

Estructuras de Hormigón (I).

PÓRTICOS PLANOS

Bibliografía

• General

- TORROJA, E. “Razón y ser de los tipos estructurales.” Consejo Superior de Investigaciones Científicas.I.E.T.c.c., Madrid 1.991
- SALVADORI, M.; HELLER, R. “Estructuras para arquitectos”. Editorial CP67, Buenos Aires, 1.987
- PAZ, M. “Dinámica estructural, teoría y cálculo”. Ed. Reverté, Barcelona.
- QUINTAS RIPOLL, V. “Estructuras Especiales en edificación. Analisis y cálculo”. 2 Tomos. Editorial Rueda. Madrid 1995.

• Hormigón

- JIMENEZ MONTOYA, P.; GARCIA MESEGUER, A.; MORAN CABRE, F. “Hormigón Armado. 14ª Edición. Gustavo Gili. Barcelona 2001.
- CASSINELLO PÉREZ, F.; “Construcción. Hormigonería”. Editorial Rueda. 2ª Edición. Madrid 1996.
- CALAVERA, J.; “Proyecto y cálculo de estructuras de hormigón”. 2 Tomos. INTEMAC.
- CALAVERA, J.; “Patología de estructuras de hormigón armado y pretensado”. 2 Tomos. INTEMAC. Madrid. 1996.
- CALAVERA, J.; “Cálculo, construcción y patología de forjados de edificación”. 5ª Edición. INTEMAC. Madrid. 2003.
- CORRES PEIRETTI, H.; MARTINEZ MARTINEZ, J. L.; PEREZ CALDENTEY, A.; LOPEZ AGÜI, J. C.; “Prontuario informático del hormigón estructural 3.0” . IECA. Madrid. 2001.
- REGALADO TESORO, F.; “Los Pilares: Criterios para su proyecto, cálculo y reparación”. CYPE Ingenieros.

Bibliografía

- **Detalles Constructivos**

- CALAVERA, J.; “Manual de detalles constructivos en obras de hormigón armado”. INTEMAC.
- ASOCIACION NACIONAL DE FABRICANTES CON SELLO CIETAN; Recomendaciones para la ejecución de forjados unidireccionales”. 2ª Edición.

- **Normativa**

- NBE.AE-88 Acciones en la Edificación
- EHE. Instrucción del Hormigón Estructural.
- EFHE. Instrucción para el Proyecto y la Ejecución de Forjados Unidireccionales de Hormigón Estructural Realizados con Elementos Prefabricados.
- NCSE-2001. Norma para la Construcción Sismorresistente Española: Parte General y Edificación

Fases en el proyecto de una estructura

- Diseño.
- Modelización.
- Cálculo.
 - Predimensionado
 - Cálculo de desplazamientos y solicitaciones
 - Dimensionado y comprobación de elemento

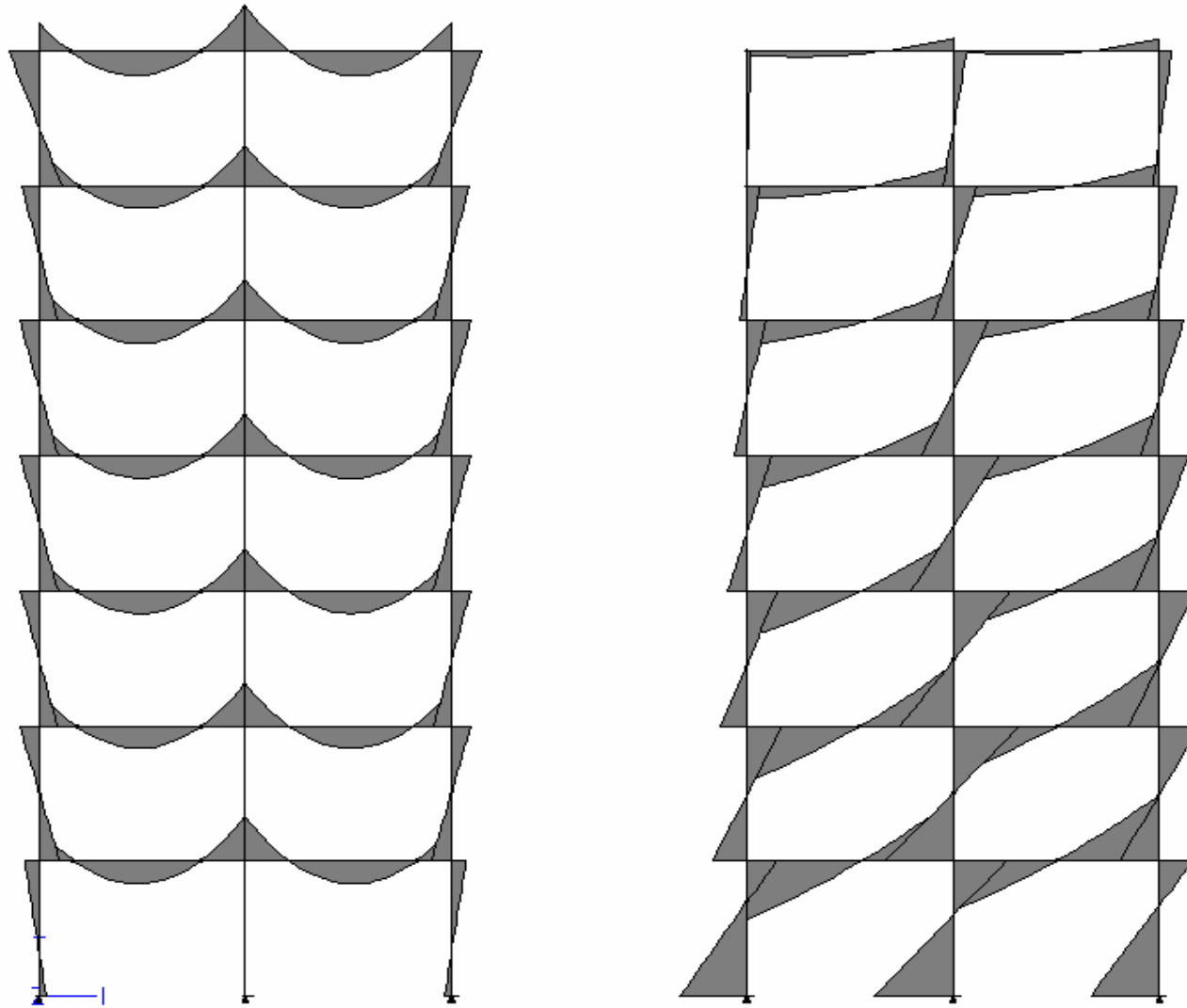
Fases en el proyecto de una estructura

- **Diseño**
- Modelización
- Cálculo
- Condicionantes.
 - Funcionales.
 - Adaptabilidad a las características del proyecto arquitectónico.
 - Luces.
 - Cantos.
 - Suelo.
 - Económicos.
 - Disponibilidad.

Fases en el proyecto de una estructura

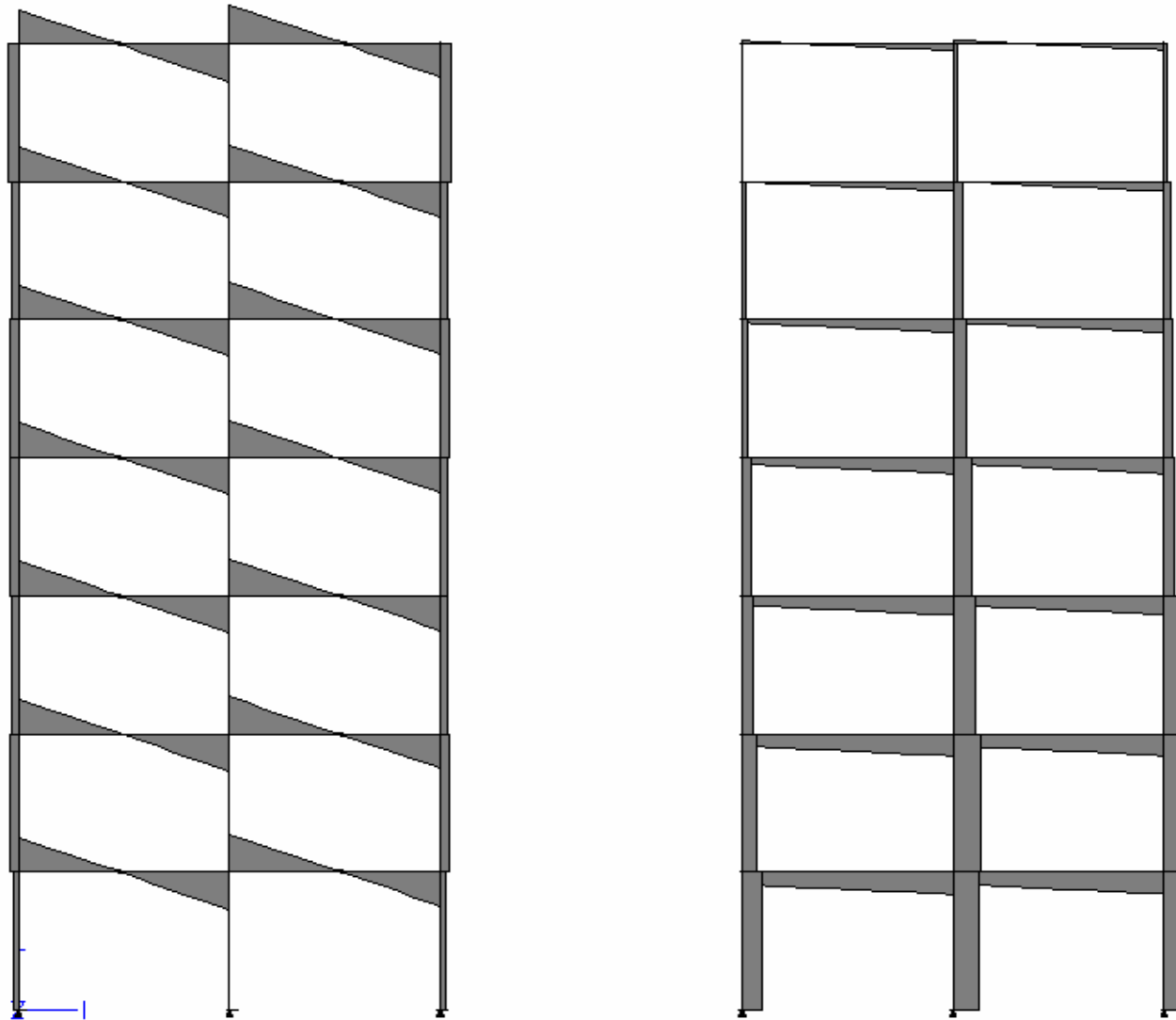
- Diseño
 - **Modelización**
 - Cálculo
- Simplificación de la realidad.
 - “*El modelo es un sistema de información en el que solo existe lo que tiene cabida en el sistema*”.
 - Comprobar que todos los aspectos relevantes de la realidad se encuentran en el modelo.
 - Aspectos que hay que incluir en el modelo:
 - El espacio en que se sitúa la estructura y los movimientos permitidos en él.
 - La geometría de la estructura: Tipos de elementos.
 - Barra
 - Superficie
 - Volumen
 - El material que la compone.
 - Deformaciones. Tipo de análisis.
 - Ductilidad.
 - Dilatación térmica.
 - Las fuerzas que van a considerarse.
 - Tipo de acciones (aceleraciones, impacto, cambio de dimension)
 - Modelo de sustentación.
 - Modelo de seguridad.

Comportamiento de pórticos



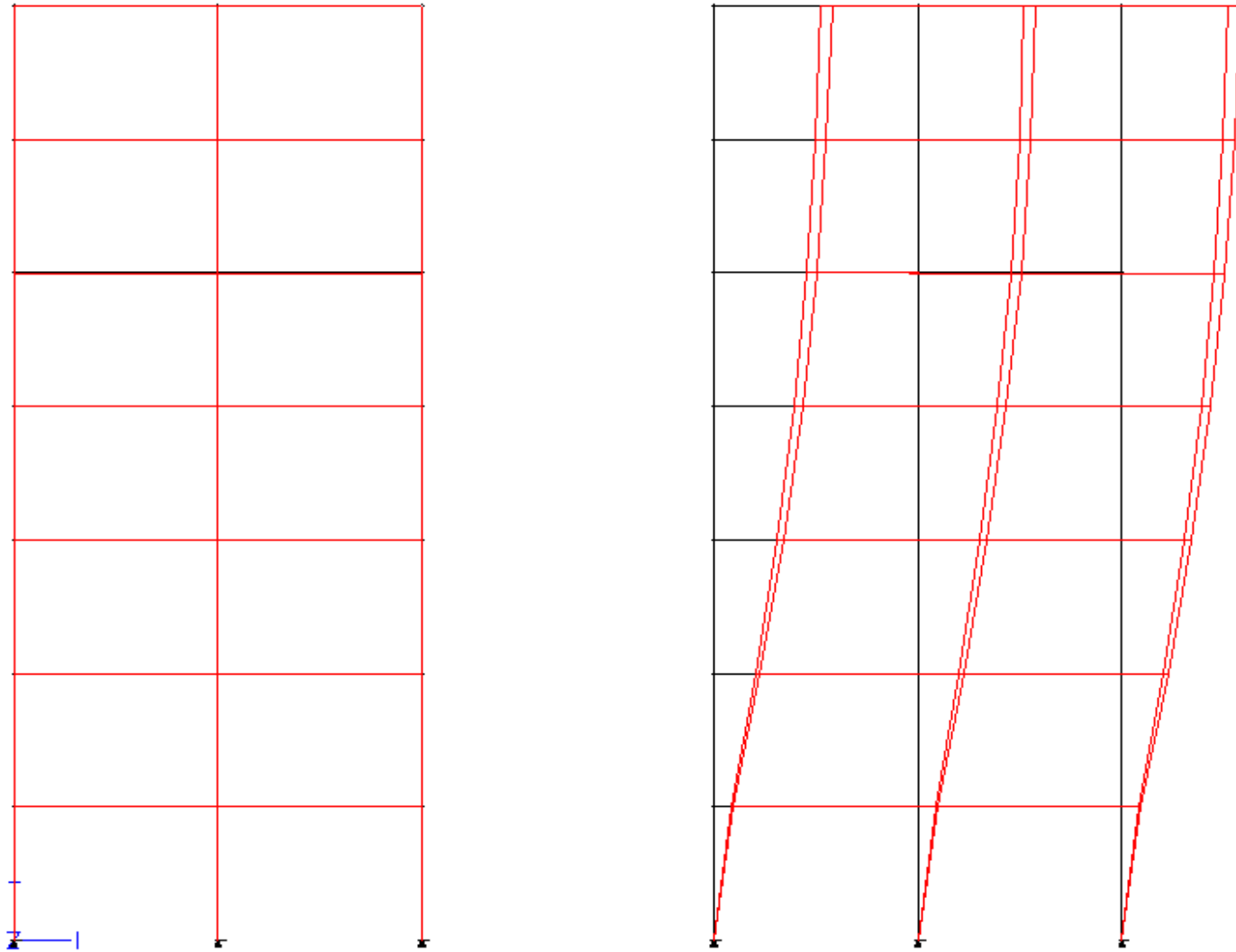
Porticos frente acciones verticales y horizontales: Momentos flectores

Comportamiento de pórticos



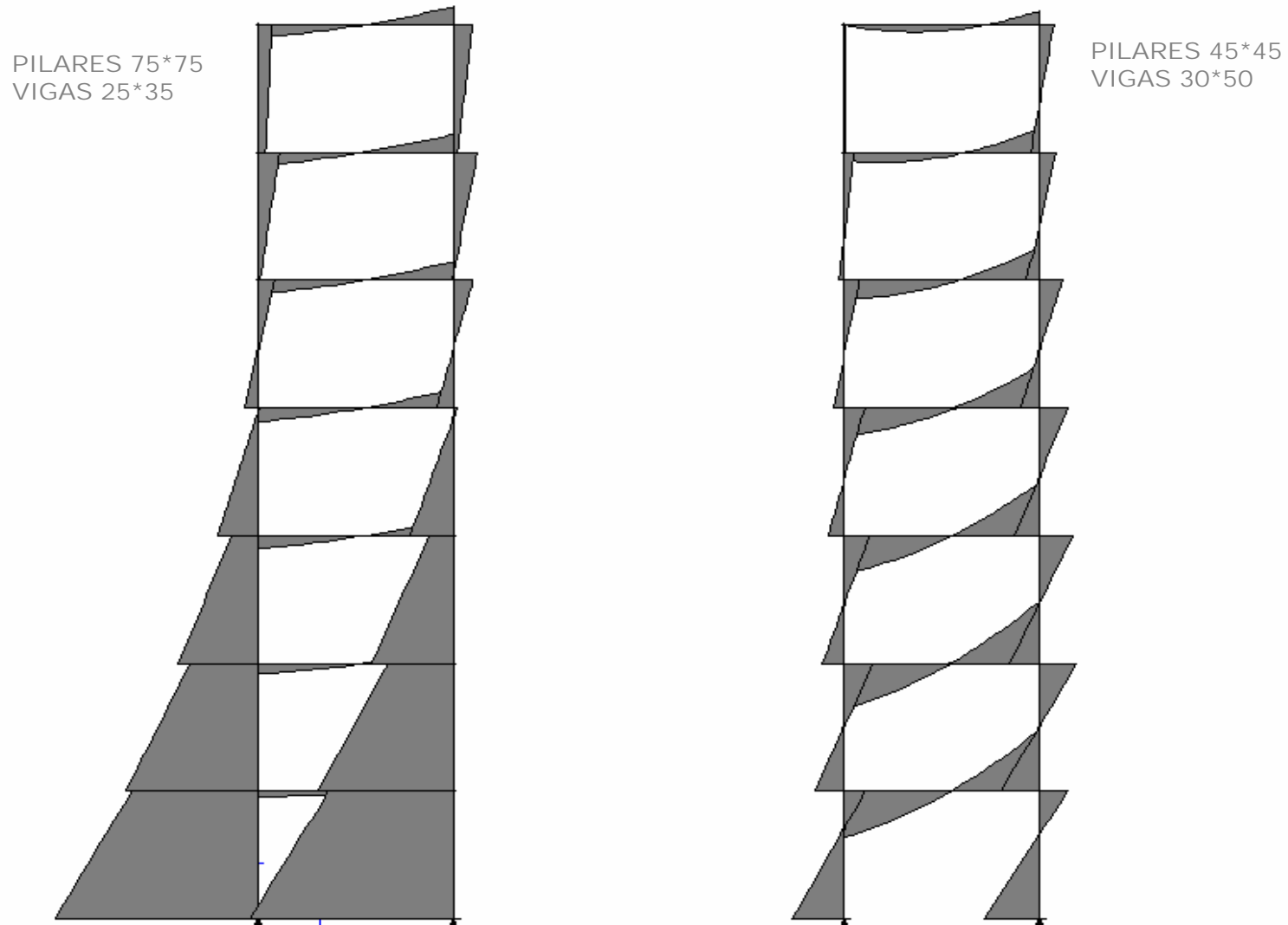
Porticos frente acciones verticales y horizontales: Cortantes

Comportamiento de pórticos



Porticos frente acciones verticales y horizontales: desplazamientos

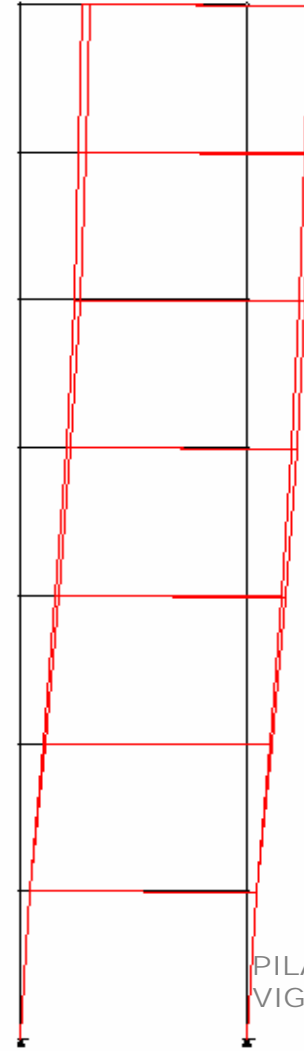
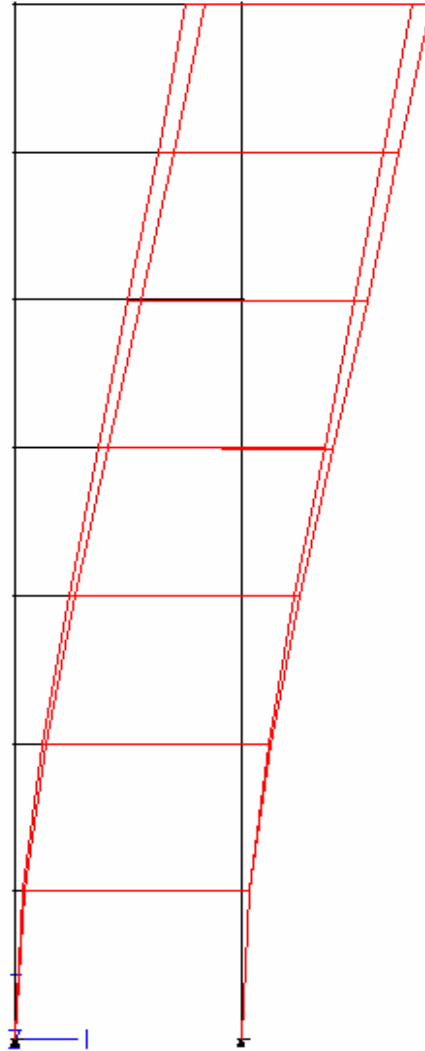
Comportamiento de pórticos



Momento en barras, tamaños de pilar y de dintel.

Comportamiento de pórticos

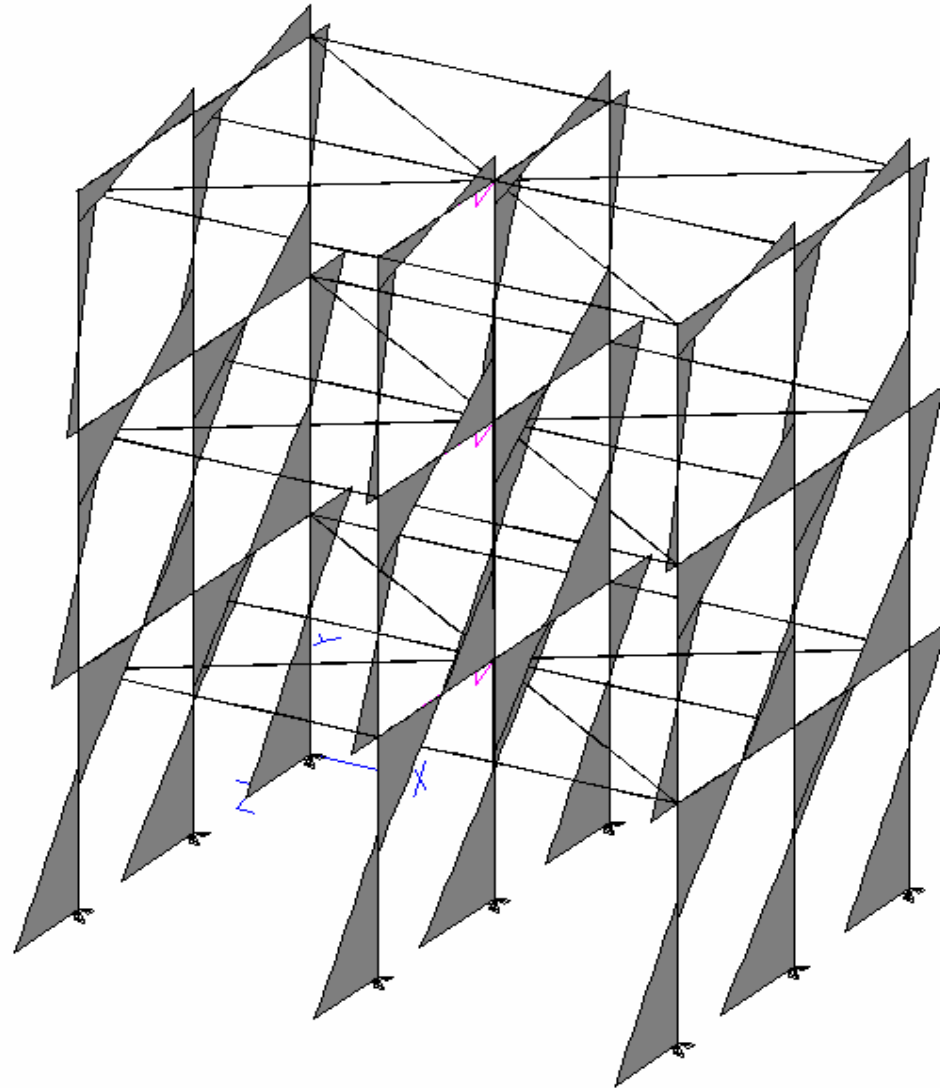
PILARES 75*75
VIGAS 25*35



PILARES 45*45
VIGAS 30*50

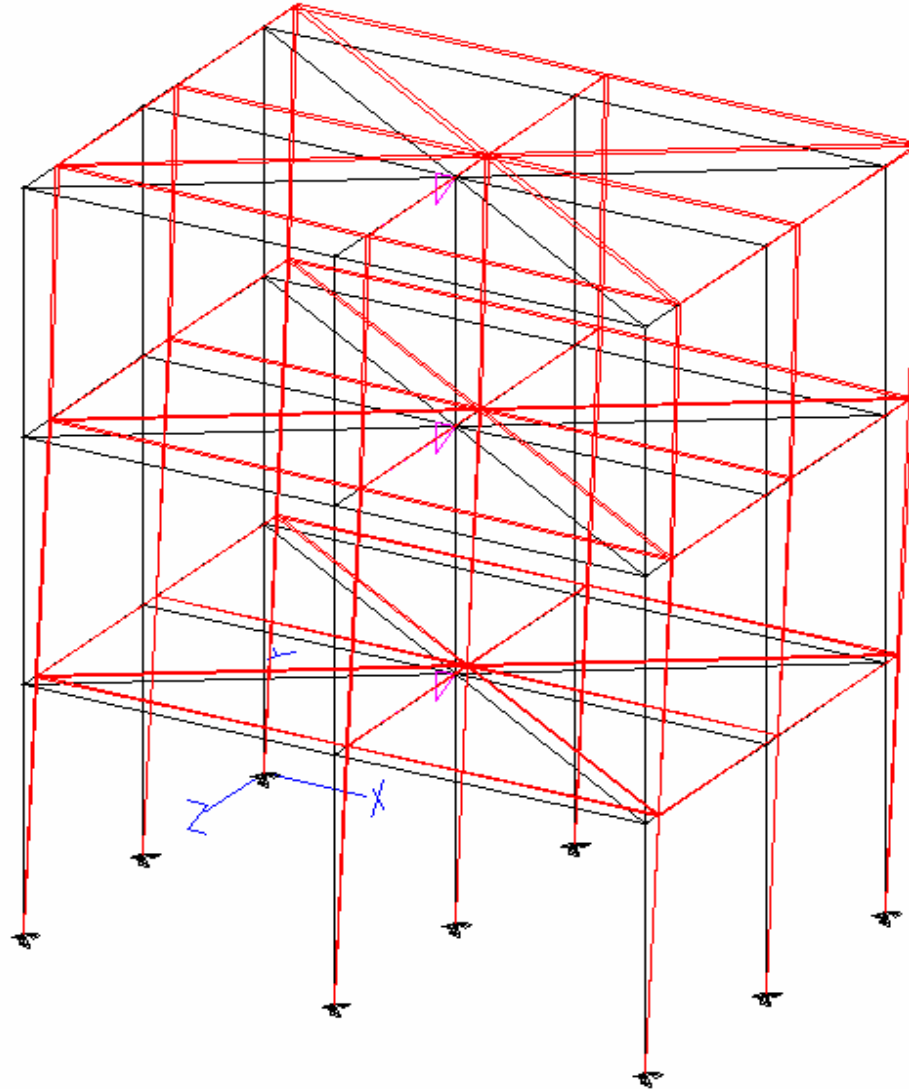
Desplazamiento de pórticos, tamaños de pilar y de dintel.

Comportamiento de pórticos



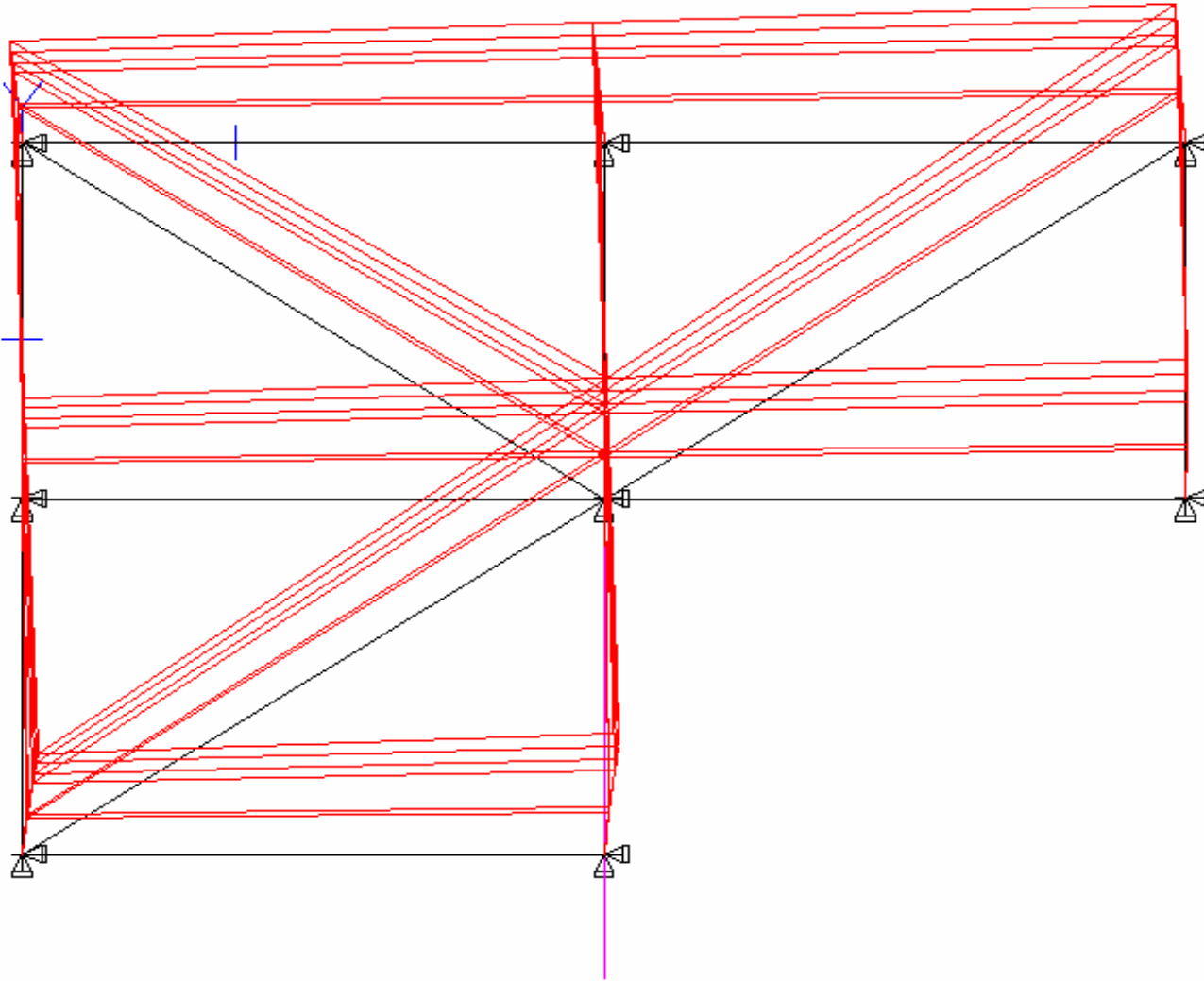
Reparto de cargas horizontales

Comportamiento de pórticos



Desplazamiento con carga simétrica

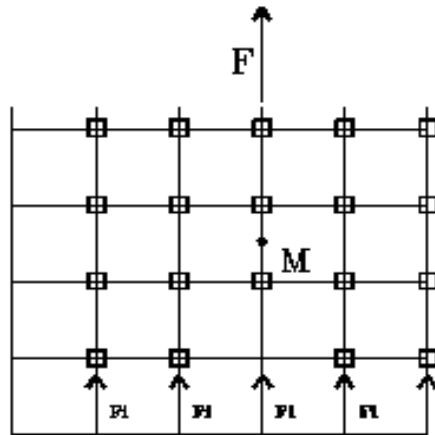
Comportamiento de pórticos



Desplazamiento con planta asimétrica

Comportamiento de pórticos

TORSION



M centro de masas de la estructura.

En estructuras simétricas las fuerzas horizontales se reparten entre los pórticos en función de sus rigideces considerando estas como la rigidez del modelo de cortante de la NSCE.

Para ello es necesario que el forjado se pueda considerar rígido en su plano.

$$F_i = K_i \cdot F / \sum K_i$$

La resultante de las fuerzas horizontales se considera aplicada en M.

El centro de torsión G es el punto por donde pasa la resultante de los esfuerzos cortantes de cada pilar, si no coincide con M, se produce un momento torsor.

CENTRO DE ROTACION G

$$X_{mg} = \frac{\sum K_i \cdot X_i}{\sum K_i} \quad Y_{mg} = \frac{\sum K_j \cdot Y_j}{\sum K_j}$$

INERCIA POLAR

$$J = \sum K_i \cdot X_i^2 + \sum K_j \cdot Y_j^2$$

Efecto de torsión

Pórticos Planos

- Diseño

- Plantear una modulación básica que recoja:
 - Líneas maestras del proyecto.
 - Exigencias fundamentales del tipo estructural (económicos, tecnología disponible...)
- Ante acciones horizontales la respuesta (M, T, d) decrece proporcionalmente al número de soportes.
- El coste de los pilares de acero es el triple que el de los pilares de hormigón.
- Los pórticos deben ser planos y no serpenteantes.
- Conviene que los pórticos sean paralelos, para no complicar la ejecución de los forjados.
- Un esquema sinuoso y con muchos brochales indica que el sistema estructural no es el más apropiado.
- Con vigas de canto, disponer el forjado en la dirección de menor luz. Con vigas planas disponer el forjado en la dirección de luz mayor.
- Plantear desde el comienzo las soluciones constructivas (retranqueos, albañilería...)

Pórticos Planos

- **Diseño**

- **Forjado**

- In situ

- Losas Macizas de hormigón

- Losas nervadas

- Parcialmente prefabricados

- Forjados con viguetas, bovedillas y hormigón “in situ”.

- Forjados con semiviguetas, bovedillas y hormigón “in situ”.

- Forjados con losas alveolares y hormigón “in situ”.

- **Se recomienda:**

- Disponer el forjado de toda la planta con los nervios orientados en una sola dirección.

- Elegir el mismo canto para toda la planta.

- Tratamiento de bordes en huecos y perímetro.

Pórticos Planos

- Predimensionado

- Forjado: según EFHE art. 15.2.2 y EHE art. 50.2.2.1

- Pilares

- Como regla general, conviene proyectar para armado mínimo, aprovechando al máximo el hormigón.

- Acciones principalmente verticales.

- Acciones horizontales importantes.

- Vigas

Predimensionado

- Pilares

- $a > 25$

- Esbeltez:

- $\lambda_m < 35$

- $\lambda_g < 10$

- En general, para $h > 300\text{cm}$, $a > 30\text{cm}$

- Para acciones verticales: métodos geométricos

- $a^2 = N_s / (100\beta)$

- $N_d / A_c < 0.47 f_{ck}$

- $v = N_d / (b \cdot h \cdot f_{cd}) = 0.8 - 1$ para soportes con momentos pequeños

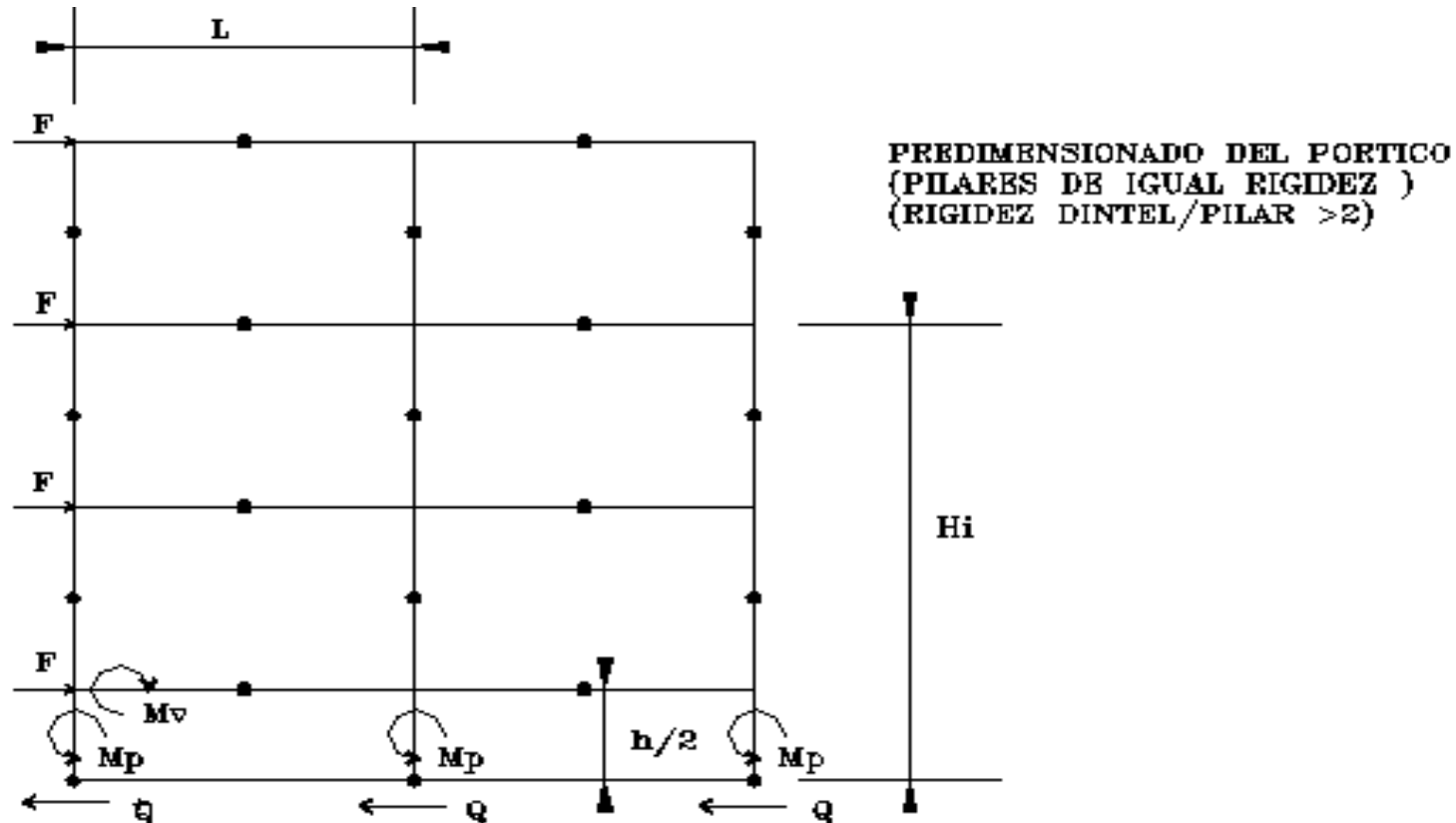
- $v = N_d / (b \cdot h \cdot f_{cd}) = 0.5 - 0.6$ para soportes con momentos importantes

- Para acciones horizontales importantes.

- Método del portal.

- Métodos iterativos con limitación de desplazamientos.

Metodo del portal



N

$$N = \sum F_i H_i / 2L$$

$$q = \sum F / 3$$

$$M_p = q h / 2$$

$$M_v = M_{pi} - M_{p(i-1)}$$

N

Flecha portico = \sum Flecha pilar (aprox y por defecto)

$$\text{Flecha pilar} = FH^3 / 3EI - M_p \frac{h}{2} EI$$

Predimensionado

- Vigas

- Utilización de prontuarios para estimación de momentos

- Vigas de canto

- $h = 2 \cdot b$

- Canto = $L/12 - L/15$

- Momento reducido $\mu = M_d / (U_0 \cdot d) = 0.2 - 0.30$

- Vigas planas

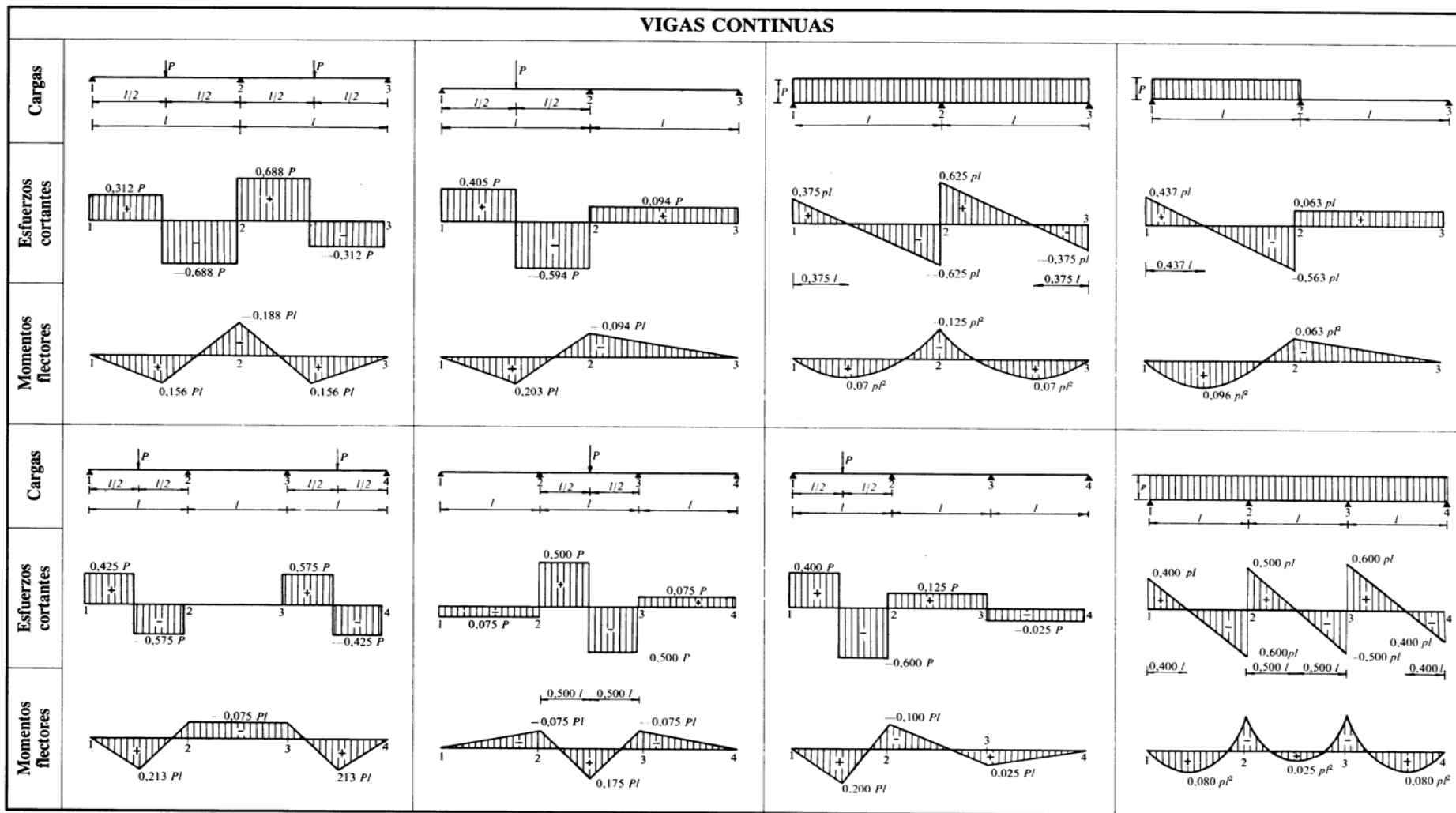
- Anchos de 30 a 80 cm

- Momento reducido $\mu = 0.30 - 0.35$

Predimensionado de vigas

CÁLCULOS ESTRUCTURALES EN VIGAS

VIGAS CONTINUAS



Predimensionado de vigas

VIGAS EN VOLADIZO			
Diagramas	Esfuerzos cortantes	Momentos flectores	Flechas
	$Q_B = -P$ $Q_{AC} = 0$ $Q_{CB} = -P$	$M_{AC} = 0$ $M_B = -Pb$ $M_{CB} = -P(x - a)$	$f_c = \frac{Pb^3}{3EI}$ $f_A = \frac{Pb^2}{6EI}(2b + 3a)$
	$Q_B = -P$ $Q_x = -Px$	$M_x = -Px$ $M_B = -Pl$	$f_A = \frac{Pl^3}{3EI}$
	$Q_B = -pl$ $Q_x = -px$	$M_x = -p \frac{x^2}{2}$ $M_B = -p \frac{l^2}{2}$	$f_A = \frac{pl^4}{8EI}$
	$Q_B = -\frac{pl}{2}$ $Q_x = -\frac{px}{2}(2l - x)$	$M_x = -\frac{px^2}{6l}(3l - x)$ $M_B = -\frac{pl^2}{3}$	$f_A = \frac{11pl^4}{120EI}$
	$Q_B = Q_{DB} = -pc$ $Q_{AC} = 0$ $Q_{CD} = -p(x - a + \frac{c}{2})$	$M_D = -\frac{pc^2}{2}; M_B = -pcb$ $M_{AC} = 0; M_{DB} = -pc(x - a)$ $M_{CD} = -\frac{p(x - a + \frac{c}{2})^2}{2}$	$f_D = \frac{pc}{6EI} \left[(b - \frac{c}{2})^2 (\frac{b}{3} + \frac{c}{12}) \right]$ $f_A = \frac{pc}{6EI} \left[a(3b^2 + \frac{c^2}{4}) + 2b^3 \right]$ $f_C = \frac{pc}{12EI} \left[(b + \frac{c}{2})^2 (4b - c) + c^3 \right]$

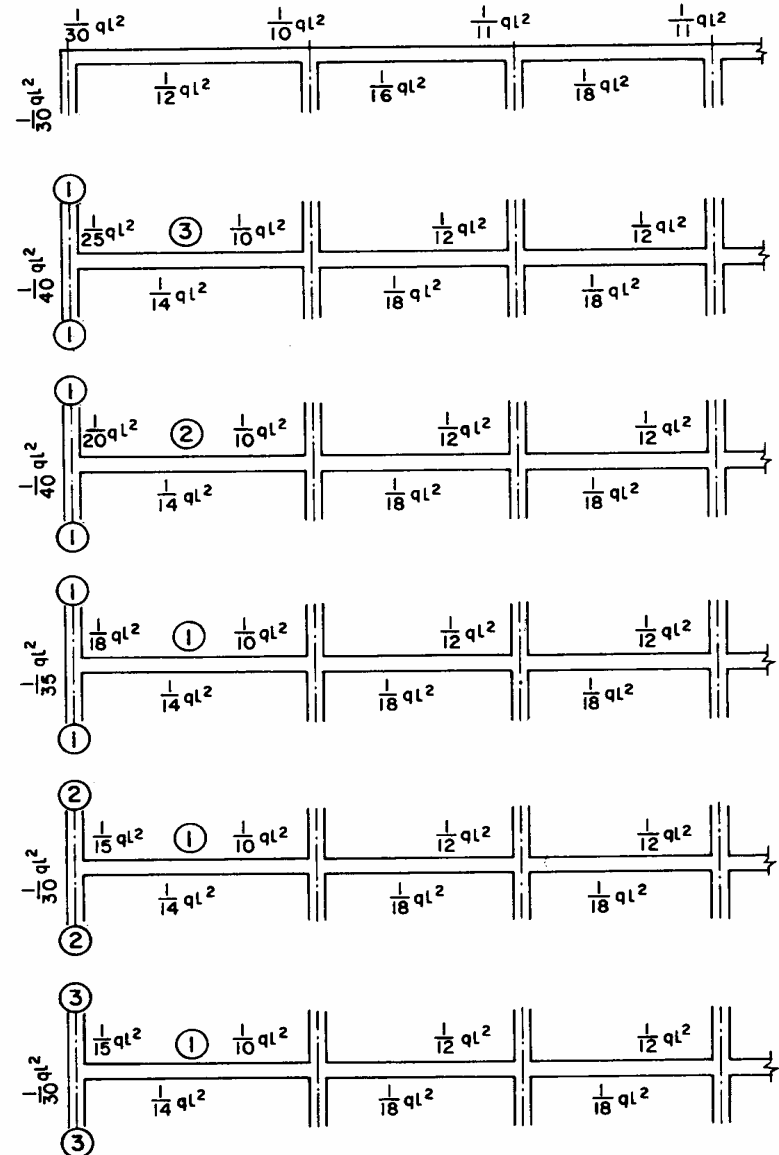
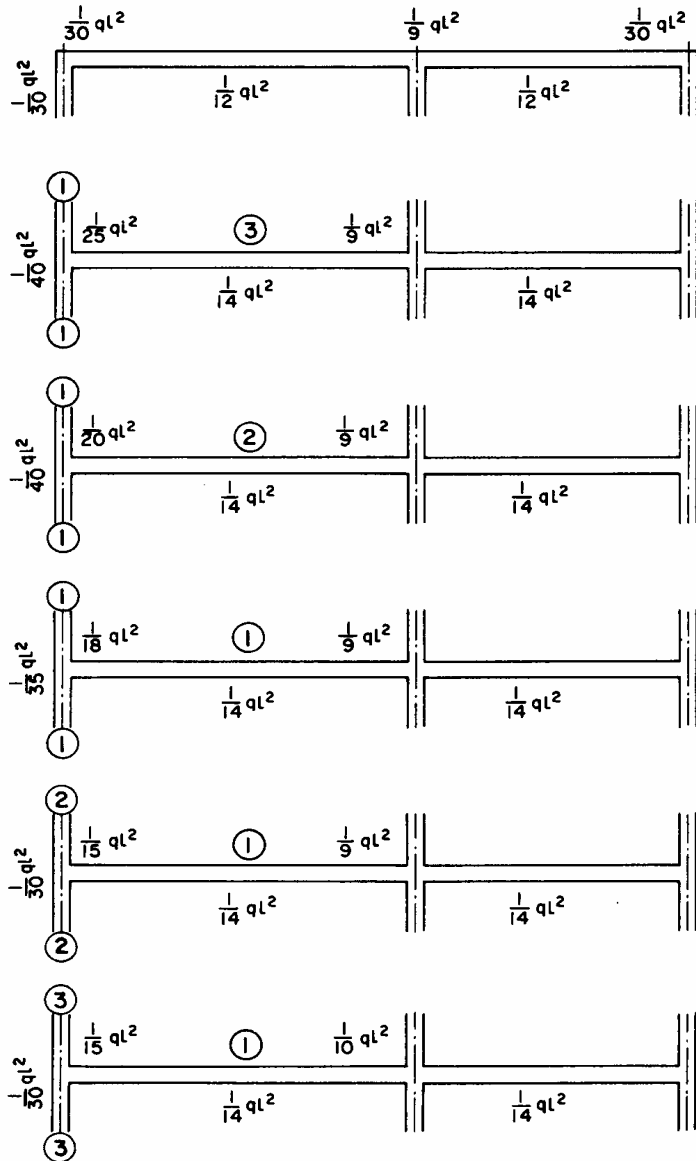
VIGAS APOYADAS			
Diagramas	Esfuerzos cortantes	Momentos flectores	Flechas
	$Q_A = Q_{AC} = \frac{Pb}{l}$ $Q_B = Q_{CB} = -\frac{Pa}{l}$	$M_{AC} = \frac{Pb}{l}x$ $M_{CB} = \frac{Pa}{l}(l - x)$ $M_{max} = M_C = \frac{Pab}{l}$ para $x_0 = a$	$f_{max} = \frac{Pb}{9EI\sqrt{3}}(l^2 - b^2)^{3/2}$ para $x = \sqrt{\frac{l^2 - b^2}{3}}$
	$Q_A = Q_{AC} = \frac{P}{2}$ $Q_B = Q_{CB} = -\frac{P}{2}$	$M_{AC} = \frac{P}{2}x$ $M_{CB} = \frac{P}{2}(l - x)$ $M_{max} = M_C = \frac{Pl}{4}$ para $x_0 = \frac{l}{2}$	$f_c = \frac{Pl^3}{48EI}$
	$Q_A = \frac{pl}{2}$ $Q_B = -\frac{pl}{2}$ $Q_x = p(\frac{l}{2} - x)$	$M_x = \frac{px}{2}(l - x)$ $M_{max} = \frac{pl^2}{8}$ para $x_0 = \frac{l}{2}$	$f_{max} = \frac{5pl^4}{384EI}$ para $x = \frac{l}{2}$
	$Q_A = \frac{pl}{6}$ $Q_B = -\frac{pl}{3}$ $Q_x = \frac{pl}{6}(1 - 3\frac{x^2}{l^2})$	$M_x = \frac{pl}{6}x(1 - \frac{x^2}{l^2})$ $M_{max} = \frac{pl^2}{9\sqrt{3}}$ para $x_0 = \frac{l}{\sqrt{3}}$	$f_{max} = 0.00652 \frac{pl^4}{EI}$ para $x = 0.5193l$
	$Q_A = Q_{AC} = \frac{pbc}{l}$ $Q_B = Q_{DB} = -\frac{pac}{l}$ $Q_{CD} = \frac{pbc}{l} - p(\frac{c}{2} - a + x)$	$M_{AC} = \frac{pbc}{l}x$ $M_{CD} = \frac{pbc}{l}x - \frac{p}{2} \left[x - (a - \frac{c}{2}) \right]^2$ $M_{DB} = \frac{pac}{l}(l - x)$ $M_{max} = \frac{pbc}{2l}(2a - c + \frac{bc}{l})$ para $x_0 = a - \frac{c}{2} + \frac{bc}{l}$	

Predimensionado de vigas

VIGAS APOYADAS-EMPOTRADAS			
Diagramas	Esfuerzos cortantes	Momentos flectores	Flechas
	$Q_A = Q_{AC} = \frac{Pb^2}{2l^3}(3l - b)$ $Q_B = Q_{CB} = -\frac{Pa}{2l^3}(3l^2 - a^2)$	$M_{AC} = \frac{Px}{2l^3}b^2(3a + 2b)$ $M_B = -\frac{Pa}{2l^3}(l^2 - a^2)$ $M_{CB} = \frac{Pa}{2l^3}(2l^3 - 3l^2x + a^2x)$ $M_C = \frac{Pa}{2l^3}b^2(3a + 2b)$	$f_{max} = \frac{Pb^2a}{6EI} \sqrt{\frac{a}{2l+a}}$ <p>para $x = l \sqrt{\frac{a}{2l+a}}$</p>
	$Q_A = Q_{AC} = \frac{5}{16}P$ $Q_B = Q_{CB} = -\frac{11}{16}P$	$M_{AC} = \frac{5}{16}Px$ $M_B = -\frac{3}{16}Pl$ $M_{CB} = \frac{Pl}{16} \left(11 \frac{l-x}{l} - 3 \right)$ $M_C = \frac{5}{32}Pl$	$f_{max} = \frac{Pl^3}{48\sqrt{5}EI}$ <p>para $x = \frac{l}{\sqrt{5}}$</p> $f_c = \frac{7Pl^3}{768EI}$
	$Q_A = \frac{3}{8}pl$ $Q_B = -\frac{5}{8}pl$ $Q_x = pl \left(\frac{3}{8} - \frac{x}{l} \right)$	$M_x = \frac{px}{8}(3l - 4x)$ $M_B = -\frac{pl^2}{8}$ $M_{max,rel} = \frac{9}{128}pl^2$ <p>para $x = \frac{3}{8}l$</p> $M = 0 \text{ para } x = \frac{3}{4}l$	$f_{max} = \frac{pl^4}{185EI}$ <p>para $x = \frac{l + \sqrt{33}}{16}l$</p>
	$Q_A = \frac{11}{40}pl$ $Q_B = -\frac{9}{40}pl$ $Q_x = \frac{p}{40l}(20x^2 - 40xl + 11l^2)$	$M_x = \frac{pl^2}{120} \left[27 \frac{l-x}{l} - 20 \left(\frac{l-x}{l} \right)^3 - 7 \right]$ $M_B = -\frac{7}{120}pl^2$ $M_{max,rel} = \frac{pl^2}{600}(27\sqrt{5} - 35)$ <p>para $x = \left(1 - \frac{3}{2\sqrt{5}} \right)l$</p>	$f_{max} = 0,003 \frac{pl^4}{EI}$ <p>para $x = 0,598l$</p>
	$Q_A = Q_{AC} = \frac{pbc}{l} + \frac{M_B}{l}$ $Q_B = Q_{DB} = -\frac{pac}{l} + \frac{M_B}{l}$ $Q_{CD} = Q_A - p \left(x - a + \frac{c}{2} \right)$	$M_{AC} = Q_A \cdot x$ $M_{CD} = Q_A \cdot x - \frac{p}{2} \left(x - a + \frac{c}{2} \right)^2$ $M_{DB} = -Q_B(l - x) + M_B$ $M_B = -\frac{pac}{2l^2} \left(l + a - \frac{c^2}{4b} \right)$	

VIGAS EMPOTRADAS			
Diagramas	Esfuerzos cortantes	Momentos flectores	Flechas
	$Q_A = Q_{AC} = \frac{Pb^2}{l^3}(l + 2a)$ $Q_B = Q_{CB} = -\frac{Pa^2}{l^3}(l + 2b)$	$M_A = -\frac{Pab^2}{l^2}; M_B = -\frac{Pa^2b}{l^2}$ $M_{AC} = \frac{Pb^2}{l^3}(lx + 2ax - al)$ $M_{CB} = \frac{Pa^2}{l^3}(lb + l^2 - lx - 2bx)$ $M_C = \frac{2Pa^2b^2}{l^3} \text{ para } x_0 = a$	$f_{max} = \frac{2Pb^2a^3}{3EI(l + 2a)^2}$ <p>para $x = \frac{2al}{l + 2a}$</p> $f_c = \frac{Pa^2b^3}{3EI^3}$
	$Q_A = Q_{AC} = \frac{P}{2}$ $Q_B = Q_{CB} = -\frac{P}{2}$	$M_A = M_B = -\frac{Pl}{8}$ $M_{AC} = \frac{Pl}{8} \left(4 \frac{x}{l} - 1 \right)$ $M_{CB} = \frac{Pl}{8} \left(\frac{3l}{4} - x \right)$ $M_{max} = M_C = \frac{Pl}{8}$ <p>para $x_0 = \frac{l}{2}$</p>	$f_c = \frac{Pl^3}{192EI}$
	$Q_A = \frac{pl}{2}$ $Q_B = -\frac{pl}{2}$ $Q_x = \frac{p}{2}(l - 2x)$	$M_A = M_B = -\frac{pl^2}{12}$ $M_x = -\frac{p}{12}(l^2 - 6lx + 6x^2)$ $M_{max} = \frac{pl^2}{24} \text{ para } x = \frac{l}{2}$ $M_x = 0 \text{ para } x_0 = 0,2113l$	$f_{max} = \frac{pl^4}{384EI}$ <p>para $x = \frac{l}{2}$</p>
	$Q_A = \frac{3}{20}pl$ $Q_B = -\frac{7}{20}pl$ $Q_x = \frac{p}{20l}(3l^2 - 10x^2)$	$M_A = -\frac{pl^2}{30}; M_B = -\frac{pl^2}{20}$ $M_x = Q_A \cdot x + M_A - \frac{px^2}{6l}$ $M_{max} = \frac{pl^2}{30}(-1 + 3\sqrt{0,3})$ <p>para $x_0 = l\sqrt{0,3}$</p> $M_x = 0 \text{ para } \begin{cases} x_0 = 0,237l \\ x_0 = 0,809l \end{cases}$	$f_{max} = -\frac{pl^4}{764EI}$ <p>para $x = \frac{2l}{40}$</p>
	$Q_A = Q_{AC} = \frac{pbc}{l} - \frac{M_A - M_B}{l}$ $Q_B = Q_{DB} = -\frac{pac}{l} - \frac{M_A - M_B}{l}$ $Q_{CD} = Q_A - p \left(x - a + \frac{c}{2} \right)$	$M_A = -\frac{pc^3}{12l^2} \left(l - 3b + \frac{12ab^2}{c^2} \right)$ $M_B = -\frac{pc^3}{12l^2} \left(l - 3a + \frac{12a^2b}{c^2} \right)$ $M_{AC} = Q_A \cdot x + M_A$ $M_{CD} = Q_A \cdot x + M_A - \frac{p}{2} \left(x - a + \frac{c}{2} \right)^2$ $M_{DB} = -Q_B(l - x) + M_B$	

Predimensionado de vigas

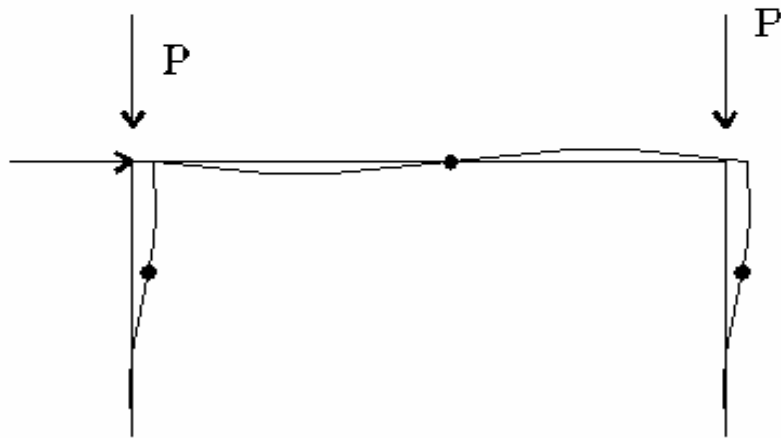


Inestabilidad

ESTABILIDAD DE PORTICOS

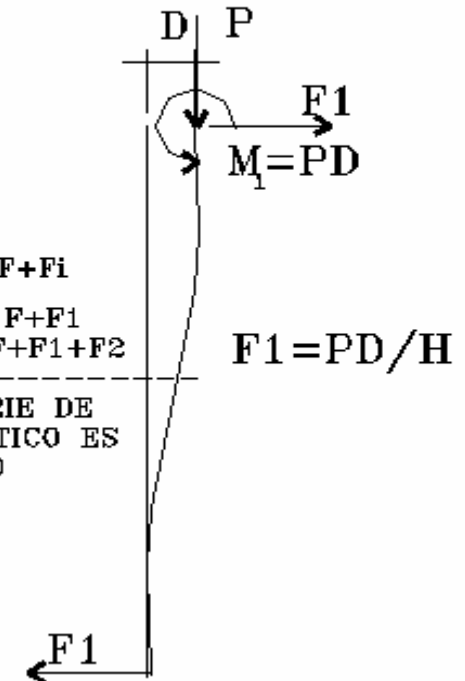
Limitacion de Desplazamientos

La estabilidad del pórticos es el motivo de las limitaciones de los desplazamientos horizontales, para evitar comprobaciones de segundo orden, (no linealidad geométrica)



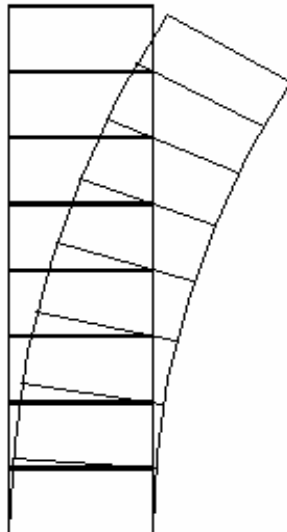
CICLO	F	$F_i=PD/H$	$F+F_i$
1	F	F_1	$F+F_1$
2	$F+F_1$	F_2	$F+F_1+F_2$

SI NO CONVERGE LA SERIE DE $F, F+F_1, F+F_1+F_2$ EL PORTICO ES INESTABLE EN CONJUNTO (PANDEO GLOBAL)



Inestabilidad

PANDEO GLOBAL



SIMPLIFICACIONES
1.CARGA CRITICA TOTAL
2.FACTOR DE MAGNIFICACION DEL MOMENTO LINEAL M

CARGA CRITICA TOTAL DE UNA TORRE

$$P_{cr} = (7.8 EI_o / H^3) (1 - 0.3B)$$

$I_o = \sum A_i X_i^2$ (rigidez simplificada a cortante)
 X_i = distancia de cada pilar al edg del portico
 $B = 1 - EI(\text{Top}) / EI_o$

FACTOR DE MAGNIFICACION

$$M(\text{total}) = M \left(1 + \frac{PD}{M - PD} \right)$$

PANDEO LOCAL



$$P_{cr} = F_i h / 12.2 D_i \text{ (POR CORTANTE)}$$

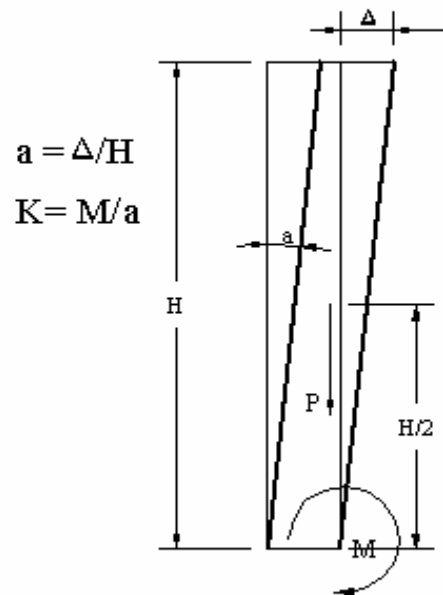
P_{cr}, F_i, h, D_i , se refieren a la planta considerada. Siendo D_i el desplazamiento relativo entre cabeza y base de un pilar

En la NSCE-94

$$P_{cr} = 0.10 F_i h / D_i$$

Fenómenos de segundo orden

DESPLAZAMIENTO EN CORONACIÓN Y MAGNIFICACION DEL MOMENTO DE VUELCO (EFECTO P-Δ)



DESPLAZAMIENTOS Y EFECTO P-Δ

$$b = \frac{M_1}{M} \frac{M_2}{M_1} \frac{M_3}{M_2} \frac{M_4}{M_3} \dots$$

$$M_f = M + M_1 + M_2 + \dots$$

$$M_f = M(1 + b^2 + b^4 + \dots)$$

$$M_f = M \left(\frac{1}{1 - b} \right) \text{ FACTOR DE MAGNIFICACION}$$

EL DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL PROVOCA EL DESCENTRAMIENTO DE LAS CARGAS VERTICALES ESTA EXCENTRICIDAD INDUCE UN MOMENTO DE VUELCO DE SEGUNDO ORDEN, QUE DESCENTRA NUEVAMENTE LAS CARGAS Y ASI SUCESIVAMENTE.

SE ESTUDIA ESTE PROBLEMA MEDIANTE UN FACTOR QUE MAYORA EL MOMENTO INICIAL. BASANDONOS EN RIGIDEZ CONSTANTE Y POR LO TANTO PROPORCIONALIDAD MOMENTOS/DESPLAZMTC SE LLEGA LA PRPORCIONALIDAD ENTRE MOMENTOS, FACTOR b.

A PARTIR DE AHI SE DEDUCE EL FACTOR DE AMPLIFICACIÓN MEDIANTE LA SUMA DE LA SERIE QUE NOS DA EL MOMENTO FINAL EN FUNCIÓN DEL INICIAL.

SI b SE ACERCA A LA UNIDAD LA SERIE NO CONVERGE Y LA ESTRUCTURA ES INESTABLE. EN ESTRUCTURAS NORMALES EL FACTOR DE MAGNIFICACION SE SITUA EN TORNO AL 10%