

CONSTRUCCIONES SISMORRESISTENTES

ACCIÓN SÍSMICA SOBRE LAS CONSTRUCCIONES

Respuesta de las construcciones





COMPORTAMIENTO (RESPUESTA) DEL EDIFICIO

- ♦ Fuerzas de inercia
- ♦ Acción dinámica $\Leftrightarrow$ Respuesta dinámica
(Período – Resonancia - Amortiguamiento)
- ♦ Evaluación de la respuesta del edificio:
espectros y métodos
- ♦ Ductilidad. Resistencia. Rigidez. Torsión
- ♦ Elementos NO estructurales:
*cerramientos, panelería, carpinterías, amoblamientos,
instalaciones, ductos, escaleras, maquinaria,*

COMPORTAMIENTO EDIFICIO – Fuerzas de inercia

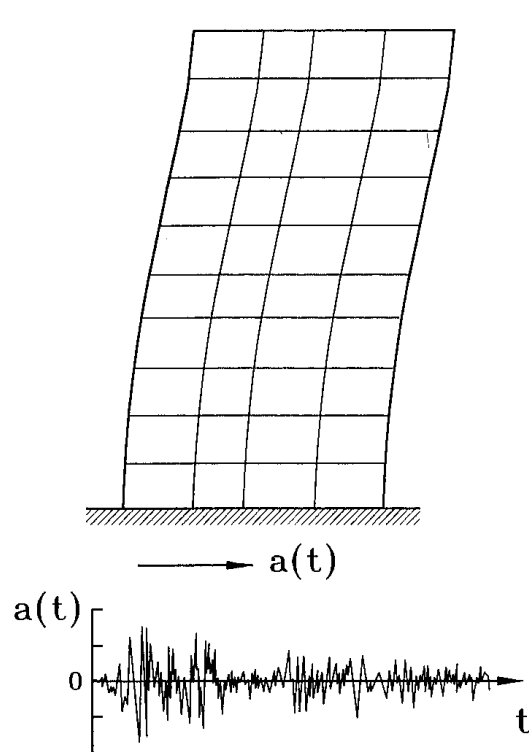


El edificio tiende a mantener el estado de equilibrio (en reposo o en movimiento) en el que se encuentra.

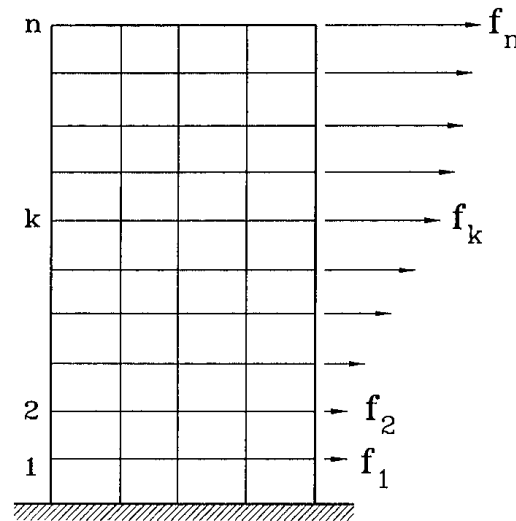
El movimiento del suelo modifica ese estado generando aceleraciones en cada componente del edificio, por lo que las masas reciben una fuerza proporcional a la aceleración impuesta.

La acción no es constante, varía rápidamente en el tiempo y termina también bruscamente, por lo que el edificio se SACUDE. (Como el domador en el lomo del potro)

La aceleración varía también en altura, por lo que cada masa recibirá diferente impulso.



(a) caso real

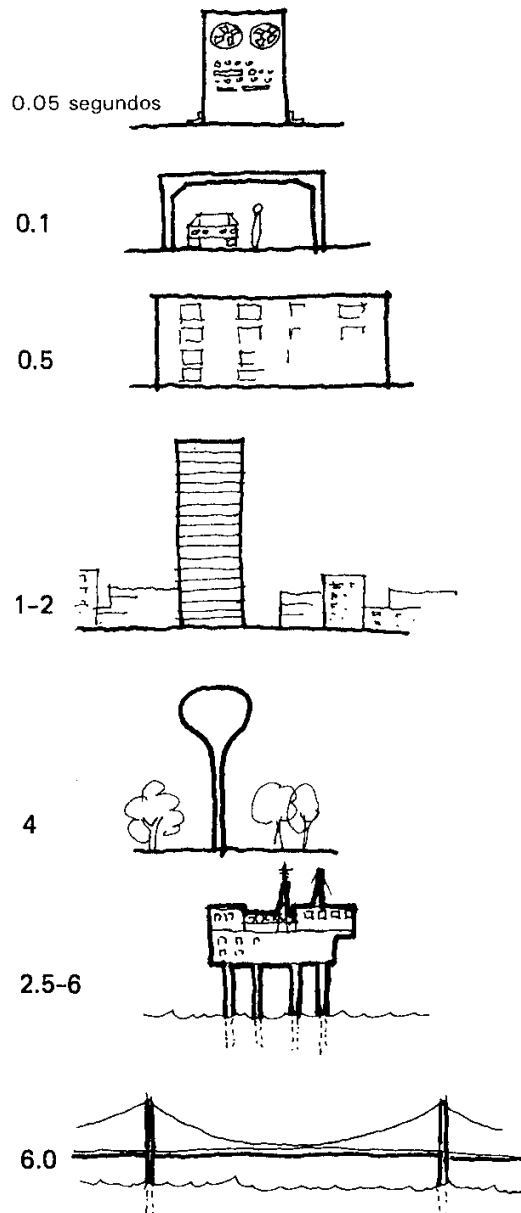


$$F_k = m_k \cdot a_k(t)$$

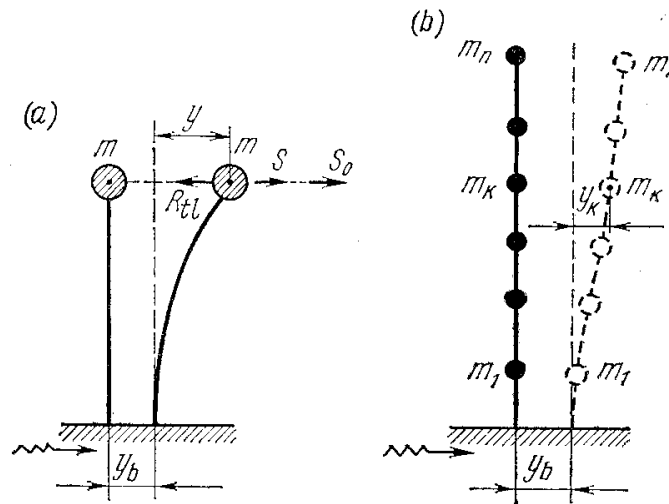
(b) fuerzas laterales equivalentes

COMPORTAMIENTO EDILICIO

Acción dinámica = Respuesta dinámica



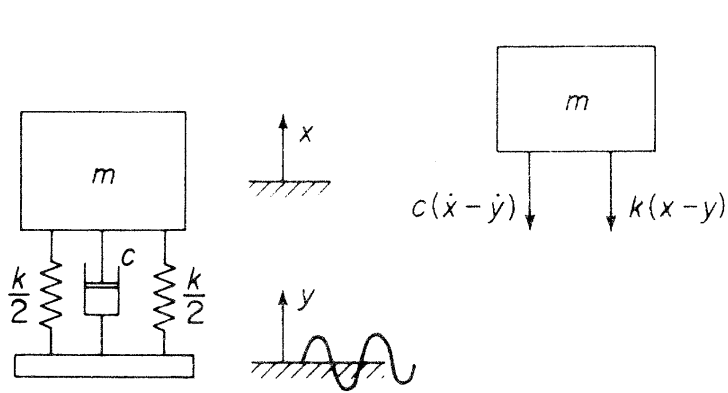
- Una construcción es un sistema con características dinámicas propias: período (T_0) frecuencia (ω_0), amortiguamiento (ξ) y modos (X_j , T_j , ω_j).
- Grados de libertad del sistema: es el número de coordenadas necesarias para describir su movimiento (en general coincide con el número de masas definidas por las coordenadas analizadas)



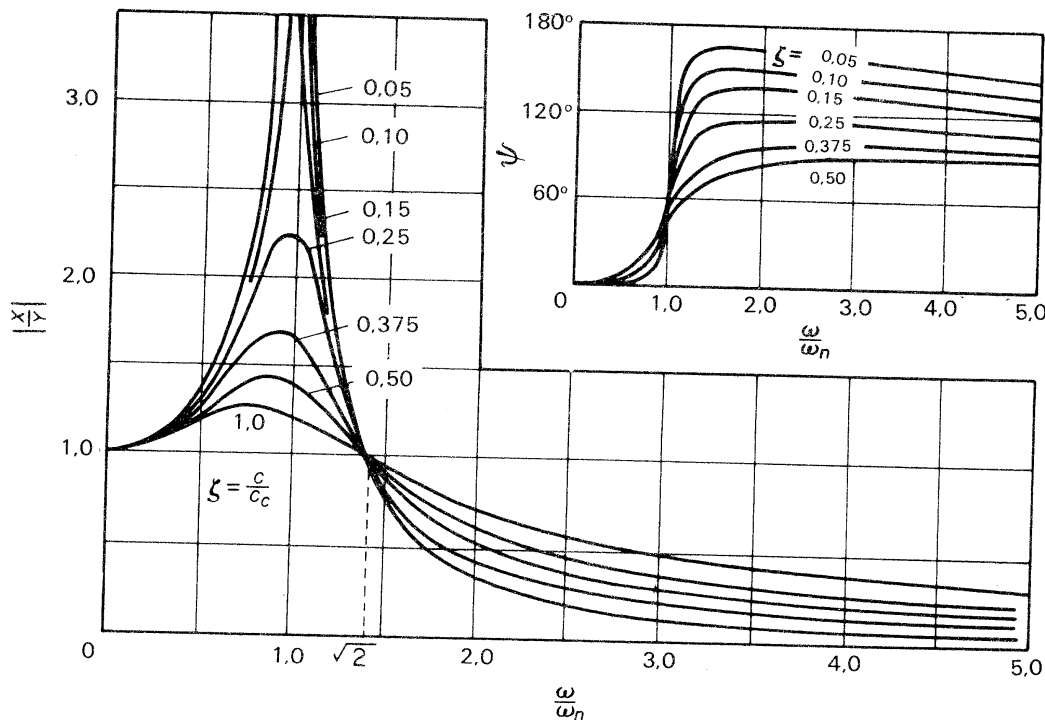
Vibration of a single-degree-of-freedom system (a) and a multi-degree-of-freedom system (b) induced by vibration of the base

COMPORTAMIENTO EDILICIO

Acción dinámica = Respuesta dinámica



La construcción es impelida por un movimiento armónico de la base. Las respuestas dependen de la relación entre la frecuencia del movimiento (ω) y la del edificio (ω_n) y del grado de amortiguamiento del sistema (ξ)



Cuando coinciden ($\omega = \omega_n$) se produce **resonancia**, los desplazamientos se incrementan hasta el infinito (ideal) o valores muy elevados (realidad)

¿Cómo procedemos? Si cada construcción tiene su propia respuesta....

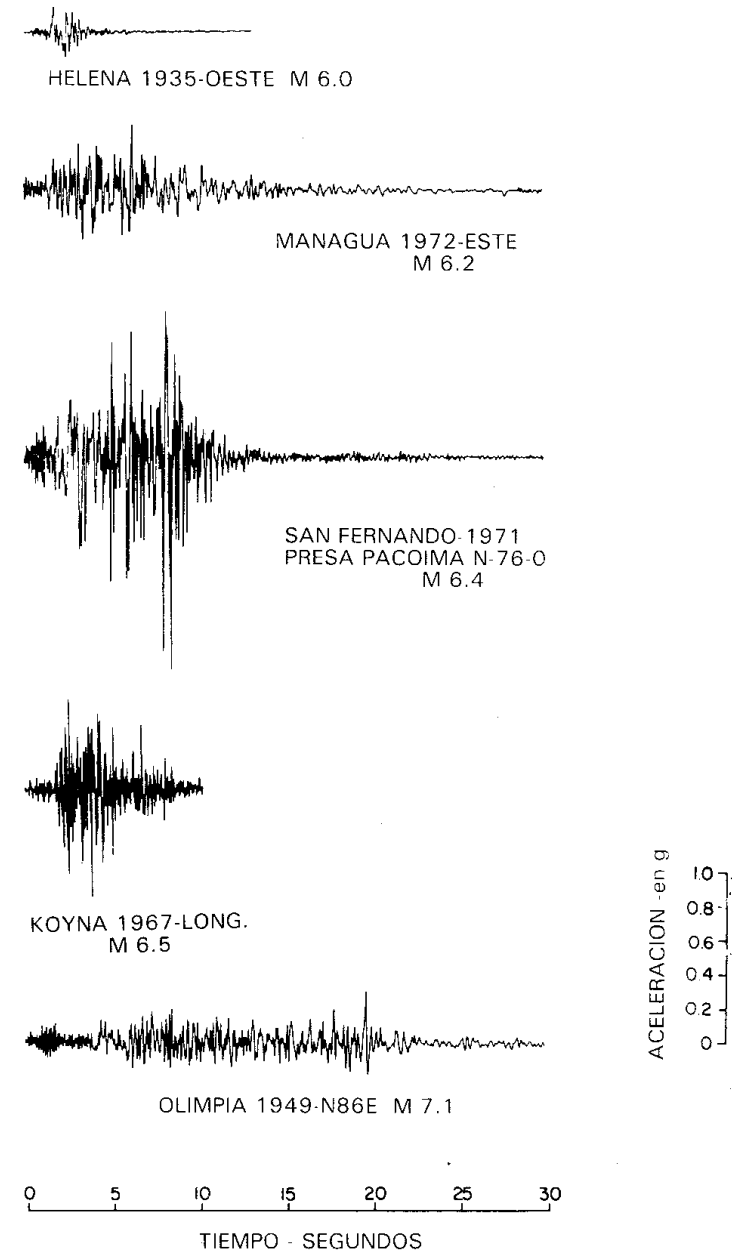
COMPORTAMIENTO EDILICIO

Evaluación de la respuesta del edificio: espectros



Con cada sismo se obtiene un acelerograma particular. Para conocer la respuesta de diversas estructuras (con particular período y amortiguamiento) se prepara una carta que muestra las respuestas para diferentes períodos.

Figura 2.10 Acelerogramas comparativos para varios temblores. Nótese que todos están a la misma escala. [Dibujos reproducidos, con autorización, de D.E. Hudson, *Reading and Interpreting Strong Motion-Accelerograms* (Berkeley: Earthquake Engineering Research Institute, 1979).]



COMPORTAMIENTO EDILICIO

Evaluación de la respuesta del edificio: espectros

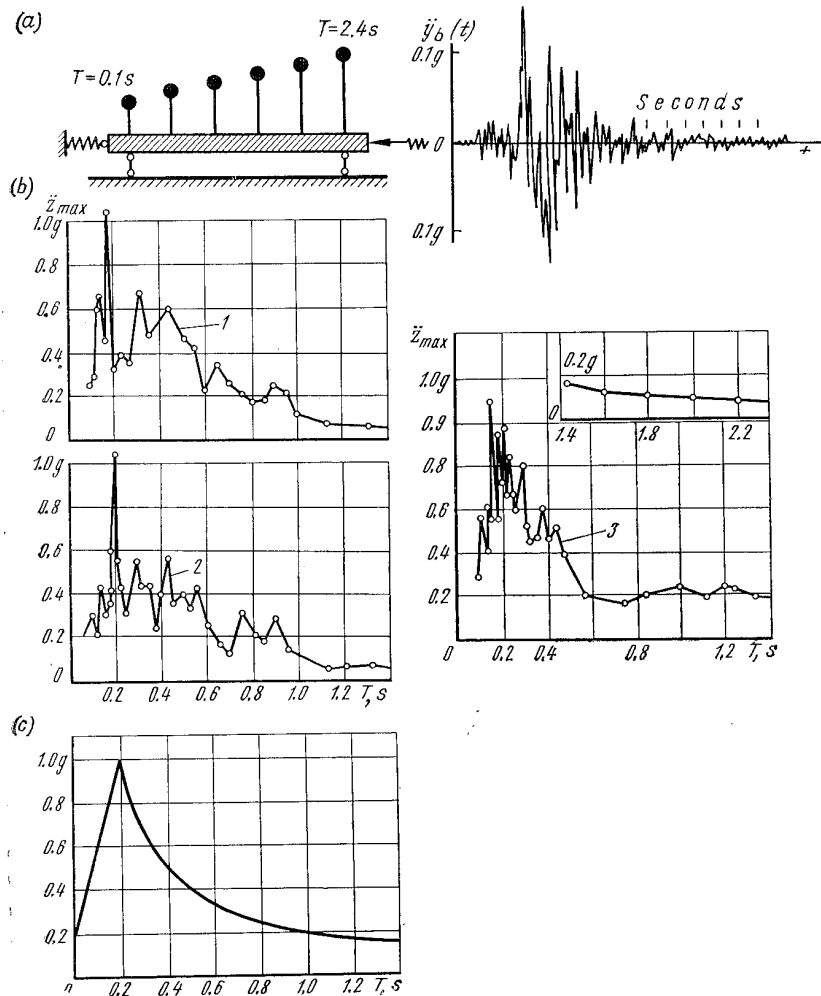


Fig. 3-1. Acceleration spectra plotted by Biot method
(a) schema of simulating device and example of an acceleration diagram of motion of the platform simulating an earthquake; (b) acceleration spectra; 1—Ferndale, California, 1938 in a north-east direction; 2—the same in a south-east direction; 3—Montana, 1935 in an eastern direction; (c) standard acceleration spectrum

Espectro según Biot

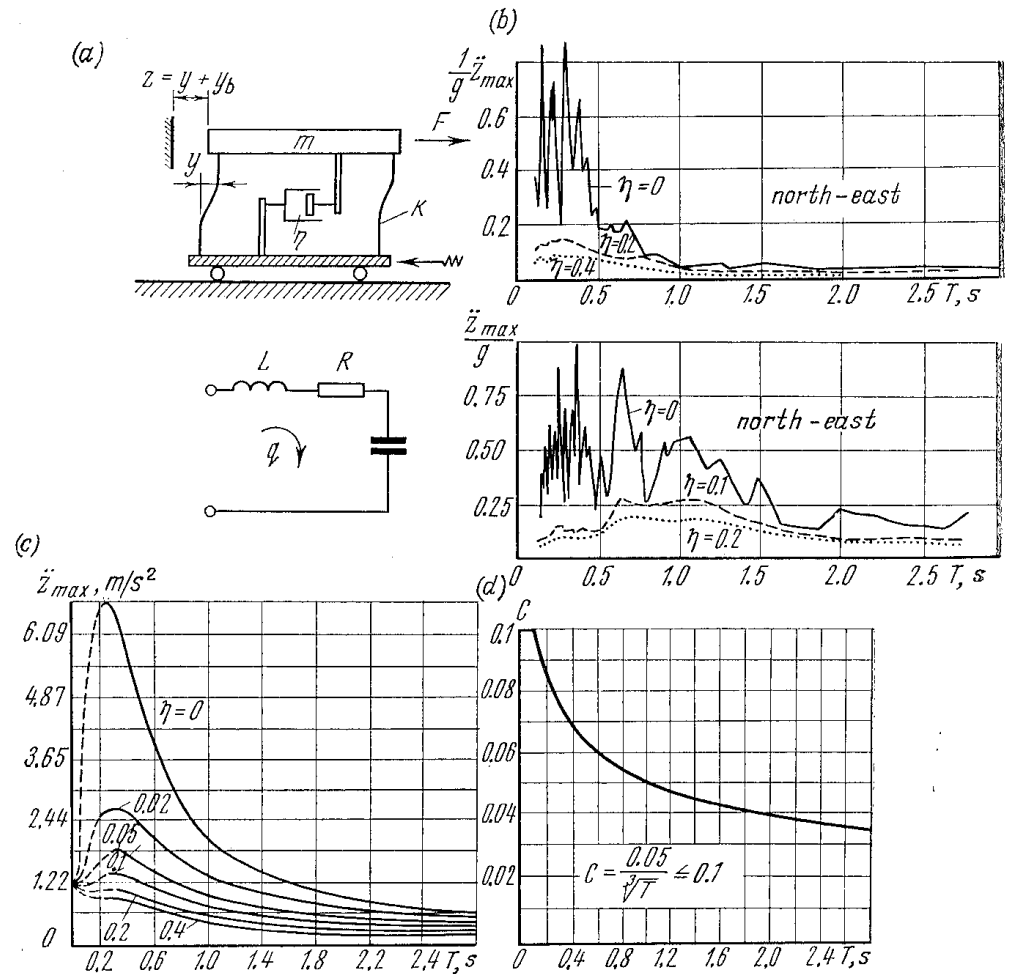


Fig. 3-2. Acceleration spectra plotted by Housner method
(a) mechanical model and circuit of an electric simulator for a single-degree-of-freedom system; (b) spectral curves for different dampings of a system in accordance with acceleration diagrams of earthquakes of October and March 1933 in Verona, California; (c) averaged spectra; (d) C coefficient by the United States Codes

Espectro según Housner

COMPORTAMIENTO EDILICIO

Evaluación de la respuesta del edificio: espectros



Espectros de aceleración (S_A) velocidad (S_v) y desplazamiento (S_d)

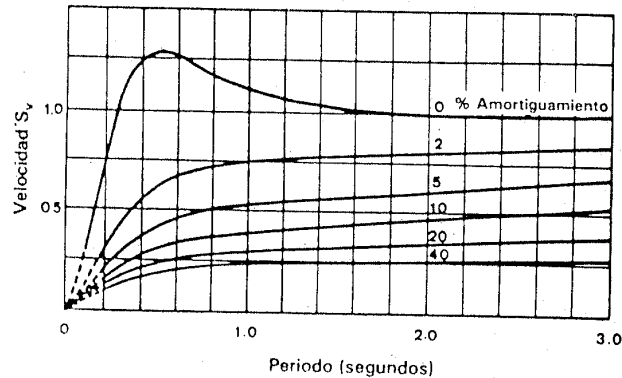


Figura 2-10 Espectros de respuesta suavizada de la velocidad promedio, S_v , por Housner; escala arbitraria. [G. W. Housner, *Behavior of structures during earthquakes*, J. Eng. Mech. Div., Am. Soc. Civ. Eng., '85 (IEM-4), 109-129 (1959).]

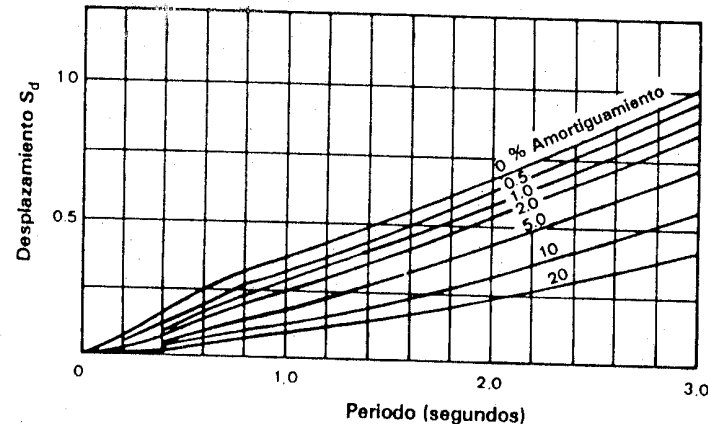


Figura 2-12 Espectros de respuesta suavizada del desplazamiento promedio, S_d , por Housner; escala arbitraria. (G. W. Housner, *Strong ground motion*, in R. L. Wiegel (ed.) *Earthquake Engineering*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., 1970, 75-91.)

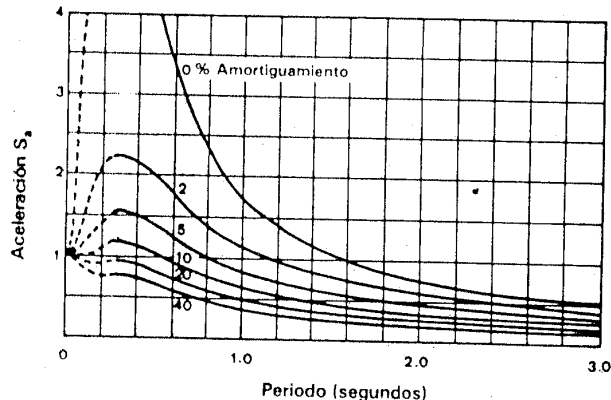


Figura 2-11 Espectros de respuesta suavizada de la aceleración promedio, S_a , por Housner; escala arbitraria. [G. W. Housner, *Behavior of structures during earthquakes*, J. Eng. Mech. Div., Am. Soc. Civ. Eng., 85 (IEM-4), 109-129 (1959).]

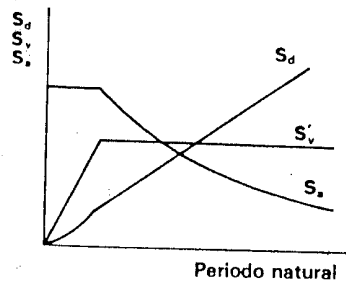


Figura 2-13 Formas generales de los espectros de respuesta.

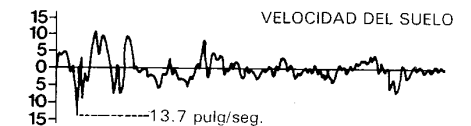
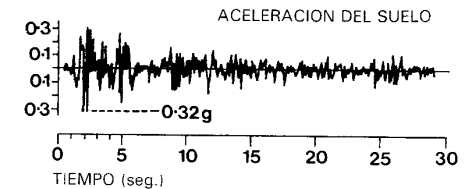
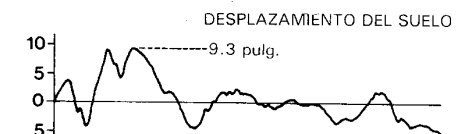


Figura 2.9 El terremoto de El Centro, California, de 1940. [Redibujado, con autorización, de D.J. Dowrick, *Earthquake Resistant Design* (Londres: John Wiley & Sons, 1977.)]



COMPORTAMIENTO EDILICIO

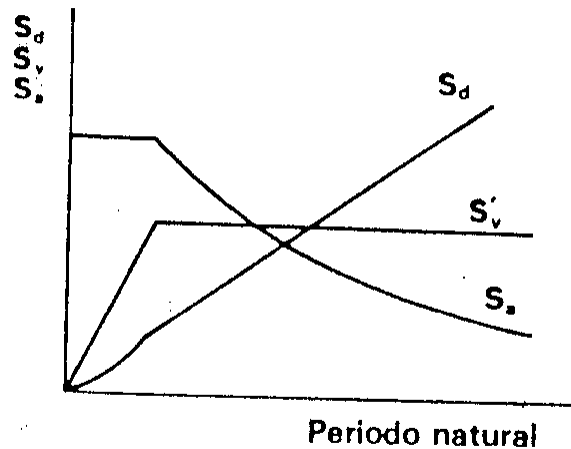
Evaluación de la respuesta del edificio: espectros



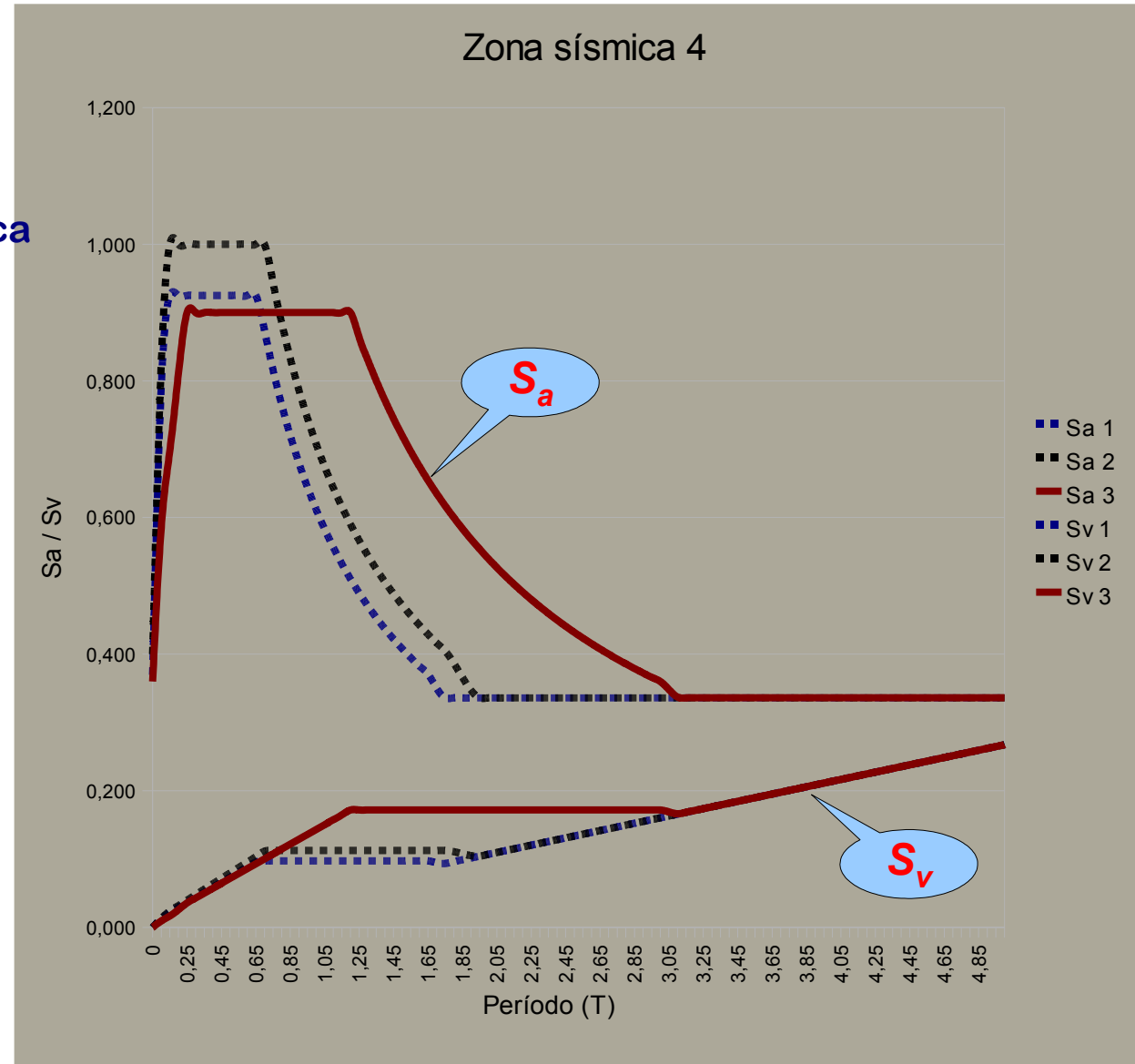
Espectros de aceleración (S_A) – Proyecto INPRES-CIRSOC 103/07

Se tiene en cuenta:

- ◆ Riesgo sísmico
- ◆ Tipos de suelo
- ◆ Amortiguamiento $\xi = 0,05$
- ◆ Proximidad a la falla geológica



Esquema espectros típicos



COMPORTAMIENTO EDILICIO

Evaluación de la respuesta del edificio: Cortante basal

- ◆ Sistema amortiguado con Un grado de libertad UGL $[T_0 - \omega_0 - \xi - X_1]$
- ◆ Sistema amortiguado con Múltiples Grados de Libertad MGL $[\xi]$
 $[T_1 - T_2 - \dots - T_k - T_n ; \omega_1 - \omega_2 - \dots - \omega_k - \dots - \omega_n ; \{X_1\} - \{X_2\} - \dots - \{X_k\} - \dots - \{X_n\}]$
 [Períodos y vectores propios] [Formas modales]

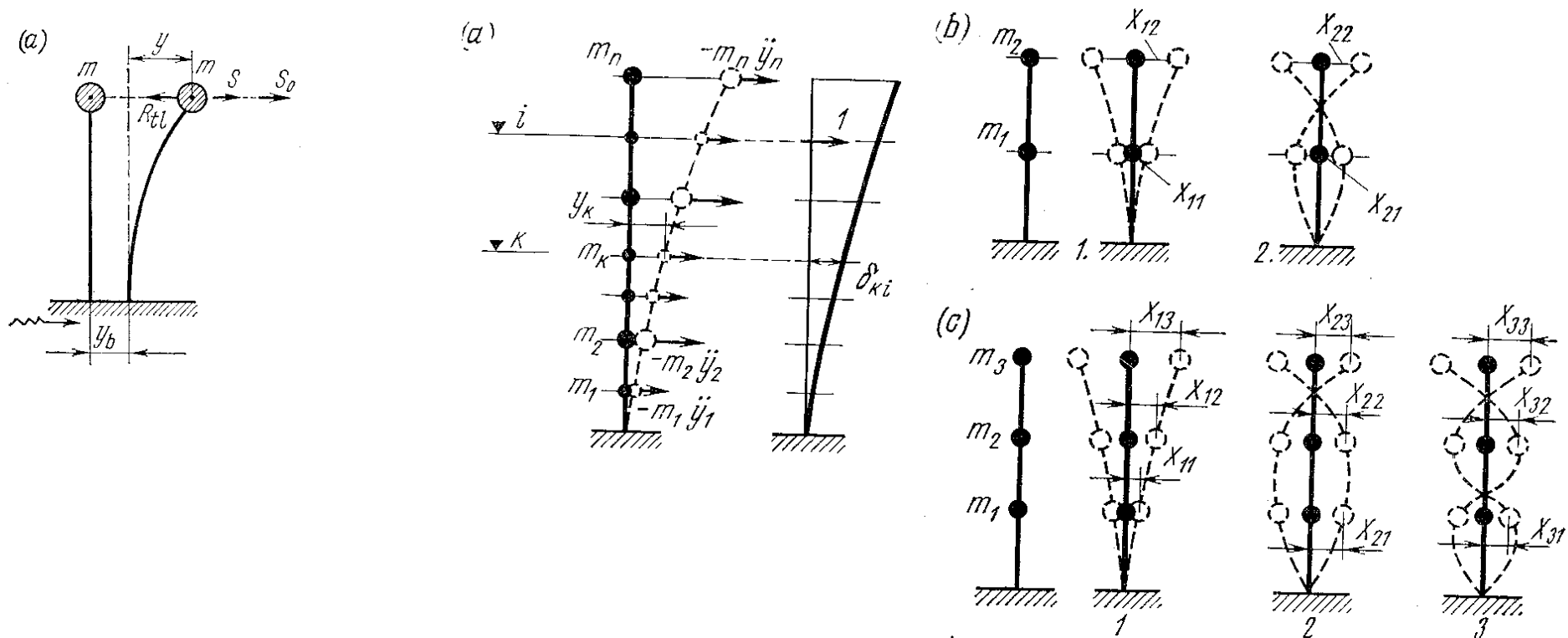
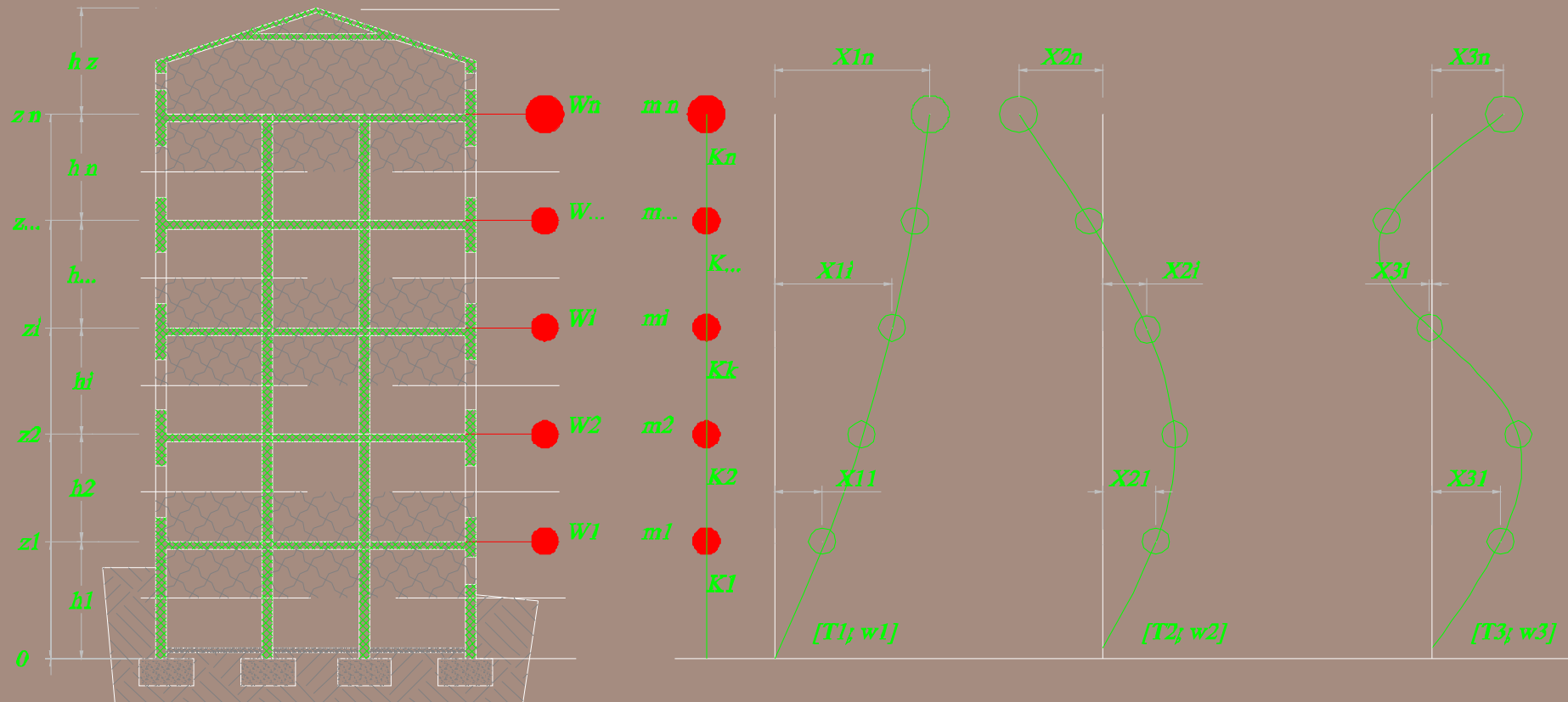


Fig. 1-10. Natural vibrations of a multidegree-of-freedom system
 (a) for derivation of design formulae; (b) and (c) vibration mode shapes of systems having two and three degrees of freedom

COMPORTAMIENTO EDILICIO

Evaluación de la respuesta del edificio

Modelo dinámico



COMPORTAMIENTO EDILICIO

Evaluación de la respuesta del edificio: Cortante basal

♦ Método estático: sólo considera el 1er modo: $[T_1 - \omega_1 - \xi]$

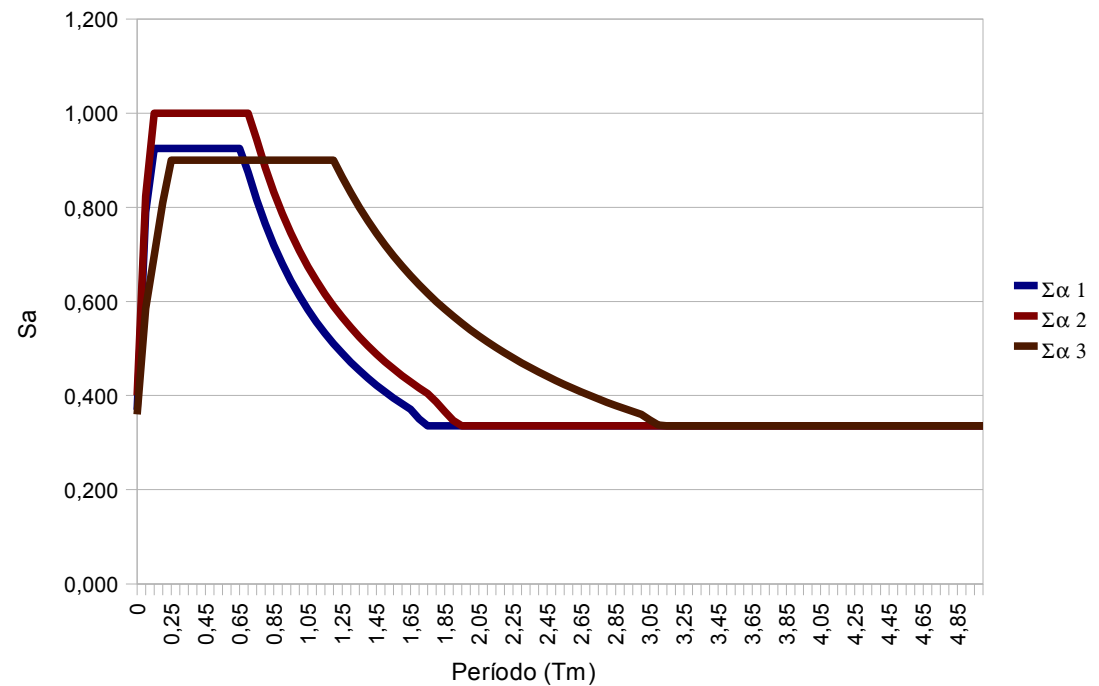
$$V_0 = C \cdot W$$

$$C = \frac{S_a \gamma_r}{R} \quad W = \sum_1^n W_i \quad S_a = F(T_1; \xi)$$

En altura, las acciones se estiman como fuerzas concentradas en las masas, evaluadas en función triangular inversa.

$$F_i = V_0 \cdot \frac{W_i \cdot z_i}{\sum_1^n W_i \cdot z_i^2}$$

ZONA SISMICA 4 amort: 5%



COMPORTAMIENTO EDILICIO

Evaluación de la respuesta del edificio: Cortante basal

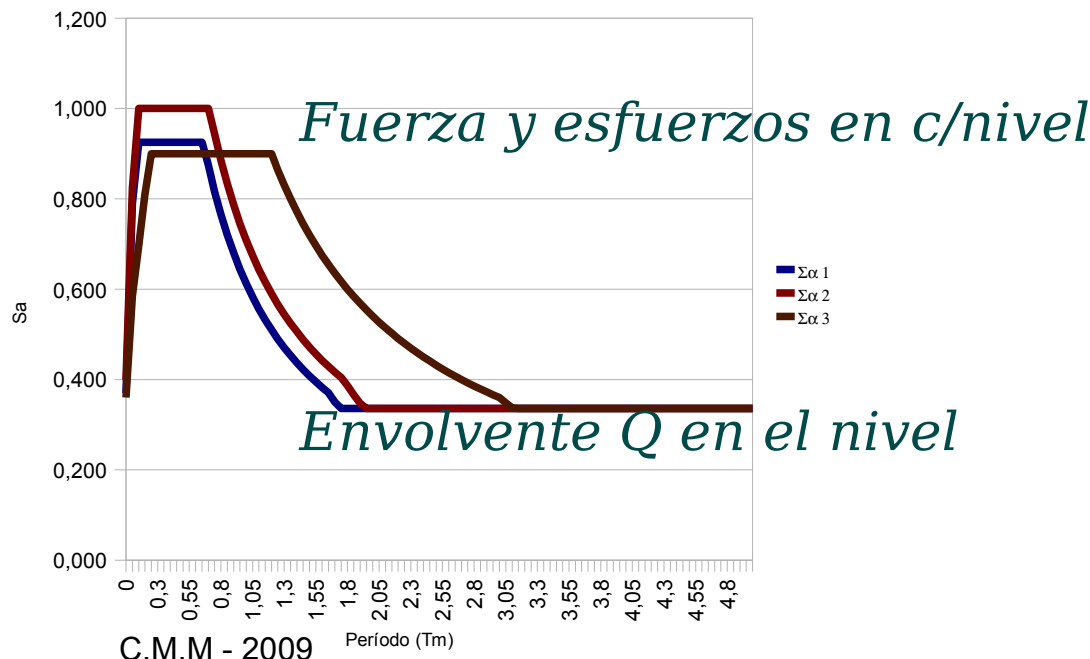
♦ Método dinámicos:

- ♦ **Modal espectral: considera todos los modos *RELEVANTES***
 $[T_1 - T_2 - \dots - T_k - T_n ; \omega_1 - \omega_2 - \dots - \omega_k - \dots - \omega_n ; \{X_1\} - \{X_2\} - \dots - \{X_k\} - \dots - \{X_n\}]$

Para cada modo:

$$A_m = \frac{S_{ak} \cdot \gamma_r}{R} \quad V_{0m} = \frac{A_m}{g} \cdot \bar{W}_m \quad \bar{W}_m = \frac{\left(\sum_{k=1}^n W_k \cdot \phi_{km} \right)^2}{\sum_{i=1}^n W_i \cdot \phi_{km}^2}$$

ZONA SISMICA 4 amort: 5%



$$F_{km} = \frac{V_{0m} \cdot W_k \cdot \phi_{km}}{\sum_{k=1}^n W_k \cdot \phi_{km}} \Rightarrow Q_{km}$$

$$Q_{kE} = \sqrt{\sum_{m=1}^n Q_{km}^2}$$

COMPORTAMIENTO EDILICIO

Evaluación de la respuesta del edificio: Cortante basal



Método dinámicos:



Respuesta lineal en el tiempo: integración directa paso a paso, con respuesta elástica.



Respuesta NO lineal en el tiempo: integración directa paso a paso, considerando el comportamiento de la estructura conforme la degradación progresiva de las secciones de los elementos.

COMPORTAMIENTO DEL EDIFICIO

- ◆ Ductilidad.
- ◆ Resistencia.
- ◆ Rigidez.
- ◆ Torsión

Un buen diseño sismorresistente requiere un conocimiento profundo del comportamiento de las estructuras ante las acciones sísmicas. Un proyecto estructural que sólo cumpla con los requisitos del reglamento no es satisfactorio.

COMPORTAMIENTO DEL EDIFICIO - DUCTILIDAD

- ◆ **Ductilidad.**
Capacidad de los materiales, conexiones y sistemas para absorber energía y mantener la capacidad resistente.

COMPORTAMIENTO DEL EDIFICIO - DUCTILIDAD

♦ Pórticos desplazables o NO arriostrados

Curvas teóricas.

Relación histerética H - δ ,
considerando la acción
gravitatoria

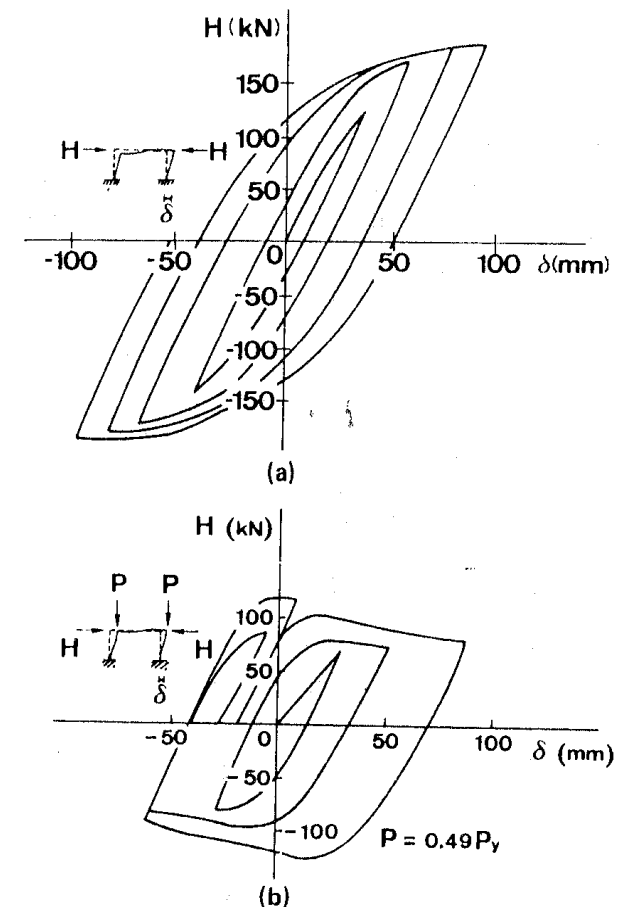


Figura 3-84 Relaciones de carga horizontal-deflexión en marcos de portal. (a) Sin carga vertical. (b) Con carga vertical. [Tomado de M. Wakabayashi, C. Matsui y otros, *Inelastic behavior of full scale steel frames with and without bracings*, Bull. Disaster Prevention Res. Inst., Kyoto University, 24, part 1, no. 216. 1-23 (1974); *Inelastic behavior of steel frames subjected to constant vertical and alternating horizontal loads*, Proc. Fifth World Conf. Earthquake Eng., Roma, 1, 1194-1197 (1971)].

COMPORTAMIENTO DEL EDIFICIO - DUCTILIDAD

♦ Pórticos arriostrados Con tensores en cruz de San Andrés

Curva experimental y comparación
con la teórica.

Relación histerética $H-\delta$, con
acción gravitatoria

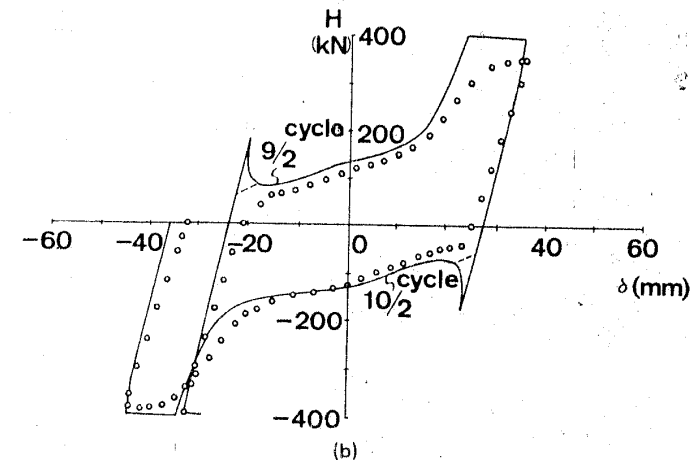
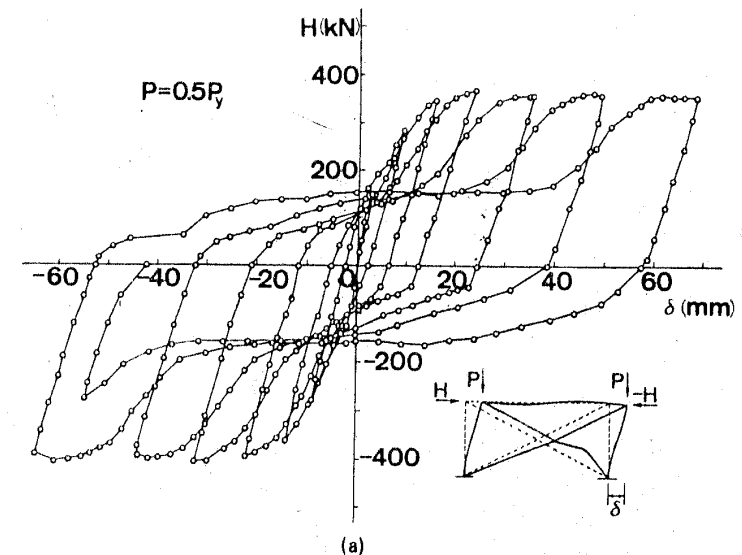


Figura 3-86 Relaciones de carga-deflexión en marco de portal a escala natural sometido a una carga vertical constante y a cargas horizontales repetidas alternadamente. (a) Curvas experimentales. (b) Comparación de las curvas experimentales y teóricas. [Tomado de M. Wakabayashi, C. Matsui y otros, *Inelastic behavior of full scale steel frames with and without bracings*, Bull. Disaster Prevention Res. Inst., Kyoto University, **24**, part 1, no. 216, 1 – 23 (1974); *Inelastic behavior of steel frames subjected to constant vertical and alternating horizontal loads*, Proc. Fifth World Conf. Earthquake Eng., Roma, **1**, 1194 – 1197 (1974)].

COMPORTAMIENTO DEL EDIFICIO - DUCTILIDAD

◆ Hormigón Armado

Comportamiento a cortante

Secciones con estribos simples

Secciones con diagonales

Relación histerética $V-\theta$, con acción gravitatoria

Comportamiento de las estructuras de edificios ante las cargas sísmicas 129

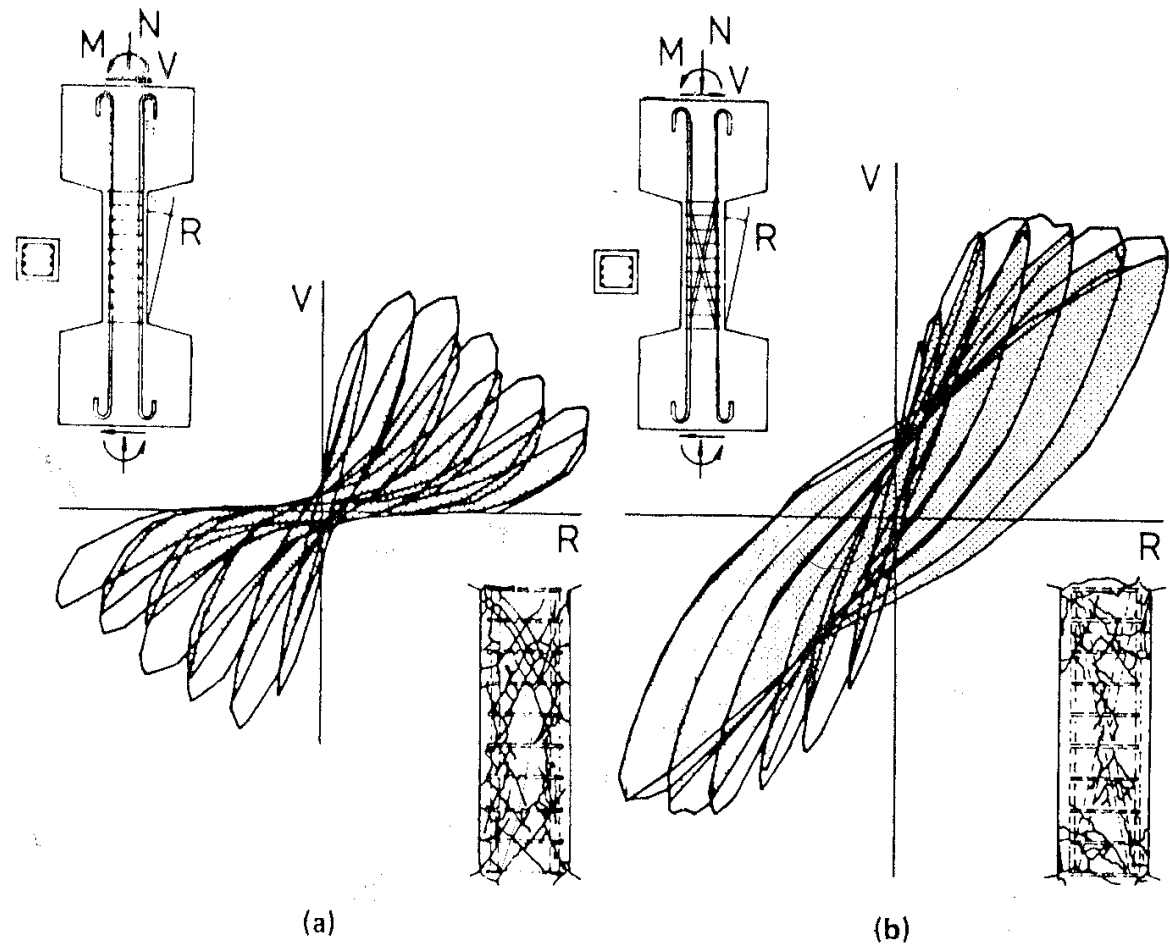


Figura 3-24 Relaciones entre momento y ángulo de rotación en vigas-columna con refuerzo diagonal o paralelo sometidas a fuerza axial constante y a momentos flexionantes con cortante repetidos alternadamente. (a) Columna con refuerzo paralelo. (b) Columna con refuerzo diagonal. [Tomado de M. Wakabayashi y K. Minámi, *Seismic resistance of diagonally reinforced concrete columns*, Proc. Seventh World Conf. Earthquake Eng., Istanbul, 6, 215 – 222 (1980)].

COMPORTAMIENTO DEL EDIFICIO - DUCTILIDAD

◆ Pared de mampostería falla por cortante

Agrietamiento de panel

De pilas y dinteles

De muro armado

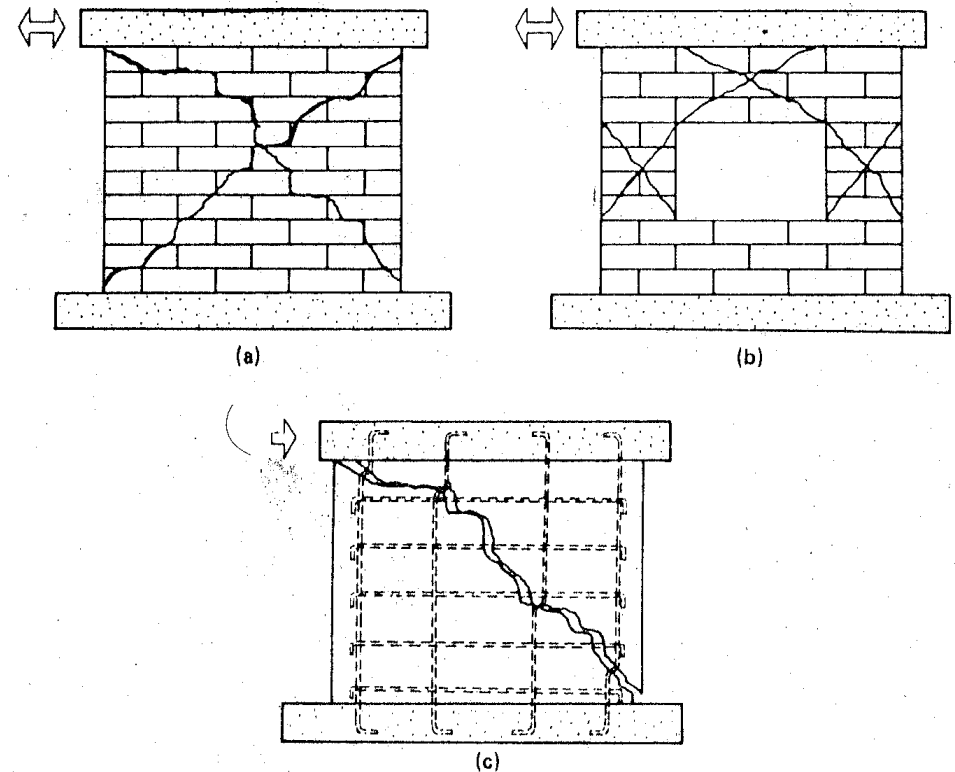


Figura 3-103 Grietas de cortante y refuerzo. (a) Muro de cortante. (b) Pilas y vigas. (c) Efectividad del refuerzo.

COMPORTAMIENTO DEL EDIFICIO - DUCTILIDAD

◆ Pared de mampostería falla por cortante

Curva experimental.

Relación histerética H - δ , con
acción gravitatoria

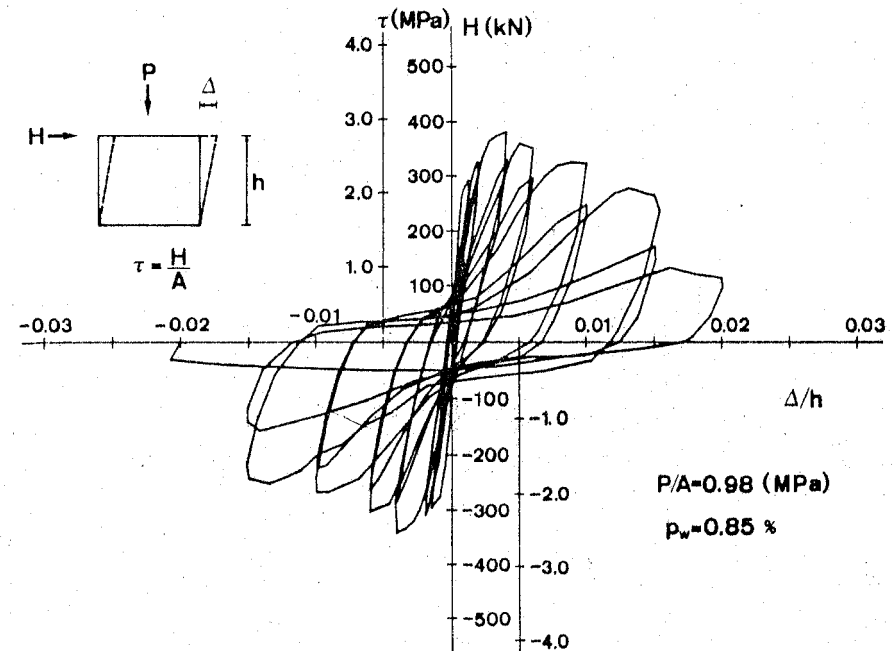


Figura 3-104 Relaciones de carga horizontal-deflexión de una pila sometida a cortante repetido y que falla por cortante. [Tomado de M. Wakabayashi y T. Nakamura, *Experimental study on masonry walls*, Proc. Kinki Branch Arch. Inst. Japan Ann. Conv., 461 – 464 (1983; en japonés)].

COMPORTAMIENTO DEL EDIFICIO - DUCTILIDAD

◆ Pared de madera Comportamiento $P-\delta$ según el tipo de revestimiento.

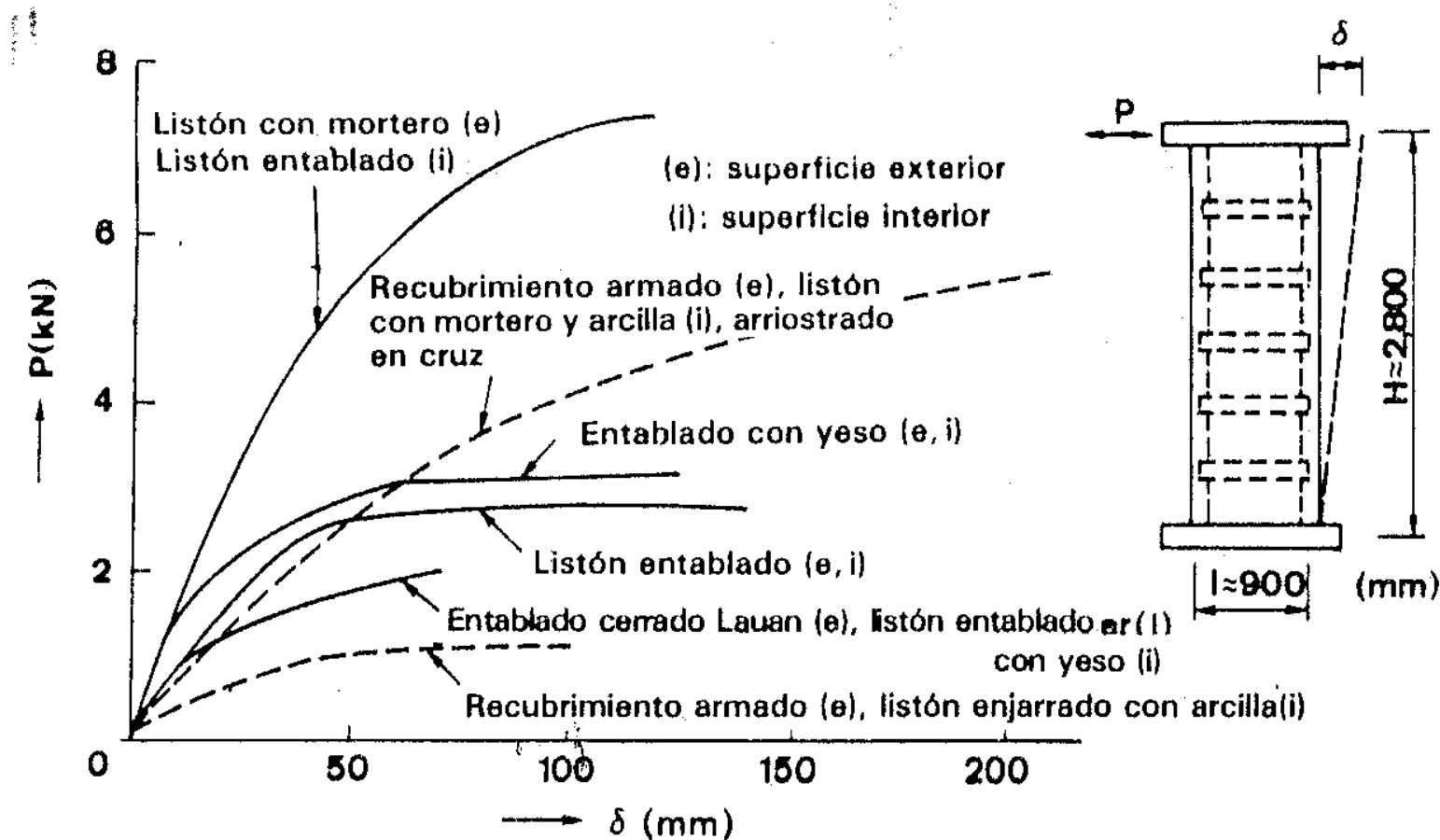


Figura 3-110 Relaciones de carga-deflexión de muros de madera sometidos a fuerza cortante monotónica.

COMPORTAMIENTO DEL EDIFICIO - DUCTILIDAD

- ◆ Pared de madera falla por cortante
- Curva experimental.
- Relación histerética $P-\delta$

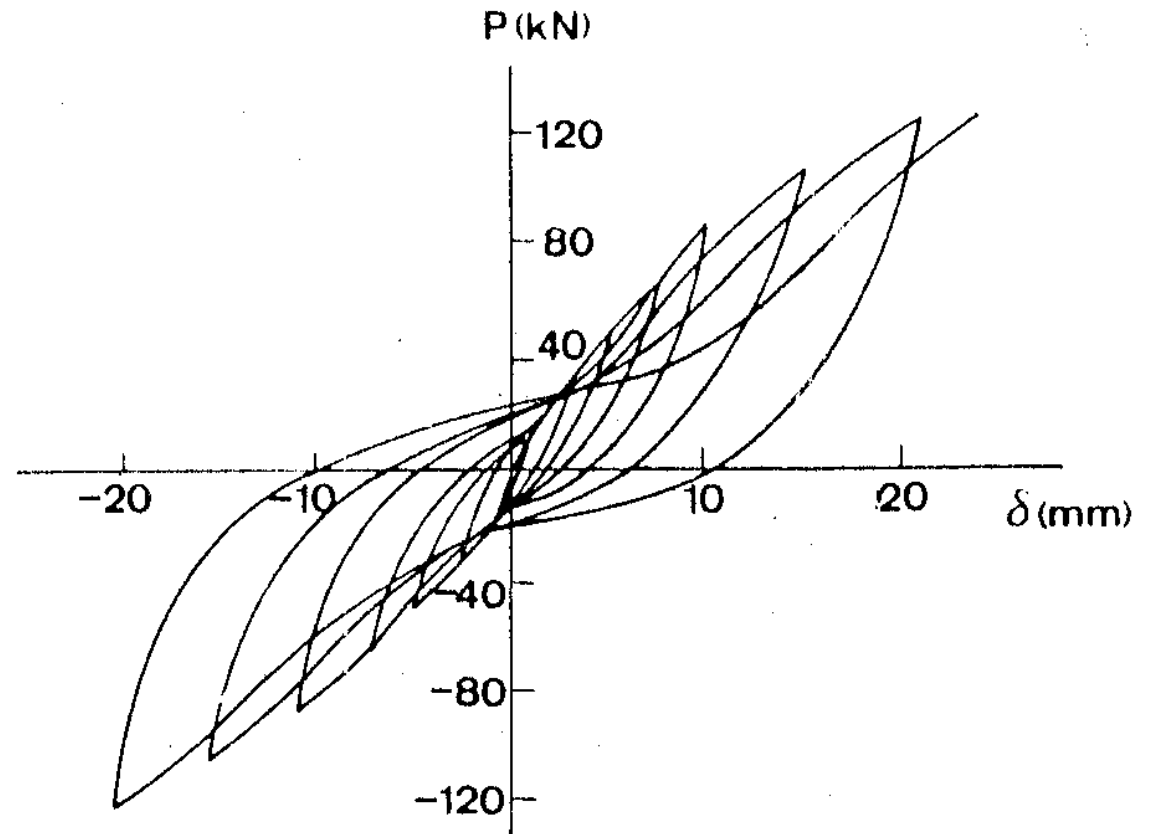


Figura 3-111 Relaciones de carga-deflexión de un muro de madera sometido a fuerza cortante repetida alternadamente. [Tomado de K. Medearis, *Static and dynamic properties of shear structures*, Proc. Int. Symp. Effect Repeating Loading Mater. Struct., RILEM, Ciudad de México, 6 (1966)].

COMPORTAMIENTO DEL EDIFICIO - RESISTENCIA

◆ RESISTENCIA

Capacidad de los materiales, elementos y sistemas para soportar esfuerzos (tracción, compresión, flexión, torsión) y mantener la estabilidad local y del conjunto

- ◆ Resistencia del material (F_y)
- ◆ Comportamiento bajo cargas (diagrama P-d)
- ◆ Esbeltez de las piezas: longitud de pandeo
- ◆ Esbeltez de los elementos seccionales
- ◆ Sistema de arriostramiento
- ◆ Combinación de los esfuerzos en la sección

COMPORTAMIENTO DEL EDIFICIO - RESISTENCIA

RESISTENCIA FLEJO-COMPRESIÓN - Teórica -

Esbeltez

Momentos extremos

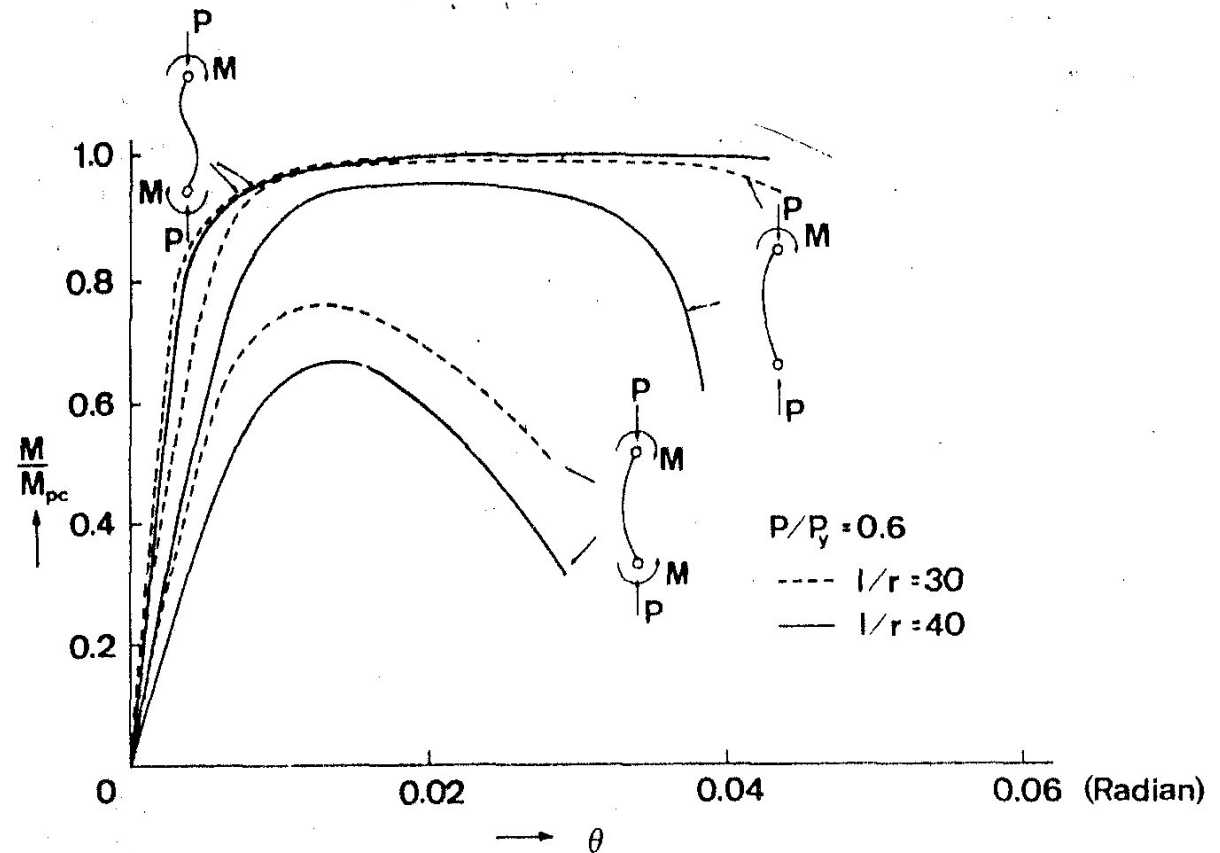


Figura 3-66 Relaciones teóricas entre el momento y el ángulo de giro de vigas-columnas sometidas a inestabilidad en el plano.

COMPORTAMIENTO DEL EDIFICIO - RESISTENCIA

RESISTENCIA FLEXO-COMPRESIÓN - Experimental -

- ◆ Esbeltez
- ◆ Momentos extremos
- ◆ Pandeo lateral torsional

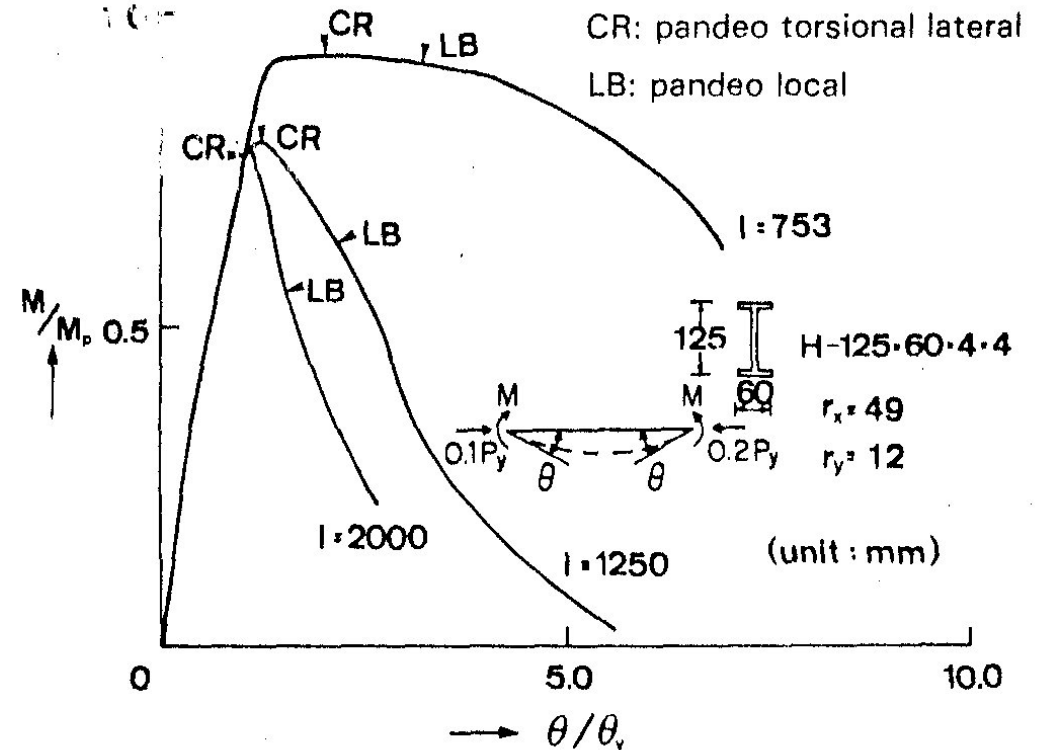


Figura 3-67 Relaciones experimentales de momento-ángulo de giro de vigas-columna sometidas a inestabilidad lateral torsional. [Tomado de M. Wakabayashi, T. Nakamura y M. Nakashima, A. study on the out of plane inelastic stability of H shaped columns, Proc. Arch. Inst. Japan Ann. Conv., no. 1, 1399 – 1400 (1977; en japonés)].