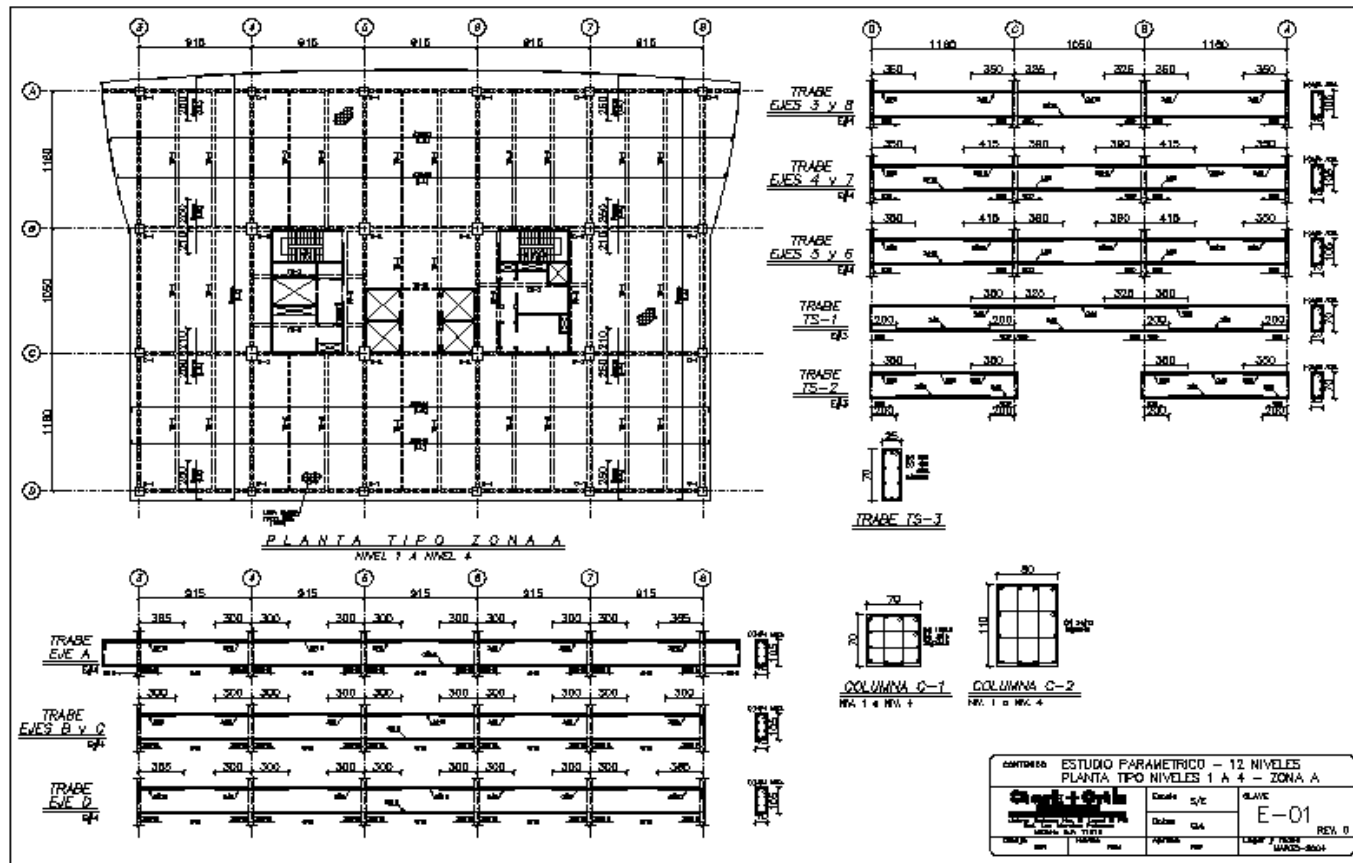
HIPOTESIS DE DISEÑO

- CARGA VIVA DE 250 Kg/cm² (uso de oficina)
- Coeficientes sísmicos:
c=0.16 (Zona A) c=0.36 (Zona C)
- Factor de comportamiento sísmico
Q = 4 (Para marcos) Q = 2 (Contraventeos)
- Sistemas estructurales utilizados en los edificios de Concreto: Marcos y muros

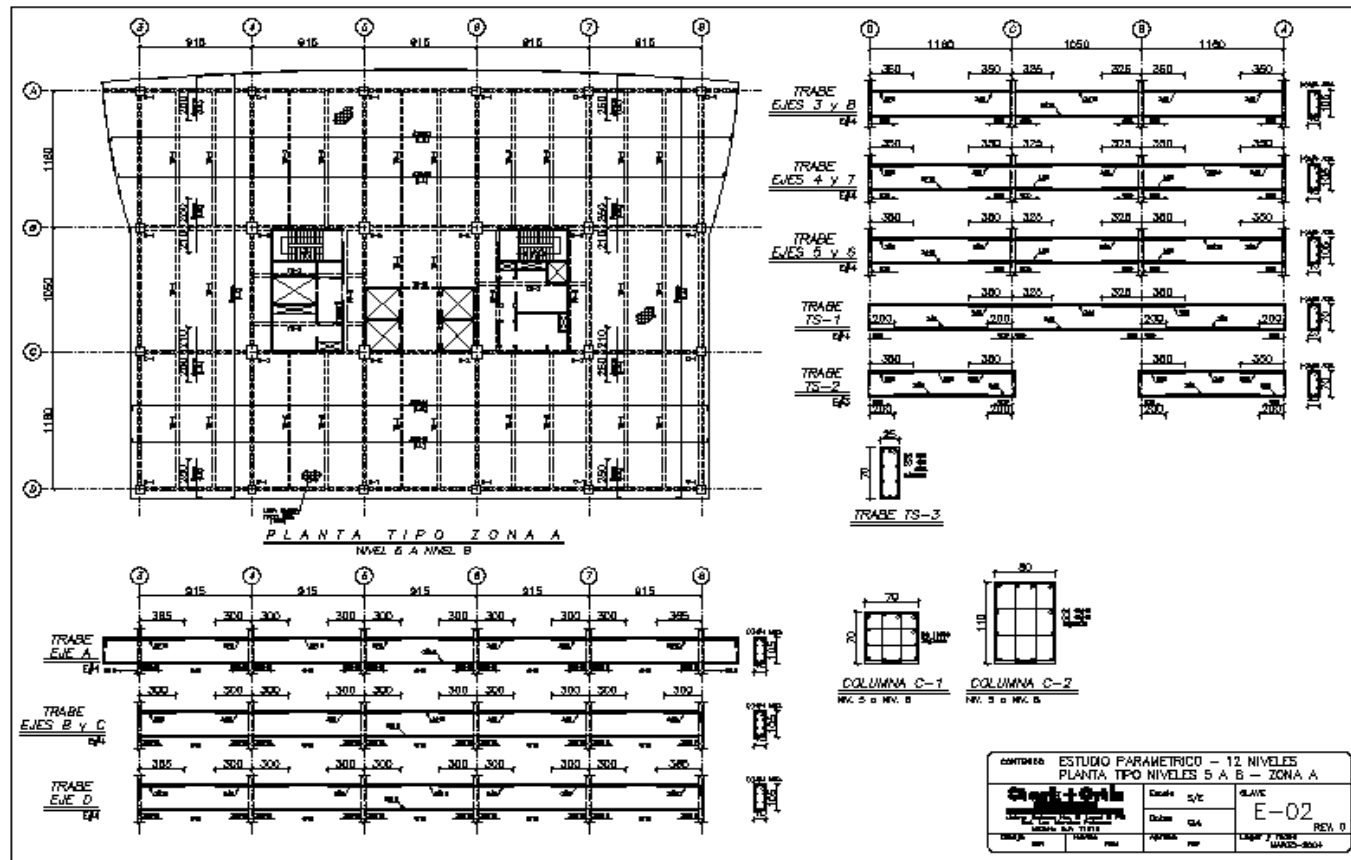
HIPOTESIS DE DISEÑO

- Sistemas estructurales en edificios de acero: Marcos y contravientos
- Capacidad del suelo en zona A:
 $q = 50 \text{ ton/m}^2$ (zapatas)
capacidad de pila = 800 ton/m^2
- Capacidad de pilas en zona C
 300 ton/m^2

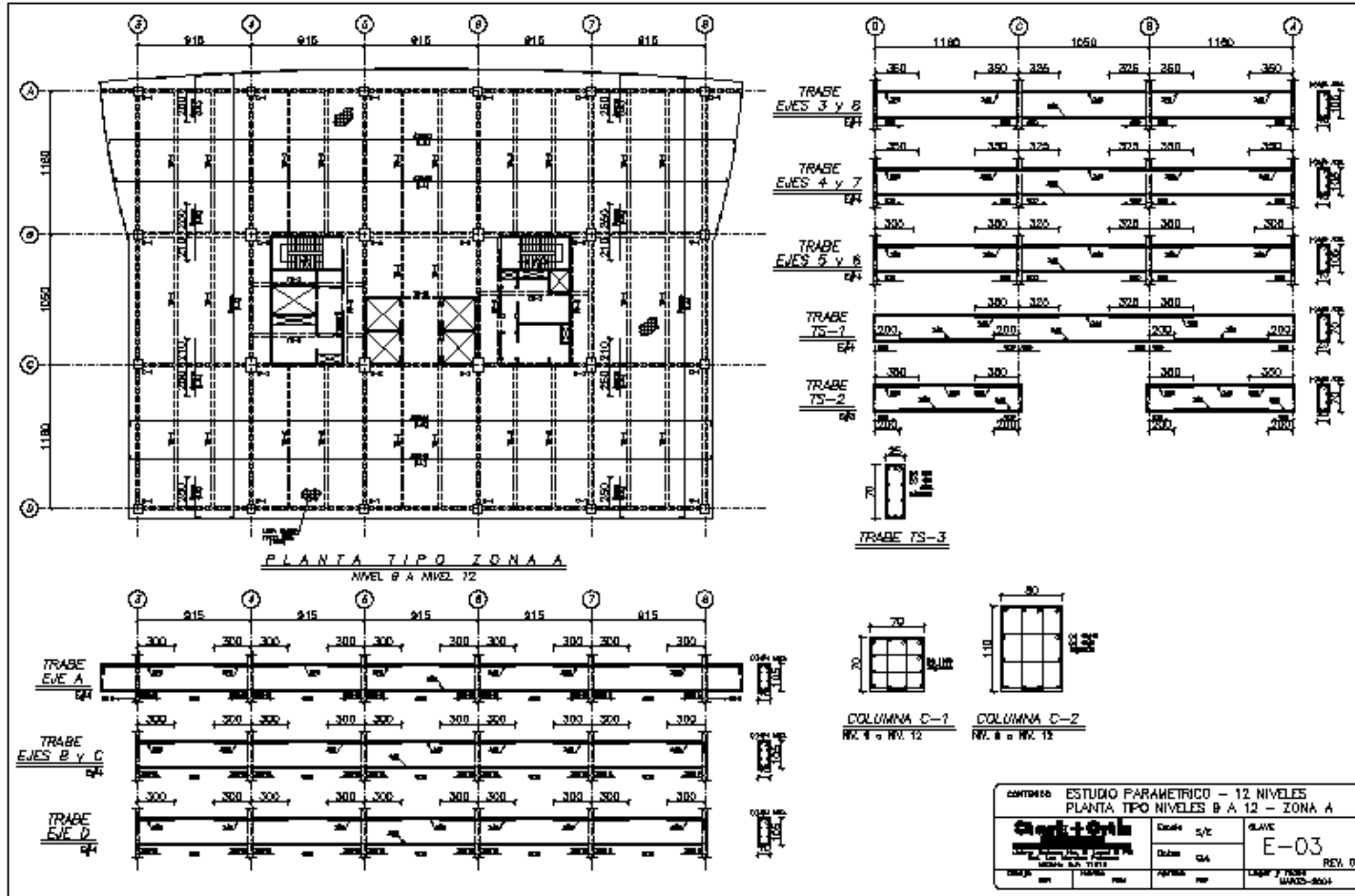
PLANTA TIPO N1 – N4



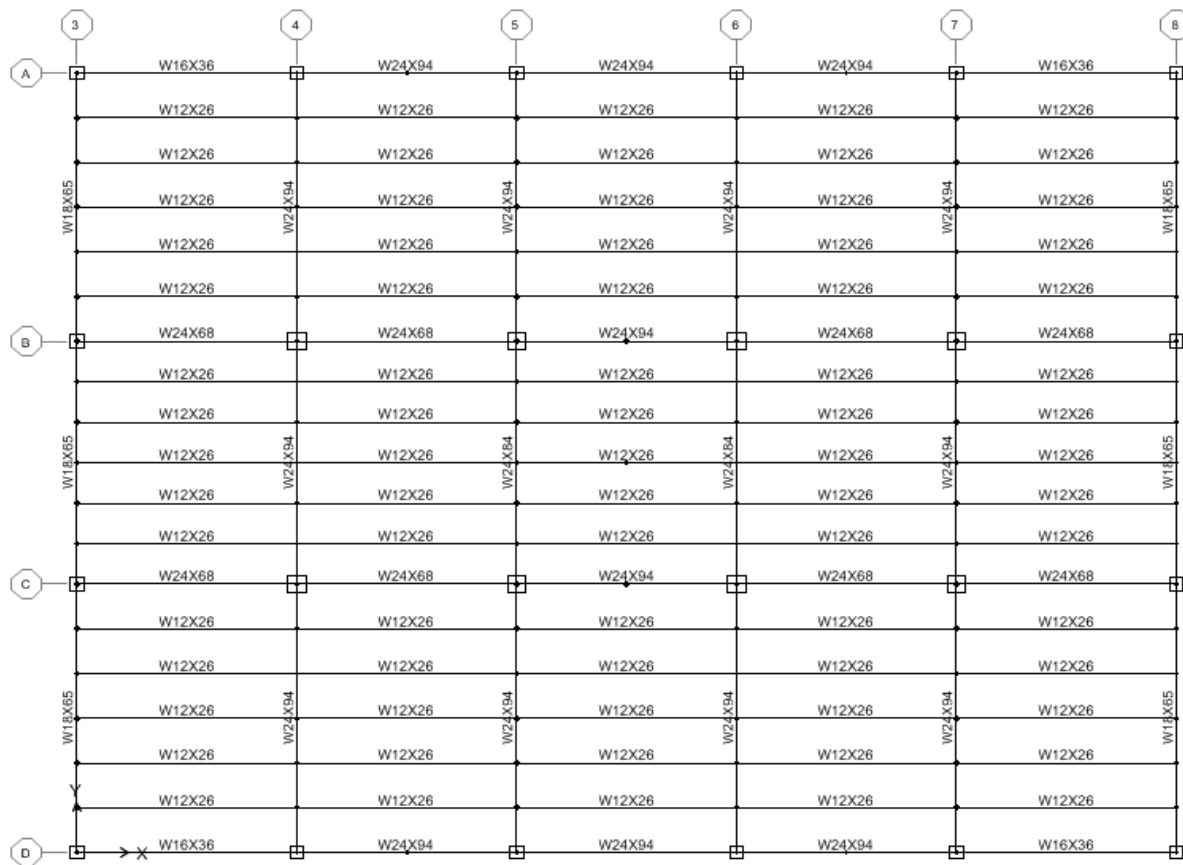
PLANTA TIPO N5 – N8



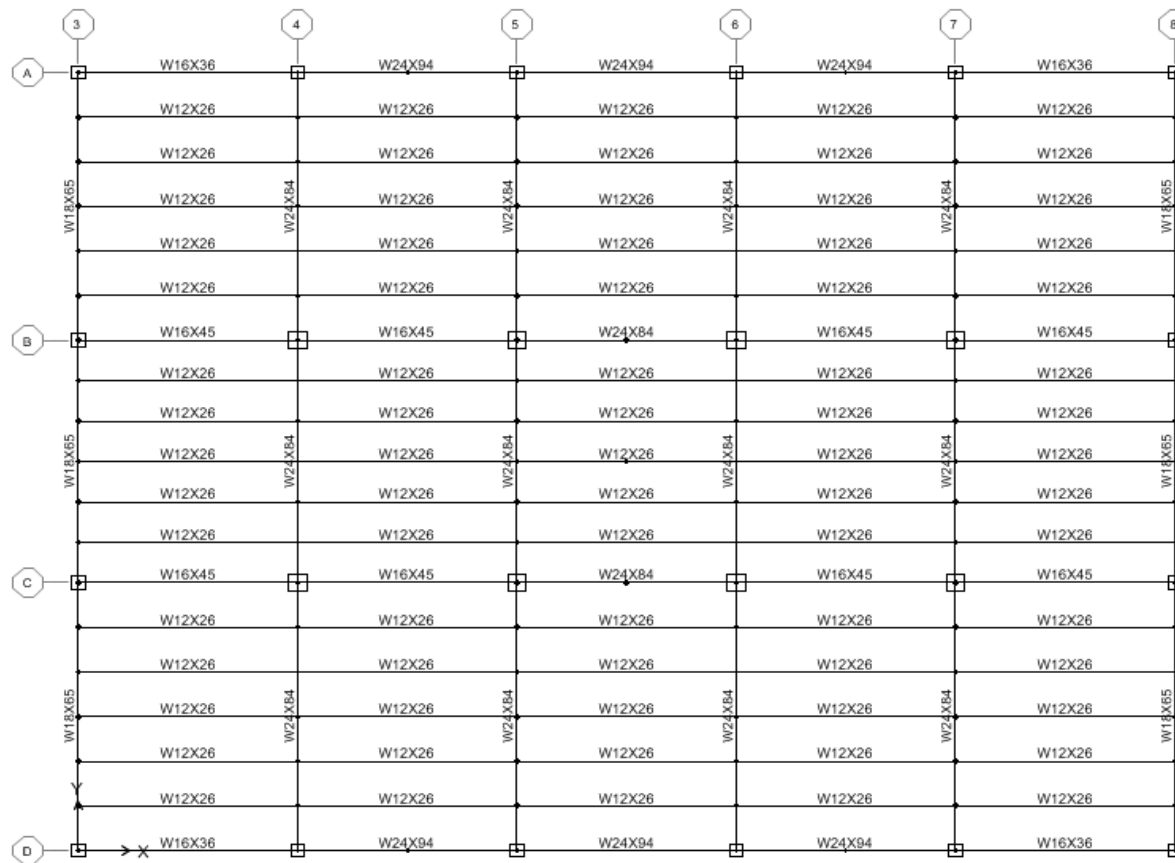
PLANTA TIPO N9 – N12



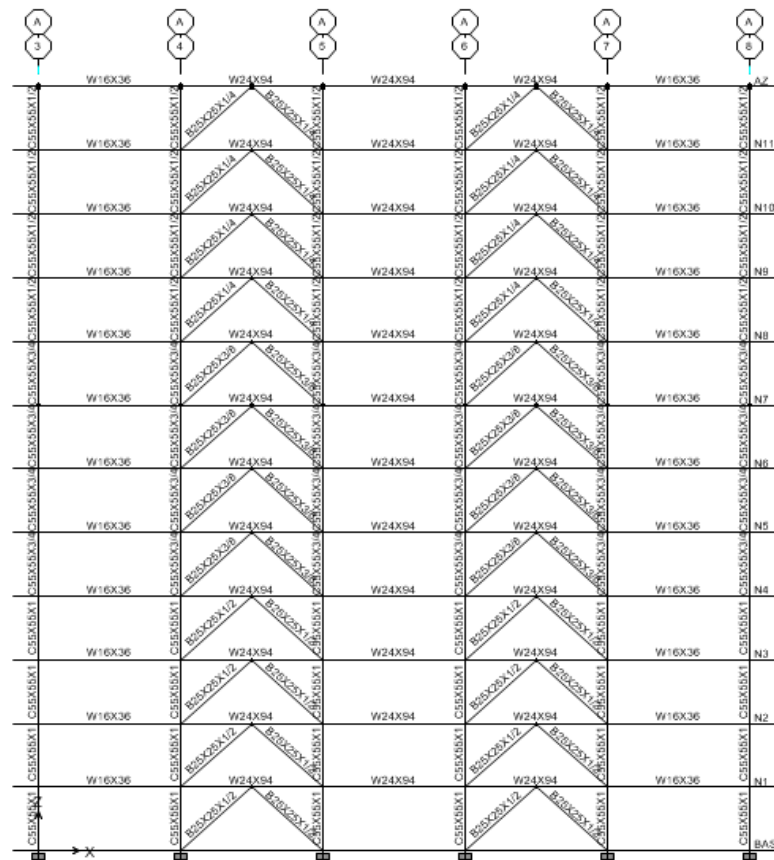
PLANTA TIPO N1 – N4



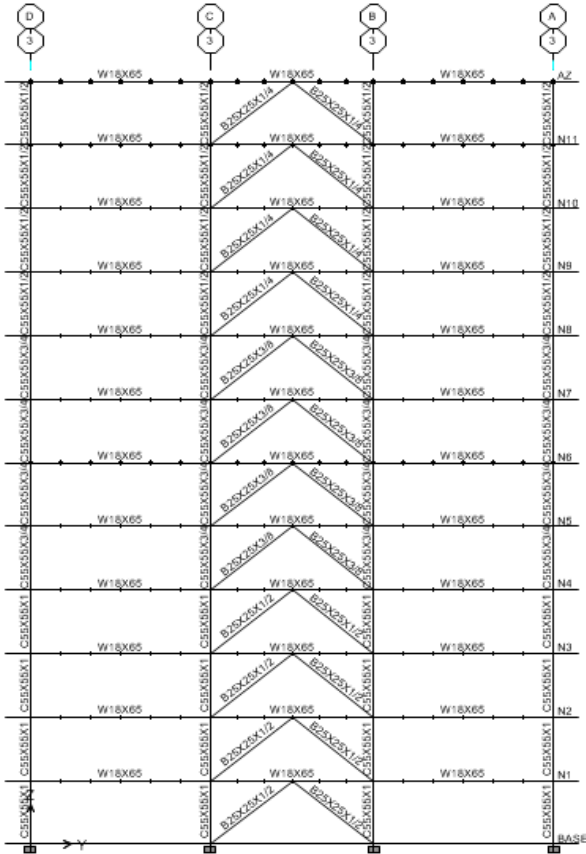
PLANTA TIPO N9 – N12



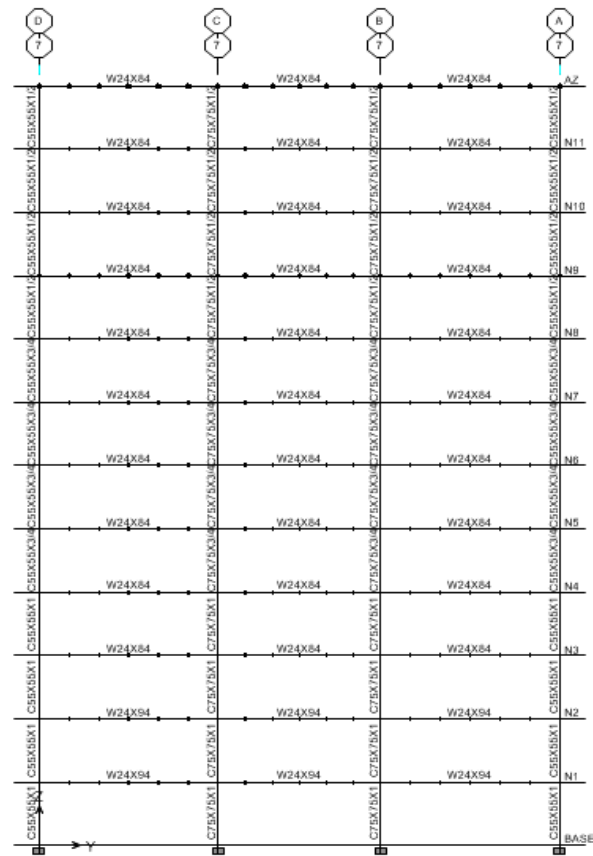
CORTE EJE A



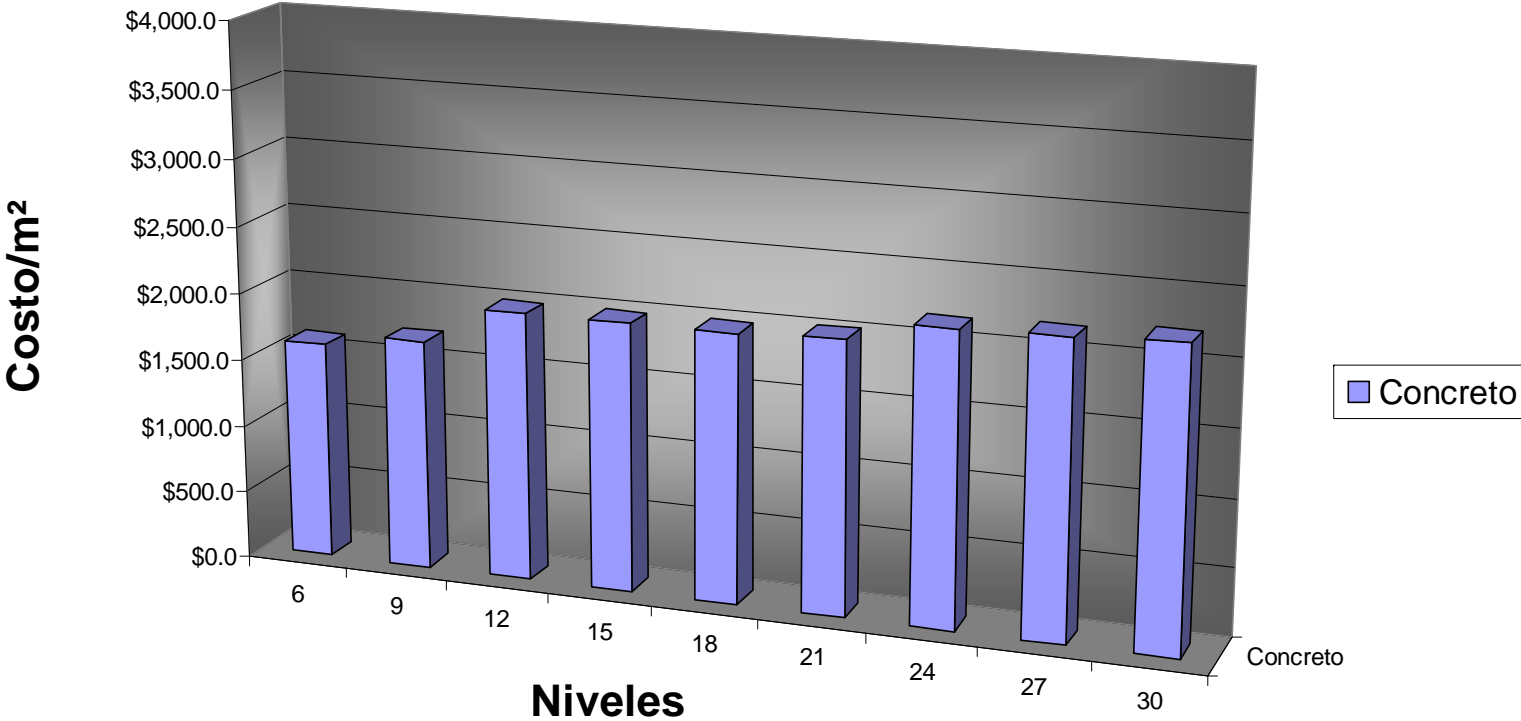
CORTE EJE 3



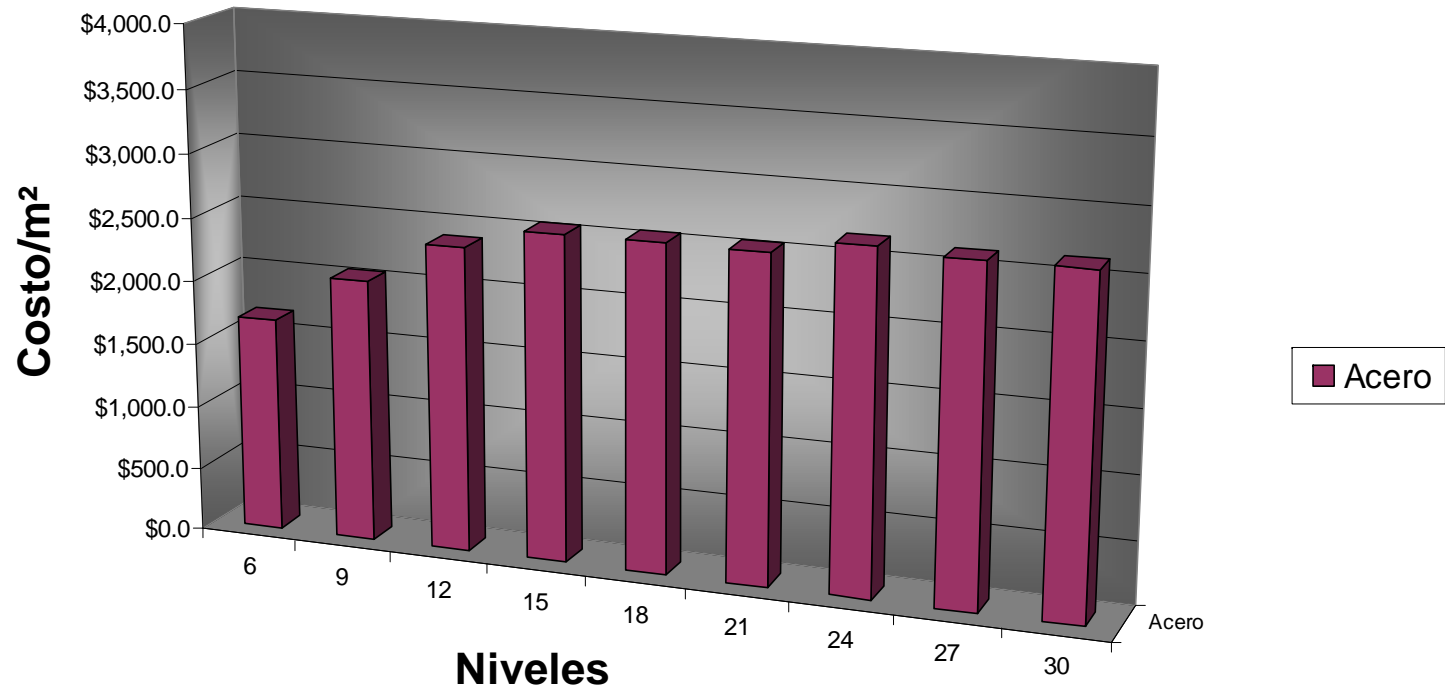
CORTE EJE 7



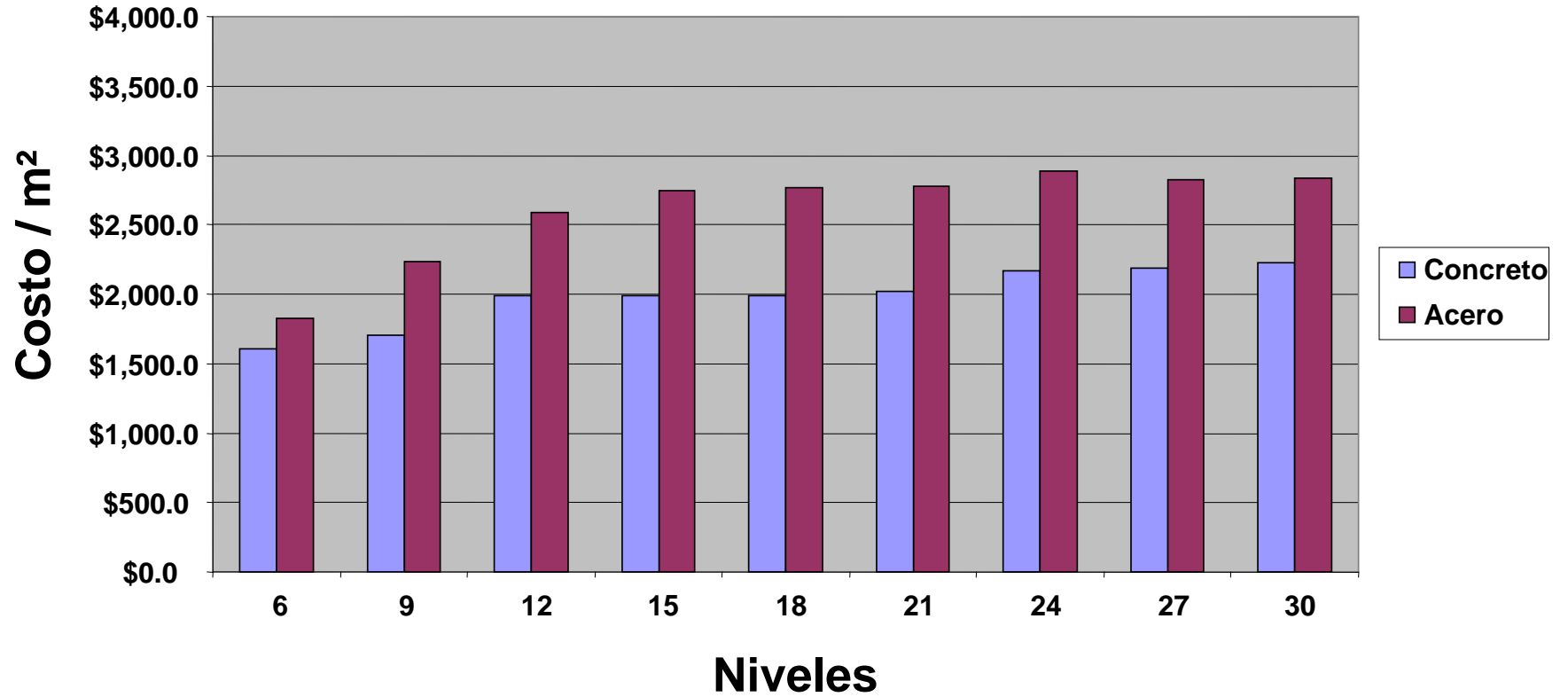
Costo Unitario de Edificios de Concreto Zona A



Costo Unitario de Edificios de Acero Zona A



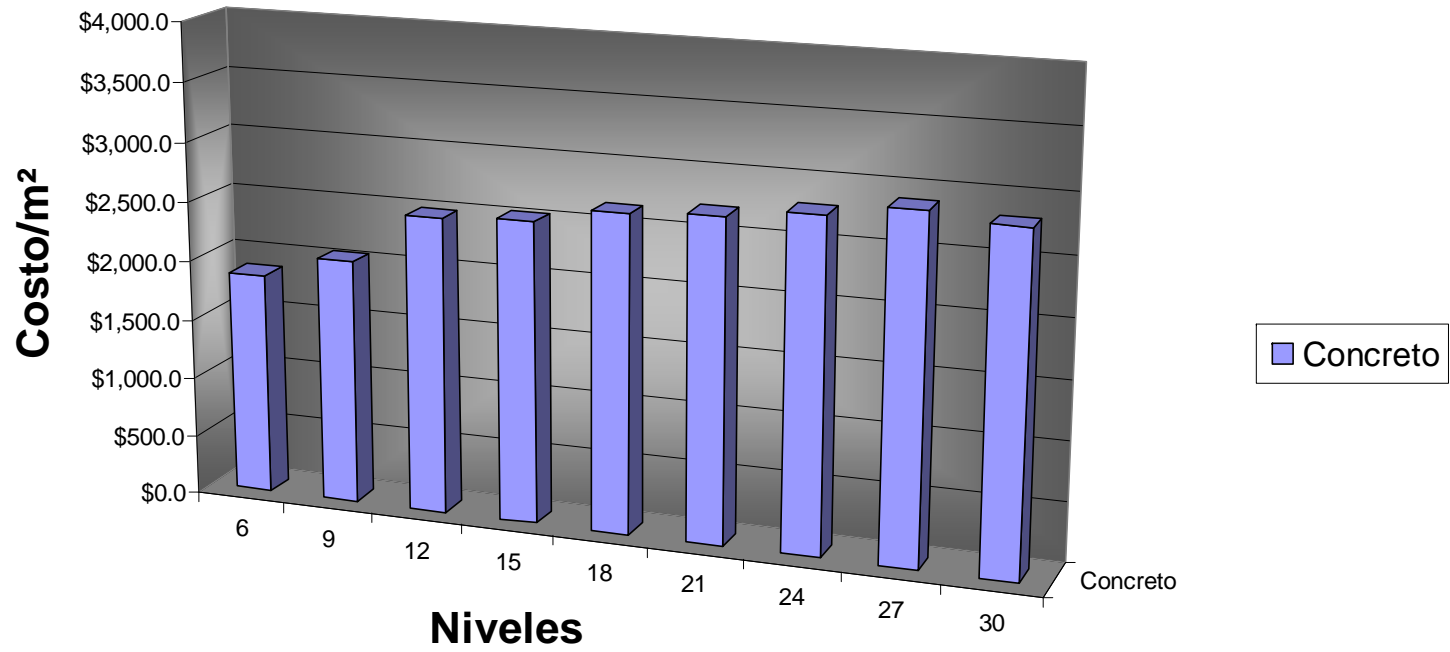
Comparativo de Costo Unitario Zona A



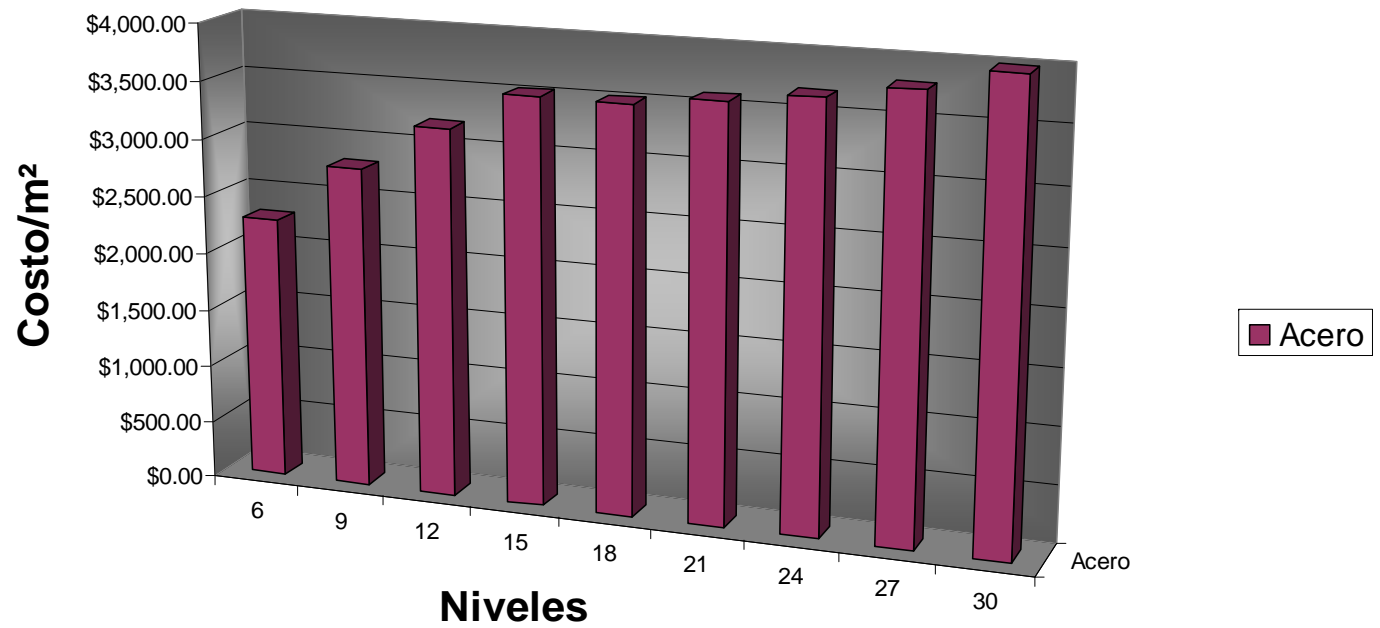
Resultados del comparativo Zona A

- En todos los casos la estructura de acero resultó en un costo mayor que la estructura de concreto.
- La menor variación fue de 14 % en la estructura de seis niveles.
- La mayor diferencia fue de 28 % en la estructura de treinta niveles.

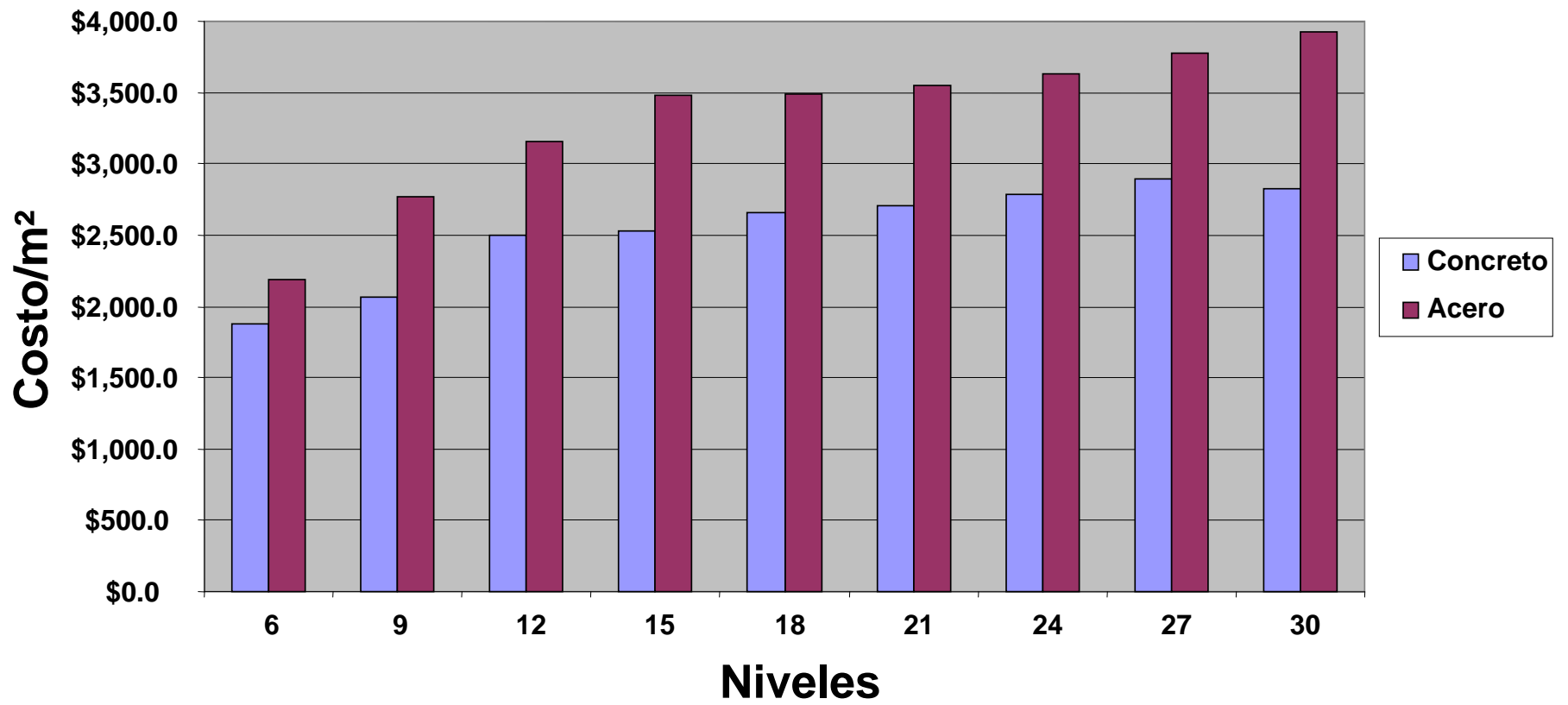
Costo Unitario de Edificios de Concreto Zona C



Costo Unitario de Edificios de Acero Zona C



Concreto vs Acero Zona C



Resultados del comparativo Zona C

- En todos los casos la estructura de acero resultó en un costo mayor que la estructura de concreto.
- La menor variación fue de 22 % en la estructura de seis niveles.
- La mayor diferencia fue de 42 % en la estructura de treinta niveles.



COMPARATIVO 21 NIVELES

■ 250 kg/cm²

Resultados del comparativo del uso de concretos de alta resistencia y resistencia "normal" (edificio de 21 niveles zona A):

- Menor costo (8%)
- Menor dimensión de columnas en planta (30 %)
- Menor refuerzo (50 %)

La utilización de concreto de mayor resistencia representó:

- Menor Peralte en las trabes.
- Menor deformación vertical en el sistema de piso, del orden de la mitad.
- Menor vibración del sistema de piso

La utilización de concreto de mayor resistencia representó:

- Menor porcentaje de acero
- Menores dimensiones de elementos estructurales
- Menor congestionamiento del acero

Ventajas del uso del concreto

- En general un menor costo.
- Mayor protección a la estructura en caso de un incendio.
- Menor costo de mantenimiento.
- Mejor respuesta dinámica bajo la acción del viento.

GRACIAS !!