



# **CIMENTACIONES SOMETIDAS A ACCIONES DINÁMICAS**

## **SOLICITACIONES SISMICAS**

Marcelo ZEBALLOS  
Guillermo GERBAUDO  
Roberto TERZARIOL  
Gonzalo, AIASSA



# CIMENTACIONES BAJO ACCIÒN DINAMICA

## OBJETIVO

- Caracterización de los procesos de solicitud sísmica.
- Tratamiento de las cimentaciones superficiales y profundas.
- Aplicaciones en muros de sostenimiento.
- Suelos inestables.

## REFERENCIAS:

- Apuntes de clase. Disponibles en página virtual.



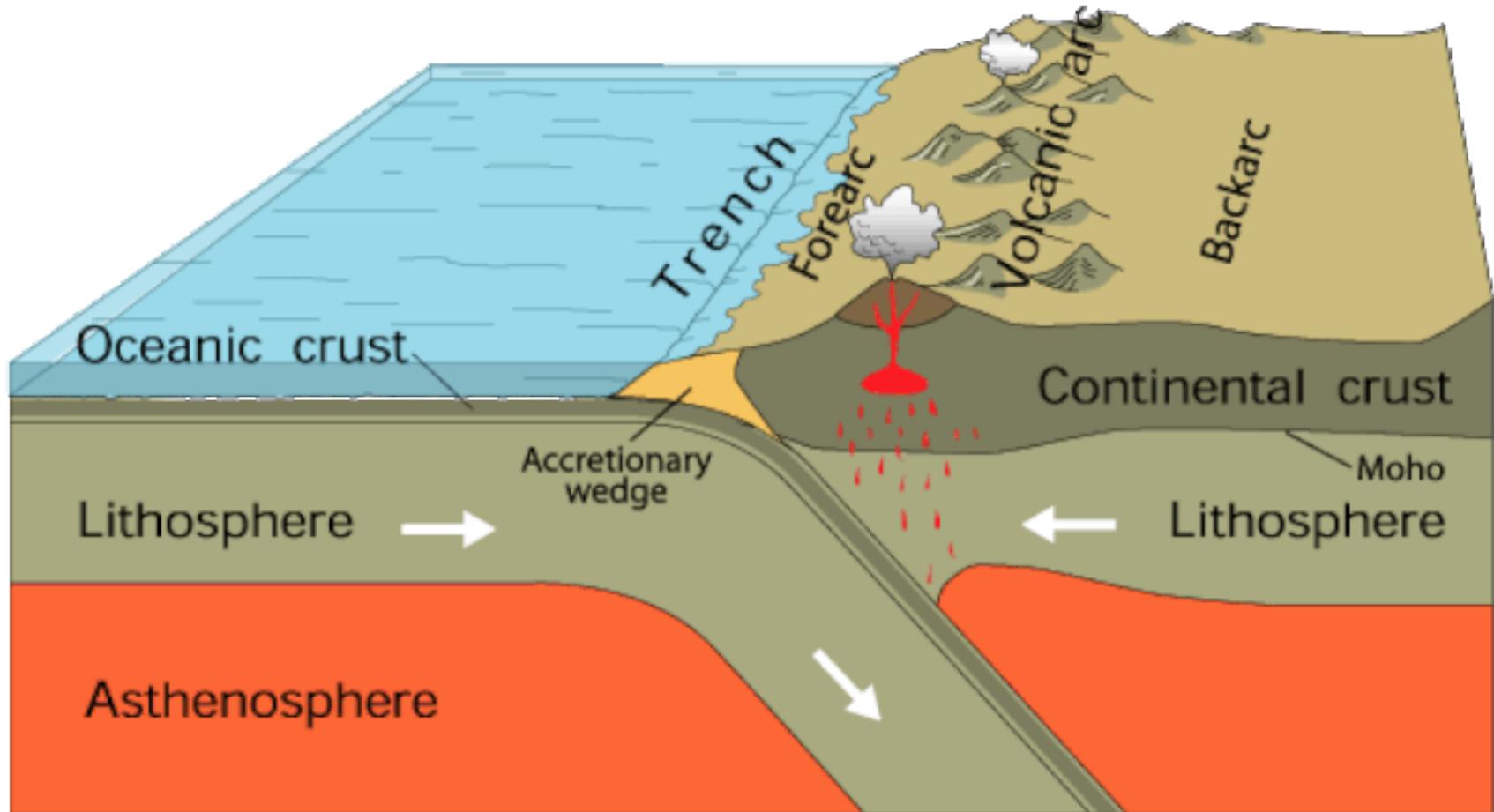
# CIMENTACIONES PARA MAQUINAS

**CARACTERIZACION  
DEL SISMO**

# CIMENTACIONES BAJO ACCIÒN DINAMICA



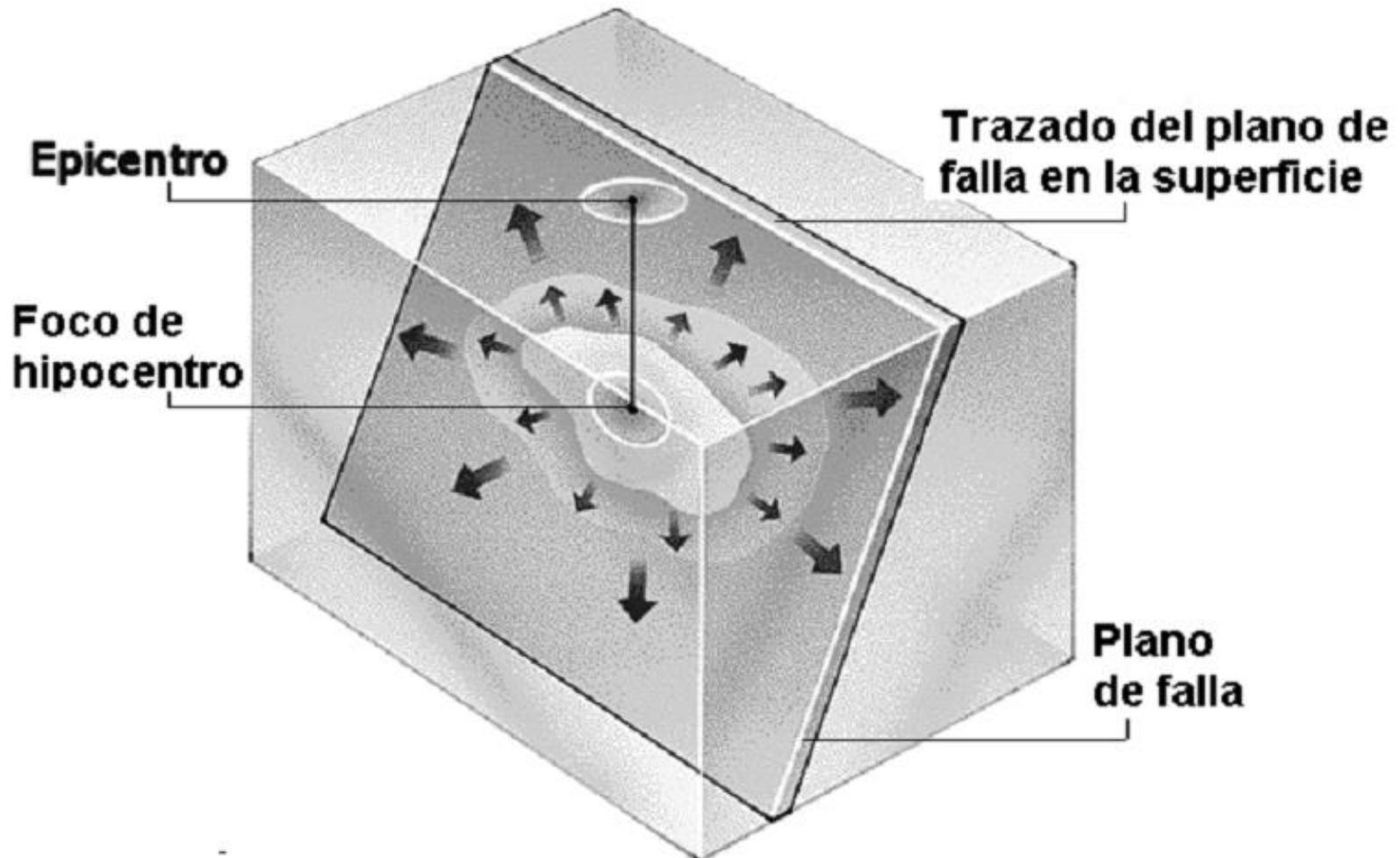
## ACCIONES SISMICAS



# CIMENTACIONES BAJO ACCIÒN DINAMICA



## ACCIONES SISMICAS

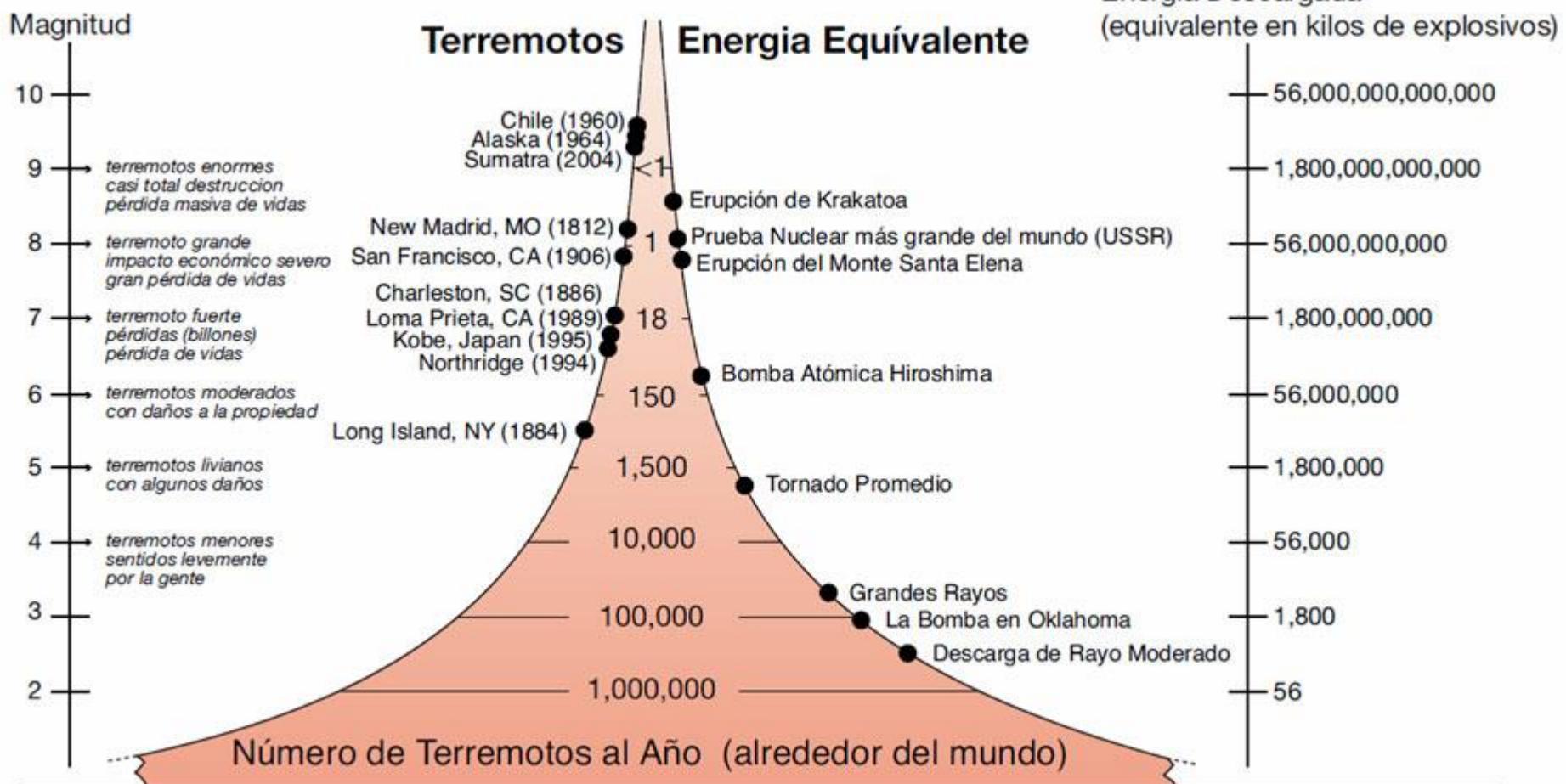




# CIMENTACIONES BAJO ACCIÓN DINAMICA

## ACCIONES SISMICAS

### DEFINICIONES: MAGNITUD





# CIMENTACIONES BAJO ACCIÒN DINAMICA

## ACCIONES SISMICAS

### DEFINICIONES: INTENSIDAD

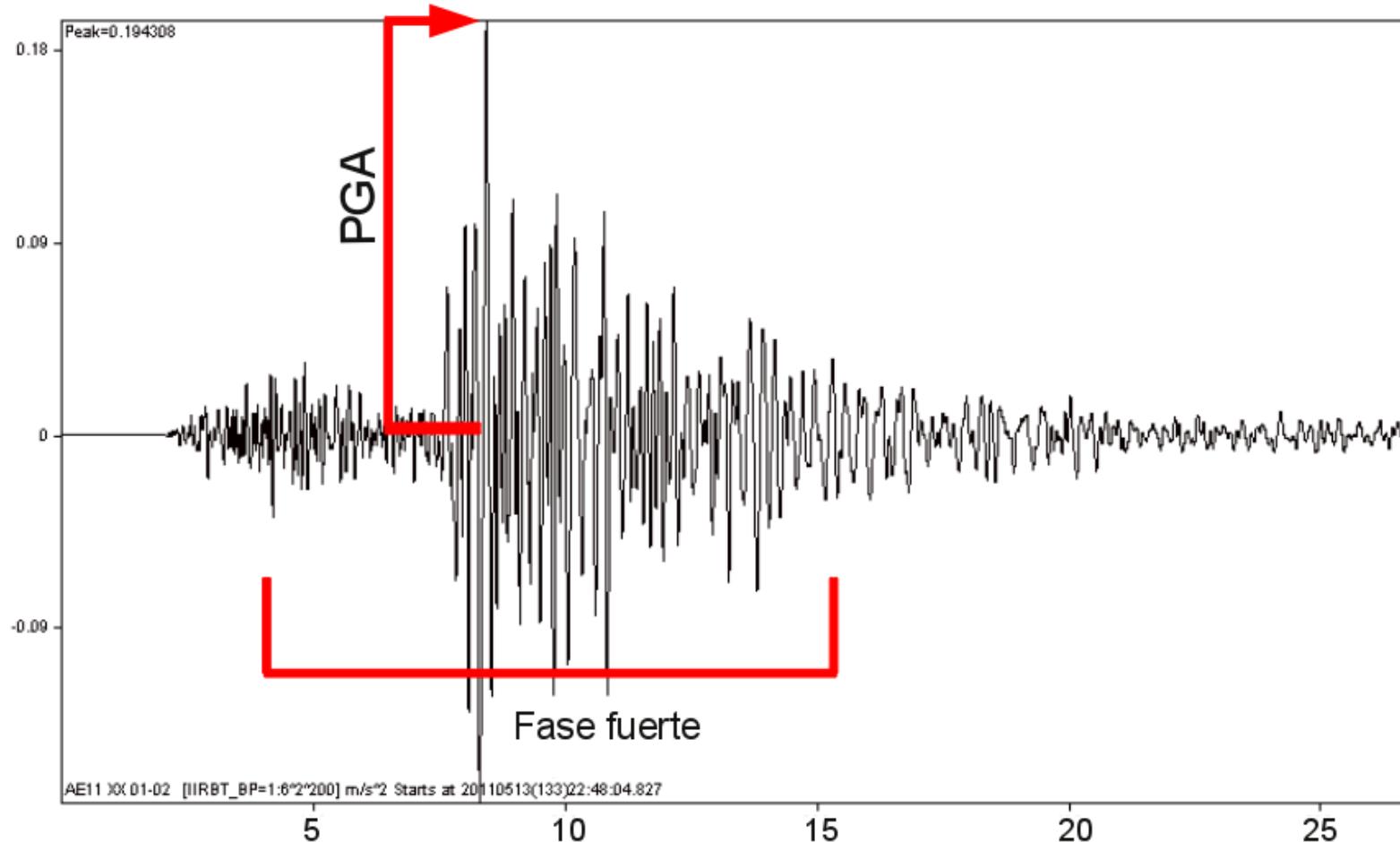
I. Muy débil	Lo advierten muy pocas personas.
II. Débil	Lo perciben sólo algunas personas en reposo.
III. Leve	Se percibe en el interior de los edificios y casas.
IV. Moderado	Los objetos colgantes oscilan visiblemente.
V. Poco Fuerte	Sentido por casi todos, aún en el exterior.
VI. Fuerte	Lo perciben todas las personas.
VII. Muy fuerte	Se experimenta dificultad para mantener en pie.
VIII. Destruktivo	Se hace difícil e inseguro el manejo de vehículos.
IX. Ruinoso	Se produce inquietud general.
X. Desastroso	Se destruye gran parte de las estructuras de albañilería de todo tipo.
XI. Muy desastroso	Muy pocas estructuras de albañilería quedan en pie.
XII. Catastrófico	El daño es casi total. Se desplazan grandes masas de rocas.



# CIMENTACIONES BAJO ACCIÒN DINAMICA

## ACCIONES SISMICAS

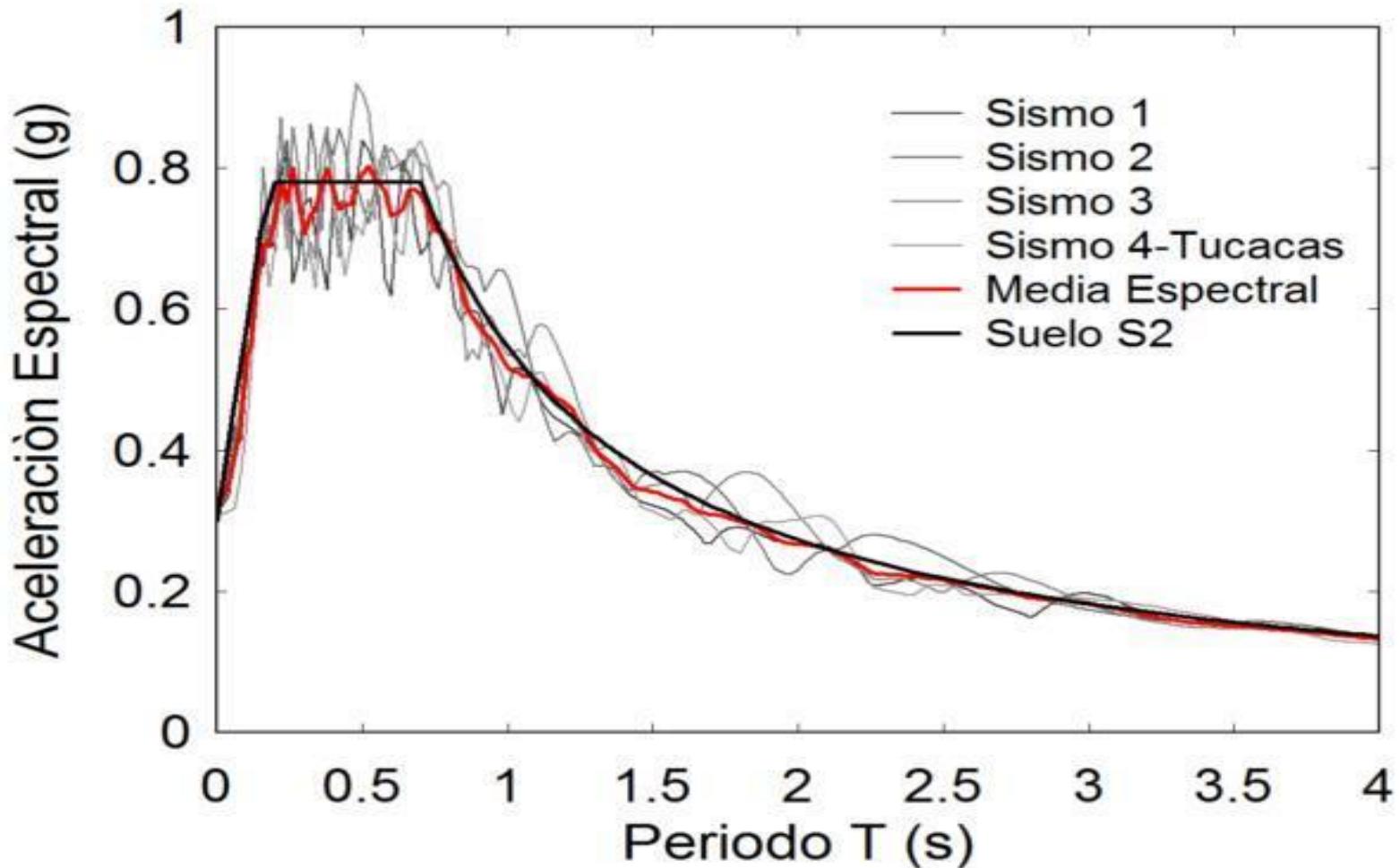
**DEFINICIONES:** ACELERACION SISMICA – DURACION - ENERGIA



# CIMENTACIONES BAJO ACCIÒN DINAMICA

## ACCIONES SISMICAS

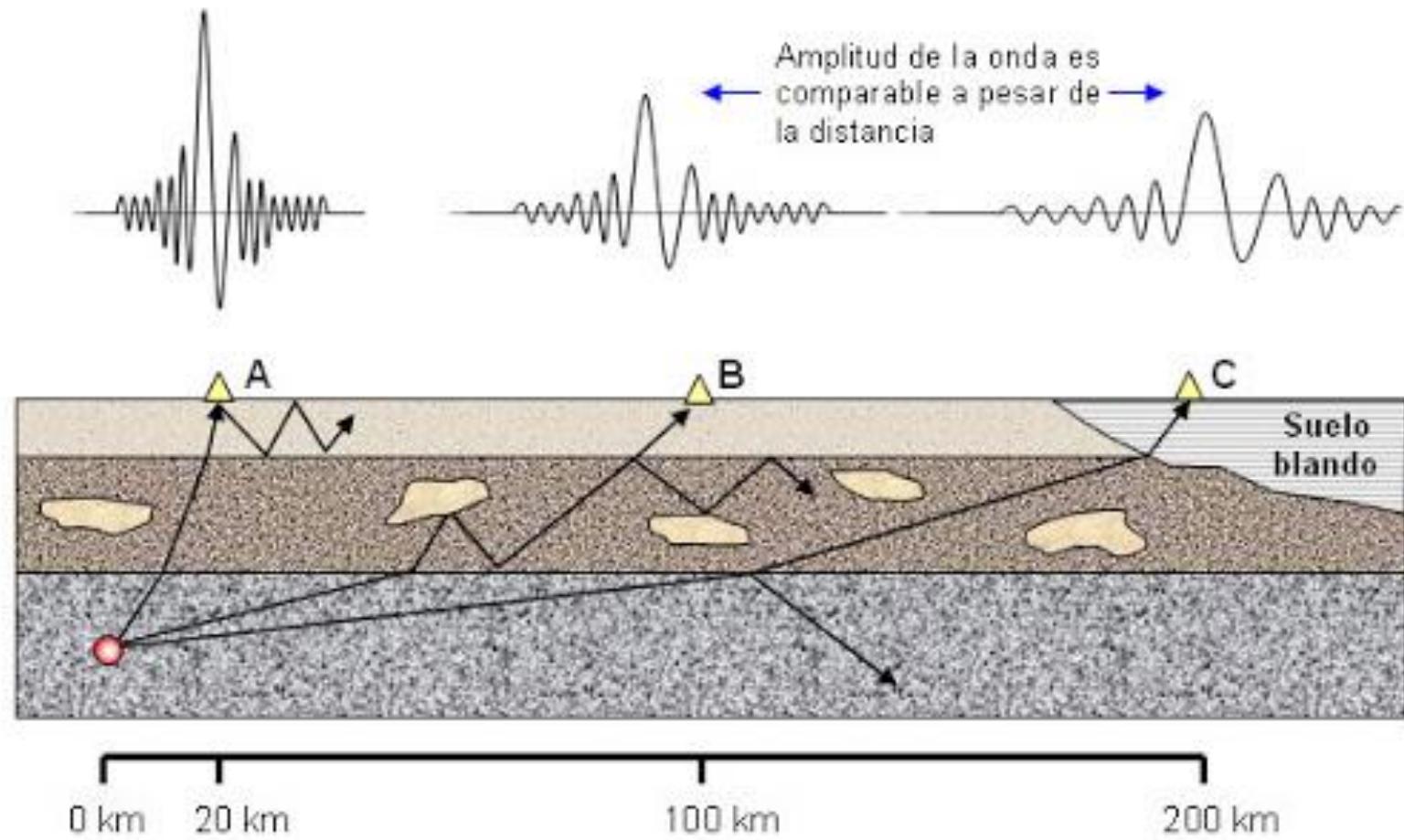
**DEFINICIONES:** PSEUDOACELERACION Y ESPECTRO SISMICO



# CIMENTACIONES BAJO ACCIÒN DINAMICA

## ACCIONES SISMICAS

### DEFINICIONES: PROPAGACIÒN DEL SISMO

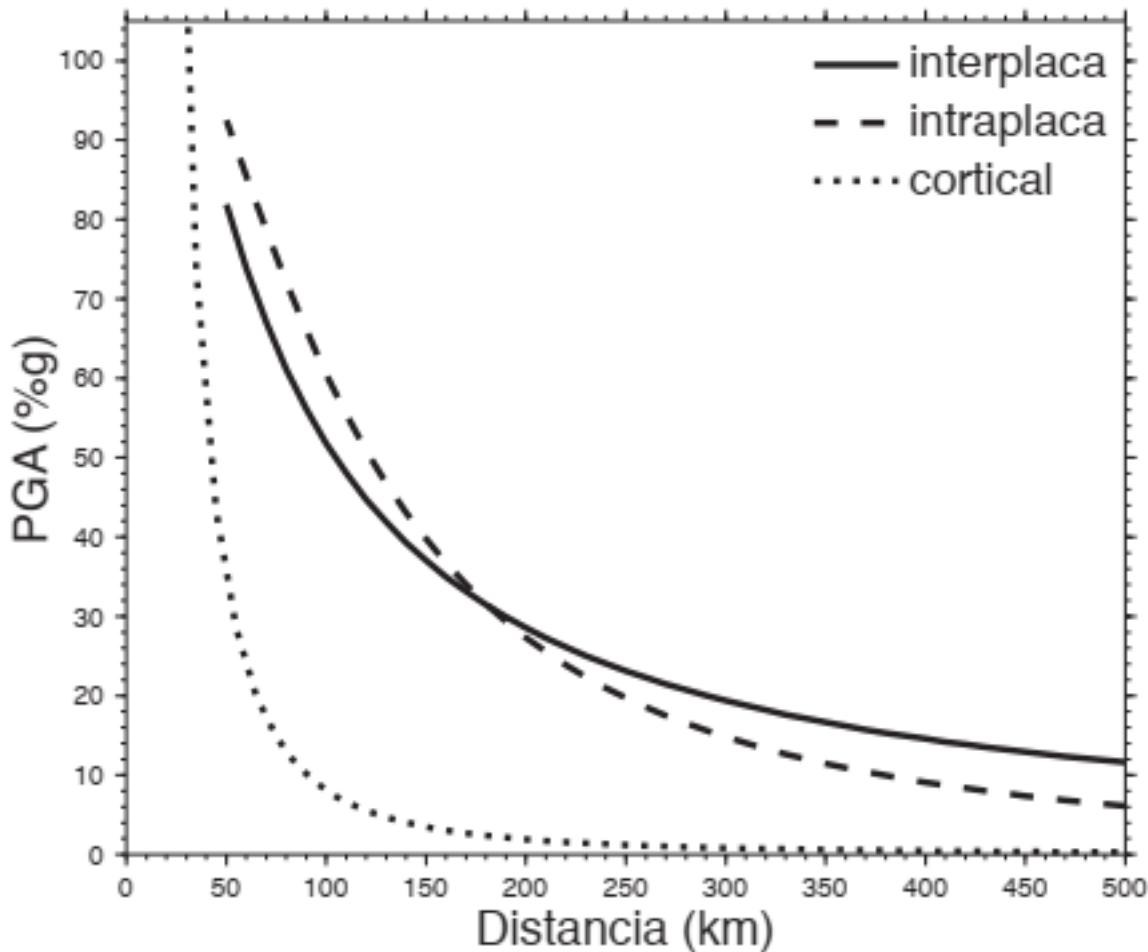




# CIMENTACIONES BAJO ACCIÒN DINAMICA

## ACCIONES SISMICAS

**DEFINICIONES:** ATENUACION SISMICA



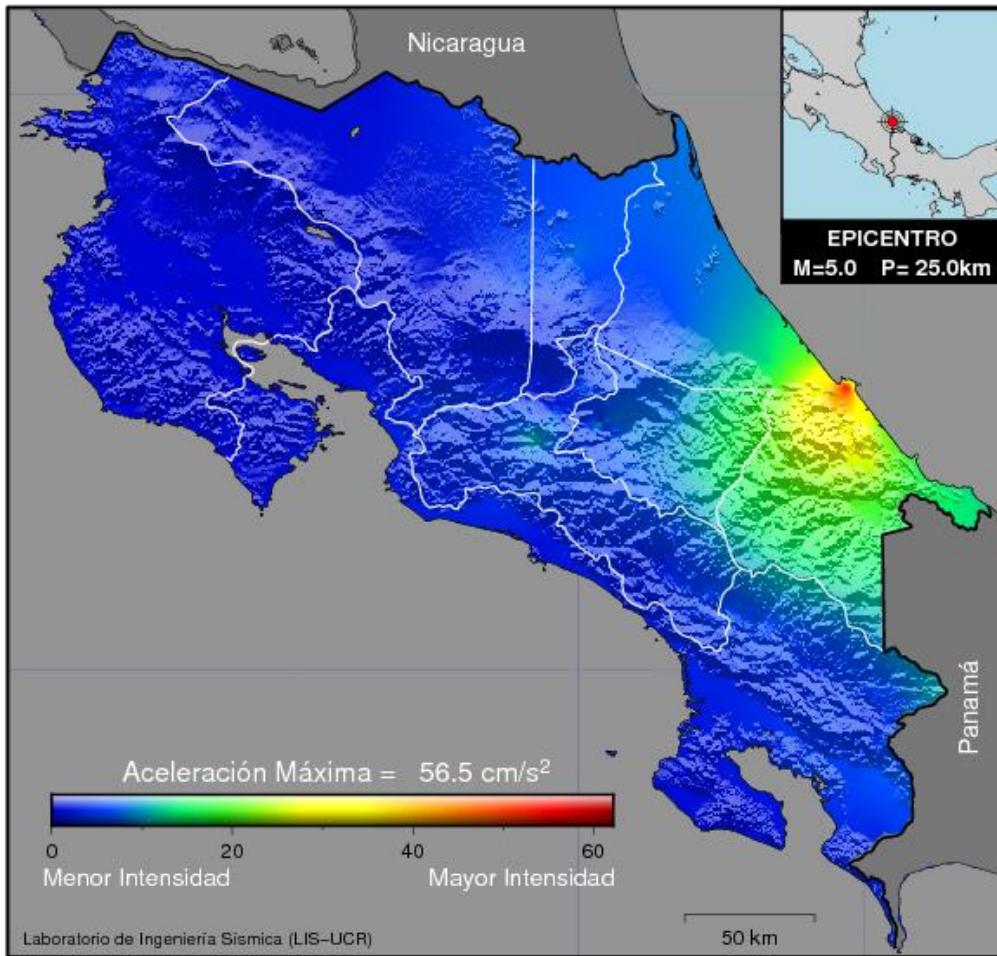
$$\text{PGA} = \frac{A \cdot e^{C \cdot M_s}}{(r + D)^B}$$

# CIMENTACIONES BAJO ACCIÒN DINAMICA



## ACCIONES SISMICAS

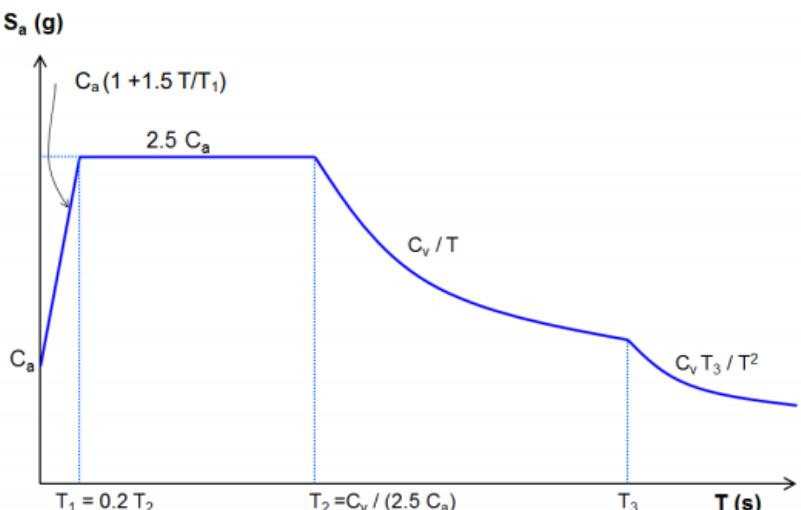
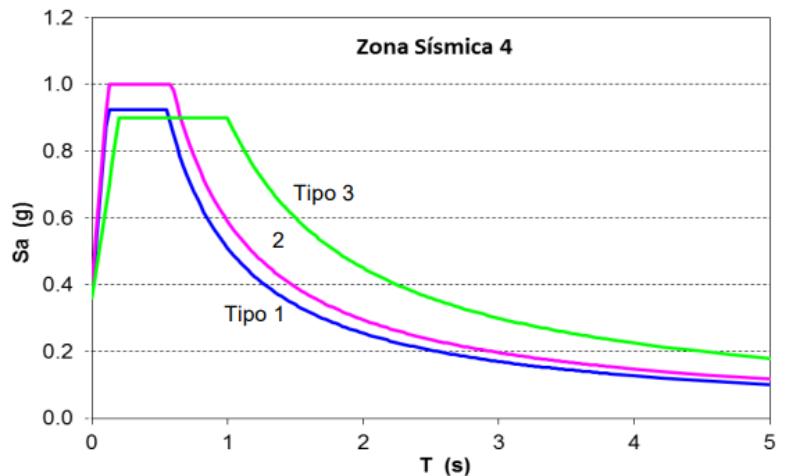
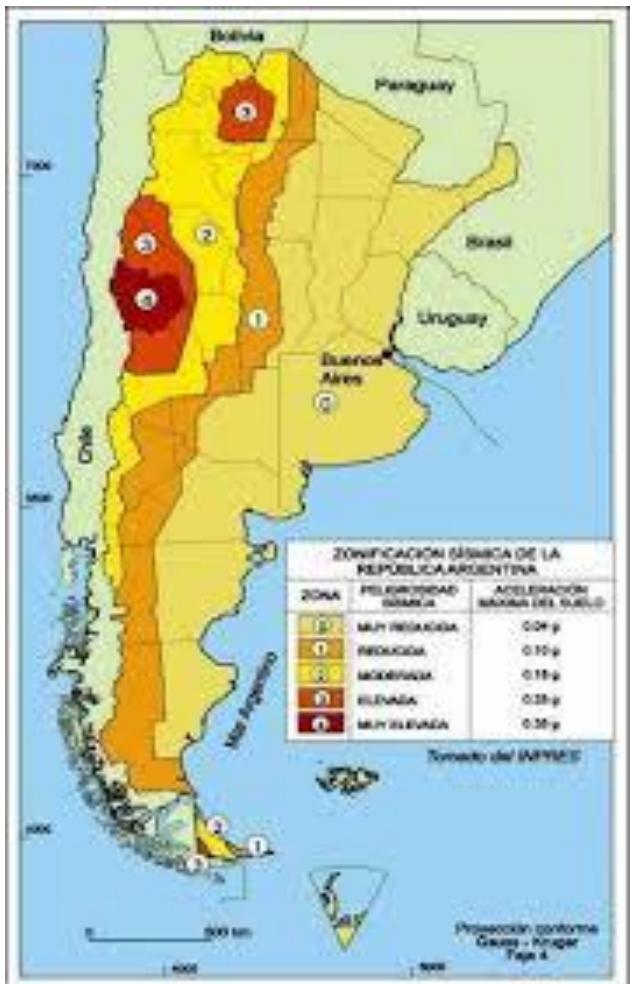
**DEFINICIONES:** ATENUACION SISMICA



# CIMENTACIONES BAJO ACCIÒN DINAMICA

## ACCIONES SISMICAS

### DEFINICIONES: ESPECTRO SISMICO DE REGLAMENTO

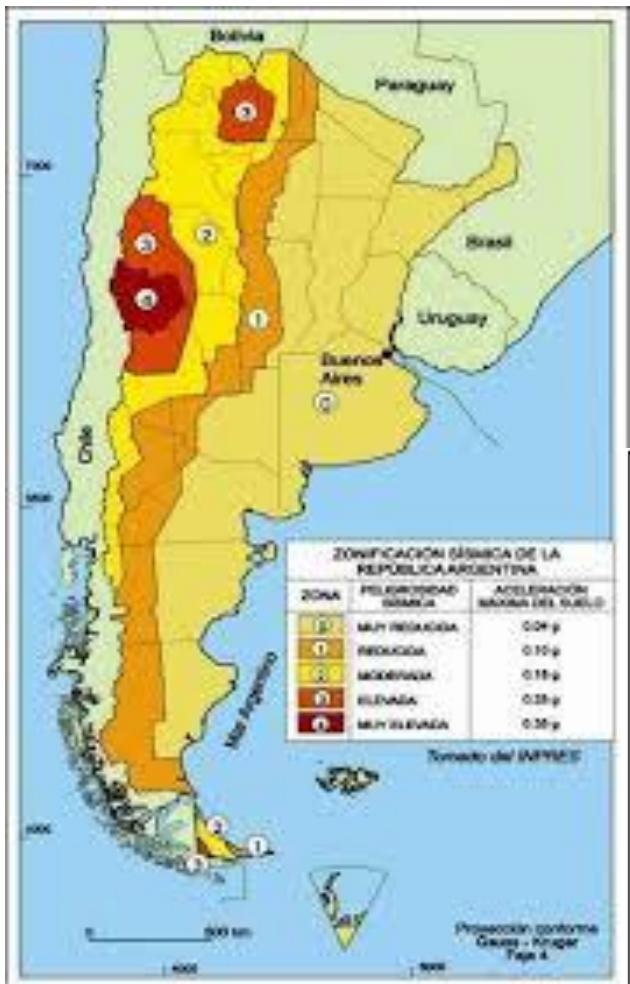




# CIMENTACIONES BAJO ACCIÒN DINAMICA

## ACCIONES SISMICAS

### DEFINICIONES: ESPECTRO SISMICO DE REGLAMENTO



$$s_a = a_s + (b - a_s) \cdot \frac{T}{T_1} \quad \text{para } T \leqslant T_1$$

$$s_a = b \quad \text{para } T_1 \leqslant T \leqslant T_2$$

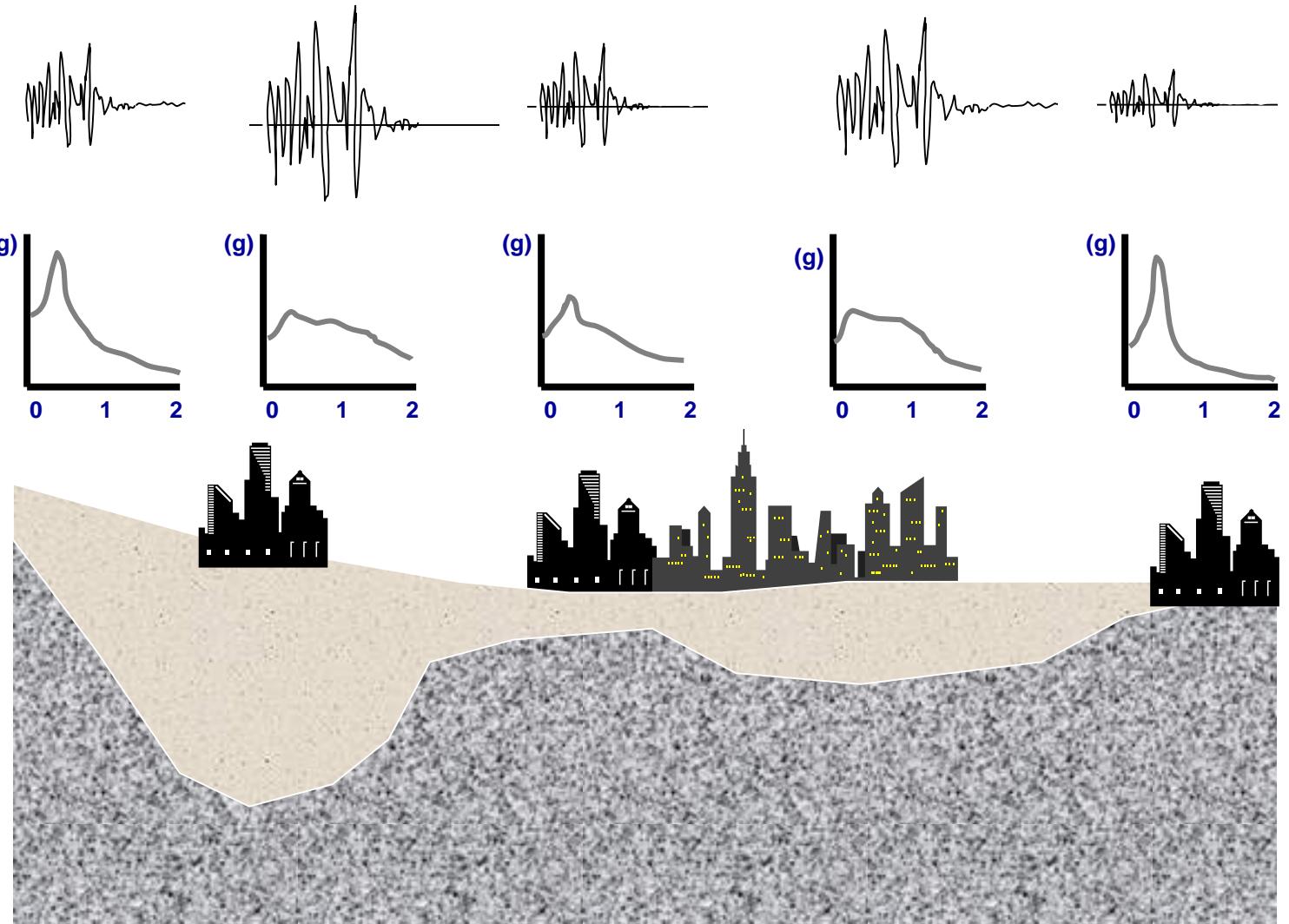
$$s_a = b \left( \frac{T_2}{T} \right)^{2/3} \quad \text{para } T \geqslant T_2$$

ZONA SÍSMICA	SUELO	$a_s$	$b$	$T_1$	$T_2$
4	Tipo I	0,35	1,05	0,20	0,35
	Tipo II	0,35	1,05	0,30	0,60
	Tipo III	0,35	1,05	0,40	1,00
3	Tipo I	0,25	0,75	0,20	0,35
	Tipo II	0,25	0,75	0,30	0,60
	Tipo III	0,25	0,75	0,40	1,00
2	Tipo I	0,16	0,48	0,20	0,50
	Tipo II	0,17	0,51	0,30	0,70
	Tipo III	0,18	0,54	0,40	1,10
1	Tipo I	0,08	0,24	0,20	0,60
	Tipo II	0,09	0,27	0,30	0,80
	Tipo III	0,10	0,30	0,40	1,20

# CIMENTACIONES BAJO ACCIÒN DINAMICA



## ACCIONES SISMICAS



# CIMENTACIONES BAJO ACCIÒN DINAMICA



## ACCIONES SISMICAS

### DEFINICIONES:

- Intensidad y Magnitud del (de los) sismo de diseño
- Identificación de fuente (epicentro) y atenuación. PGA.
- Acelerogramas de diseño:
  - Aceleración pico – velocidad de propagación.
  - Duración del sismo
  - Energía del sismo.
- Efectos locales: Reflexión y refracción de ondas
- Espectro de diseño:
  - Pseudoaceleración
  - Espectro de respuesta



## CARACTERIZACION DE SUELOS Y ROCAS

### Clasificación de los Suelos (CIRSOC)

- Estables.
  - Aquellos que no sufren degradación o alteración de sus propiedades resistentes a consecuencia de la acción del sismo
  - Puede utilizar FS superiores a los empleados en las condiciones de solicitud estática
- Inestables
  - Sufren modificación de sus propiedades resistentes con la acción del sismo.
  - Licuación- colapso
  - Inestabilidad de taludes, laderas y terraplenes. Avalanchas. Desprendimientos.
  - Roturas en la superficie del terreno por movimientos producidos en fallas o fracturas próximas, situadas en la base del perfil de suelo

# CIMENTACIONES BAJO ACCIÒN DINAMICA



**SUELOS Y  
ROCAS**

SUELDO	IDENTIFICACIÓN	CARACTERÍSTICAS		
		Velocidad de propagación de ondas de corte	Prueba de penetración normalizada P.P.N.	Tensión admisible del suelo, $\sigma_{ad}$
		(m/s)	(nº de golpes)	(MN/m²)
Tipo I	Muy firmes y compactos	a) Rocas firmes y formaciones similares	$\geq 700$	—
		b) Suelos rígidos sobre roca firme, con profundidad de manto mayor que 50 m (por ejemplo: gravas y arenas muy densas y compactas; suelos cohesivos muy duros con cohesión mayor que 0,2 MN/m²)	$< 700$ y $\geq 400$	$\geq 30$ $0,3 \leq \sigma_{ad} < 2$
Tipo II	Intermedios	a) Suelos rígidos con profundidad de manto mayor que 50 m (por ejemplo: gravas y arenas muy densas y compactas; suelos cohesivos muy duros con cohesión mayor que 0,2 MN/m²)	$< 700$ y $400$	$\geq 30$ $0,3 \leq \sigma_{ad} < 2$
		b) Suelos de características intermedias con profundidad de manto mayor que 8 m (por ejemplo: suelos granulados medianamente densos; suelos cohesivos de consistencia dura con cohesión entre 0,07 y 0,2 MN/m²)	100 a 400	granulares $\geq 15$ y $< 30$ cohesivos $\geq 10$ y $< 15$ $0,1 \leq \sigma_{ad} < 0,3$
Tipo III	Blandos	Suelos granulares poco densos; suelos cohesivos blandos o semiduros (cohesión menor que 0,05 MN/m²); suelos colapsables	$< 100$	$< 10$ $\sigma_{ad} < 0,1$



# CIMENTACIONES PARA MAQUINAS

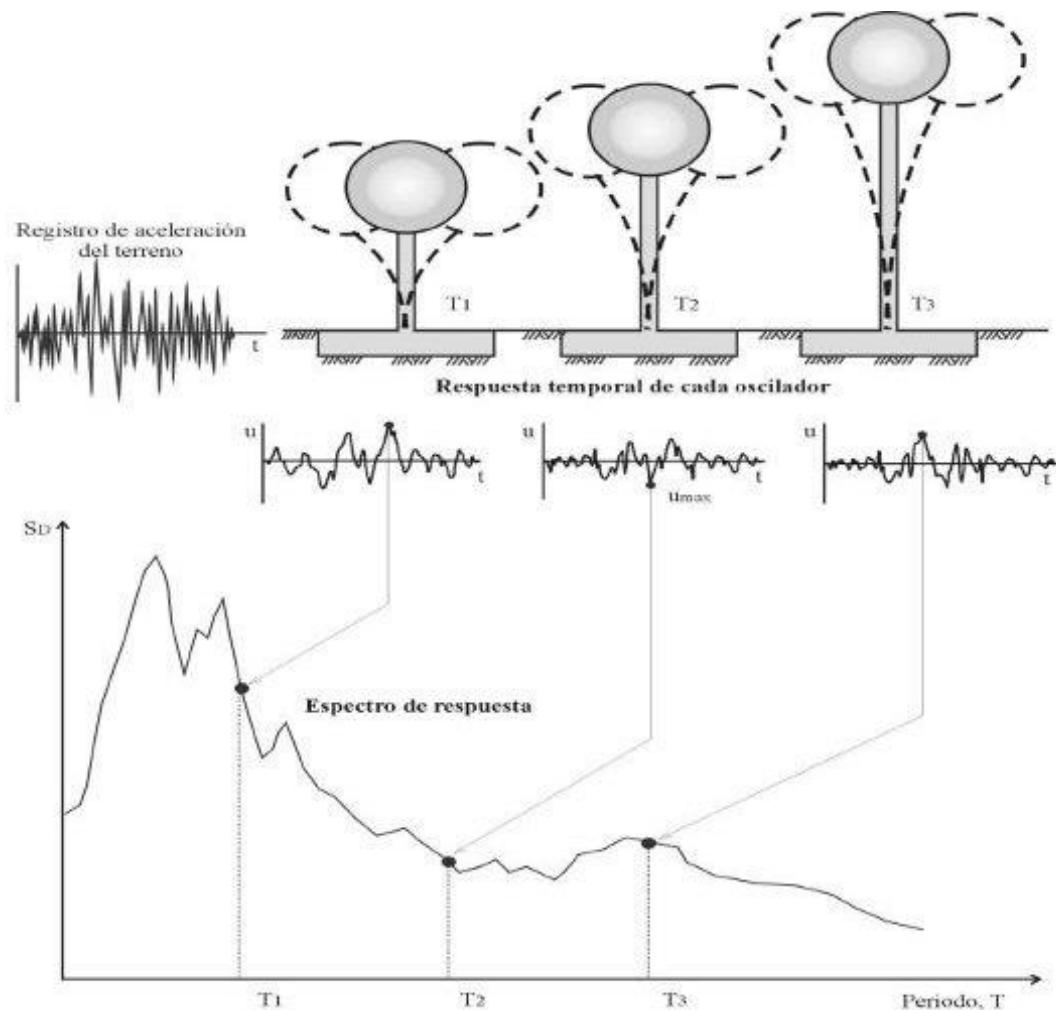
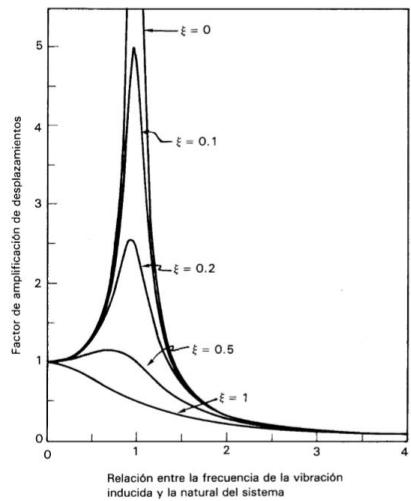
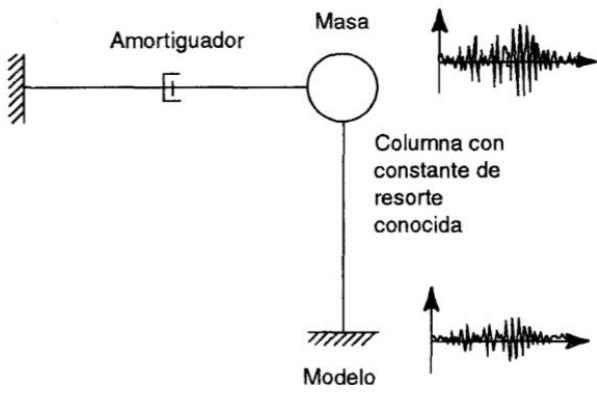
**INCIDENCIA DEL SISMO EN  
CIMENTACIONES SUPERFICIALES  
Y PROFUNDAS**



# CIMENTACIONES BAJO ACCIÒN DINAMICA

## ACCIONES SISMICAS

### Concepto Ingenieril del Espectro de Respuesta

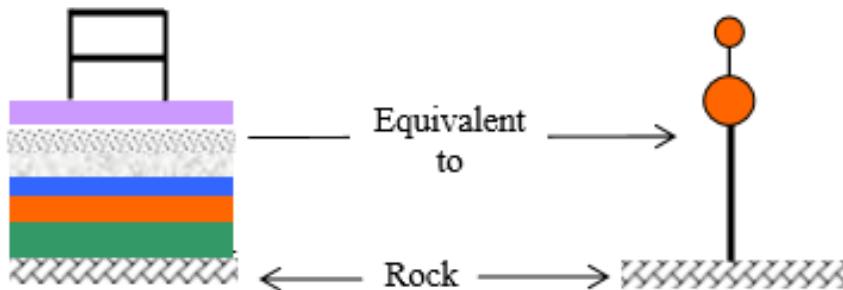




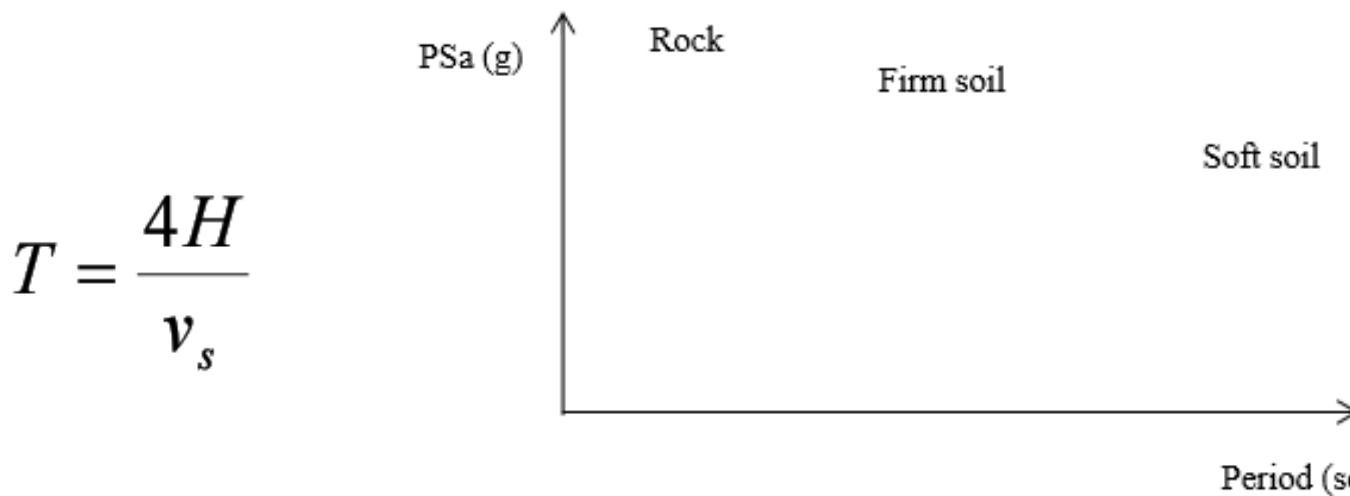
# CIMENTACIONES BAJO ACCIÒN DINAMICA

## ACCIONES SISMICAS

### Períodos Propios del suelo



- Softer and deeper soils will have (shorter, longer) predominant frequency content

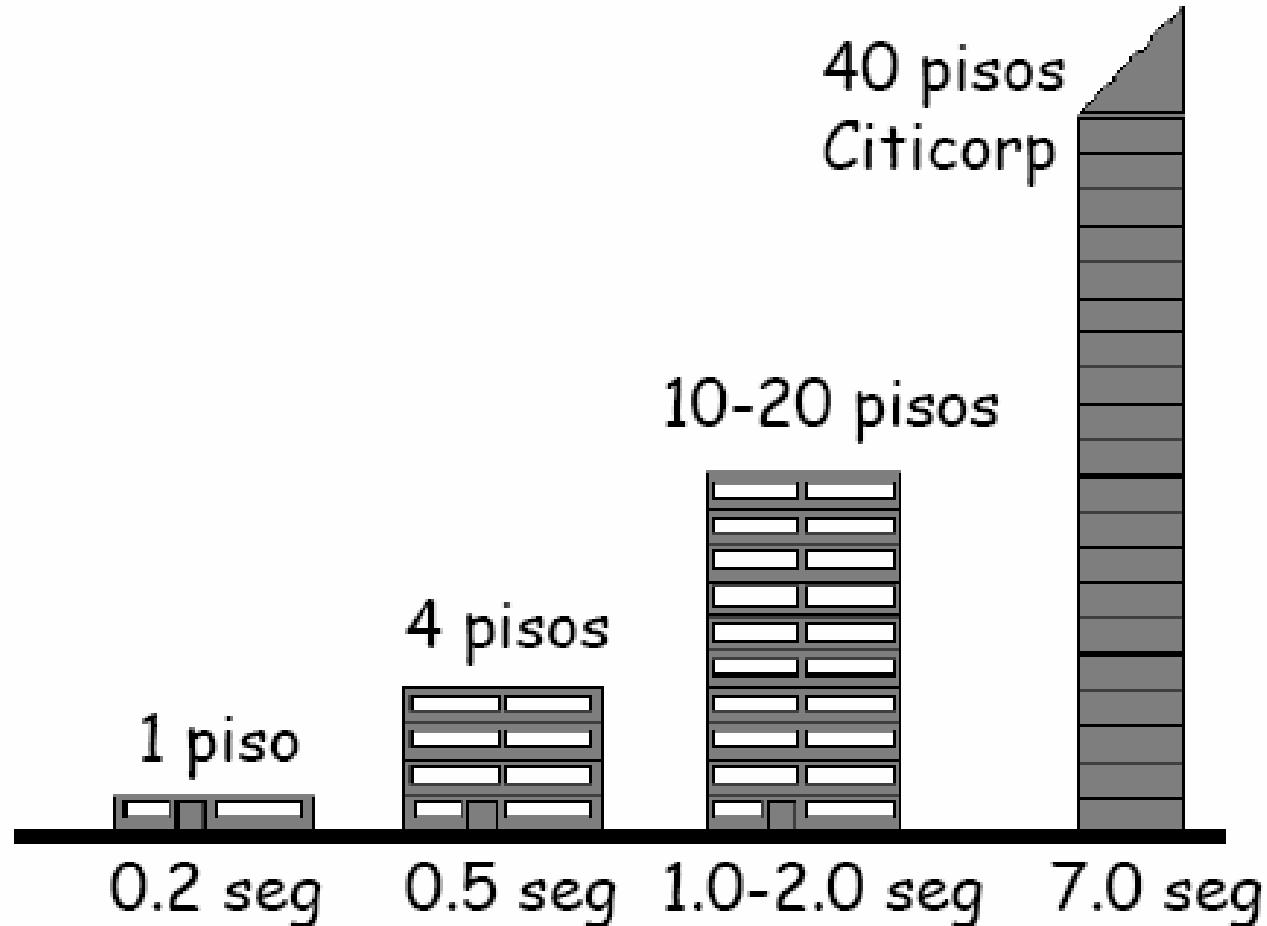


# CIMENTACIONES BAJO ACCIÒN DINAMICA



## ACCIONES SISMICAS

Períodos Fundamentales de vibración de edificios



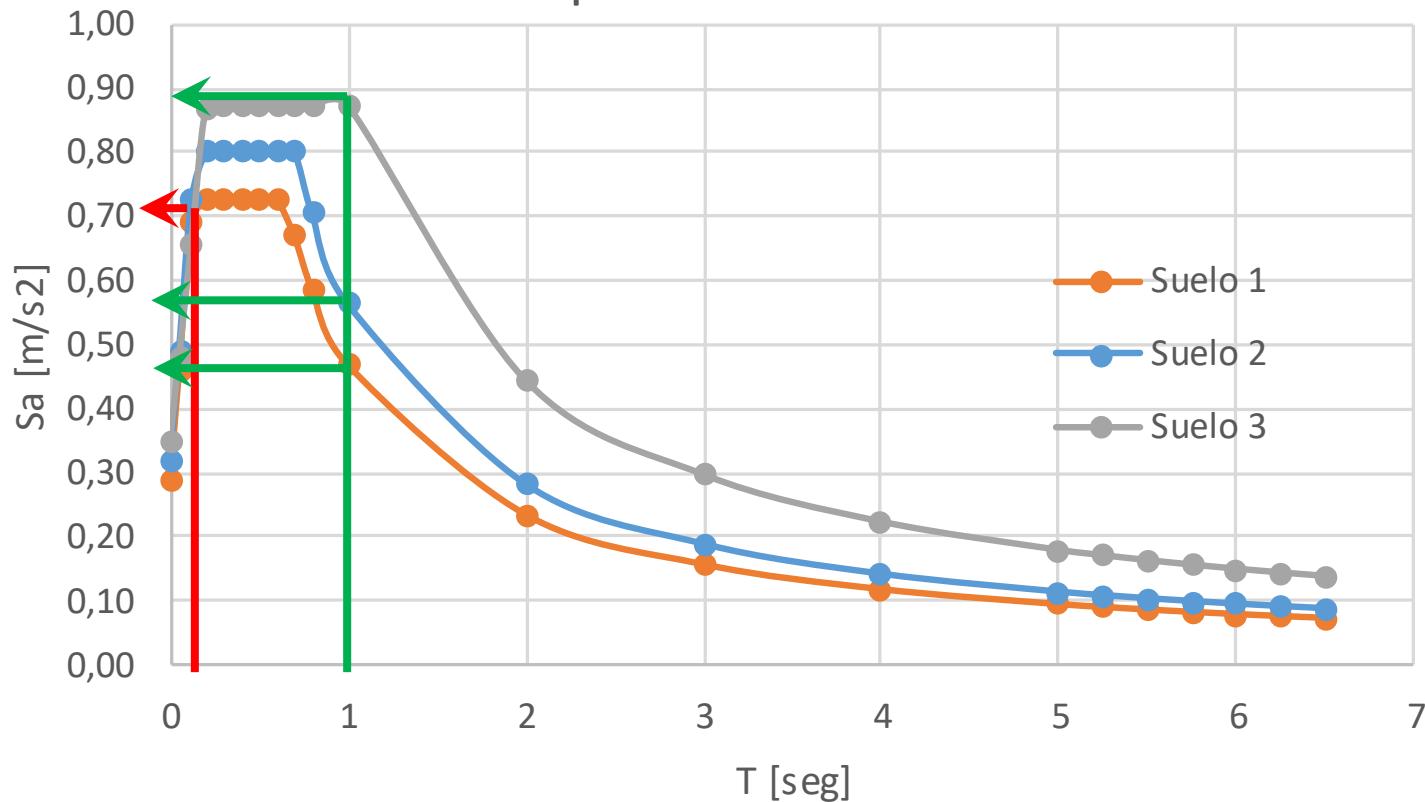


# CIMENTACIONES BAJO ACCIÒN DINAMICA

## ACCIONES SISMICAS

### Períodos Propios y Naturales

Espectros Zona 3

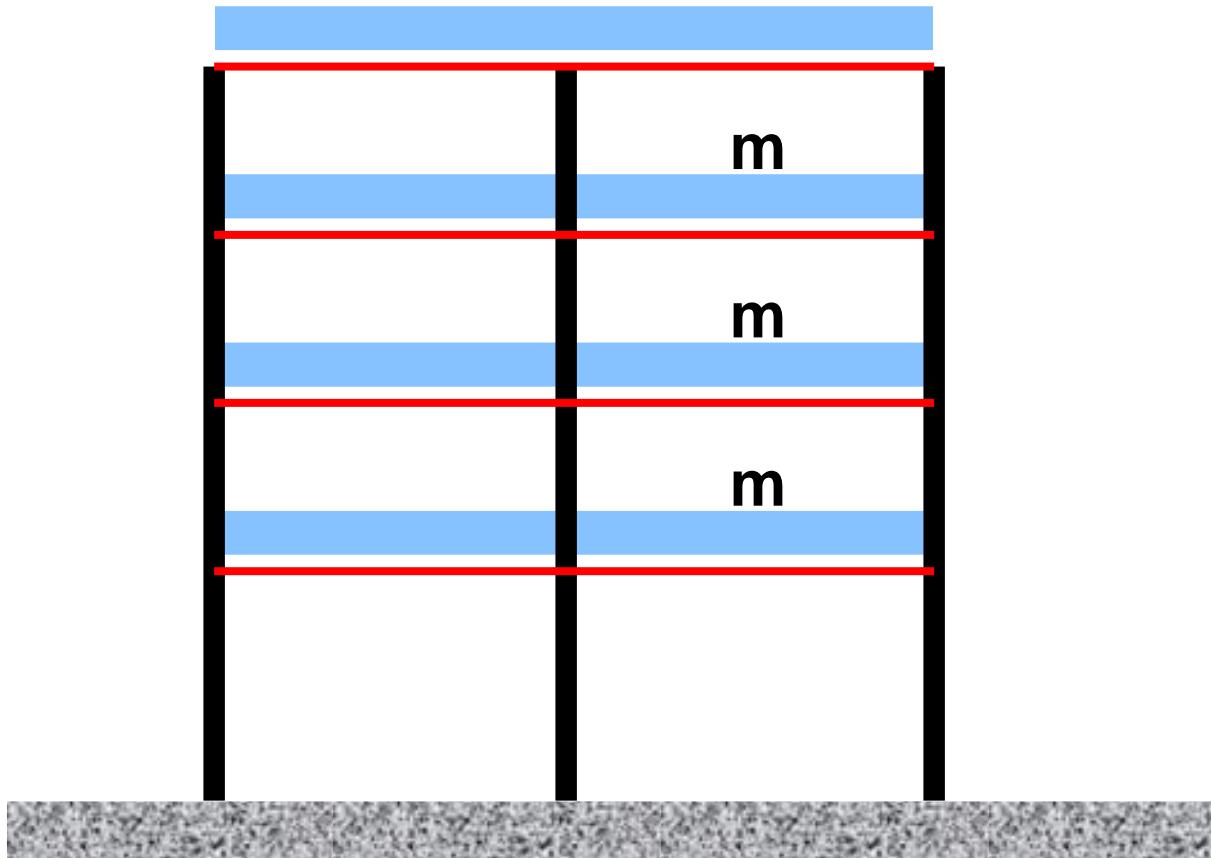


# CIMENTACIONES BAJO ACCIÓN DINAMICA



## ACCIONES SISMICAS

### Análisis Modal

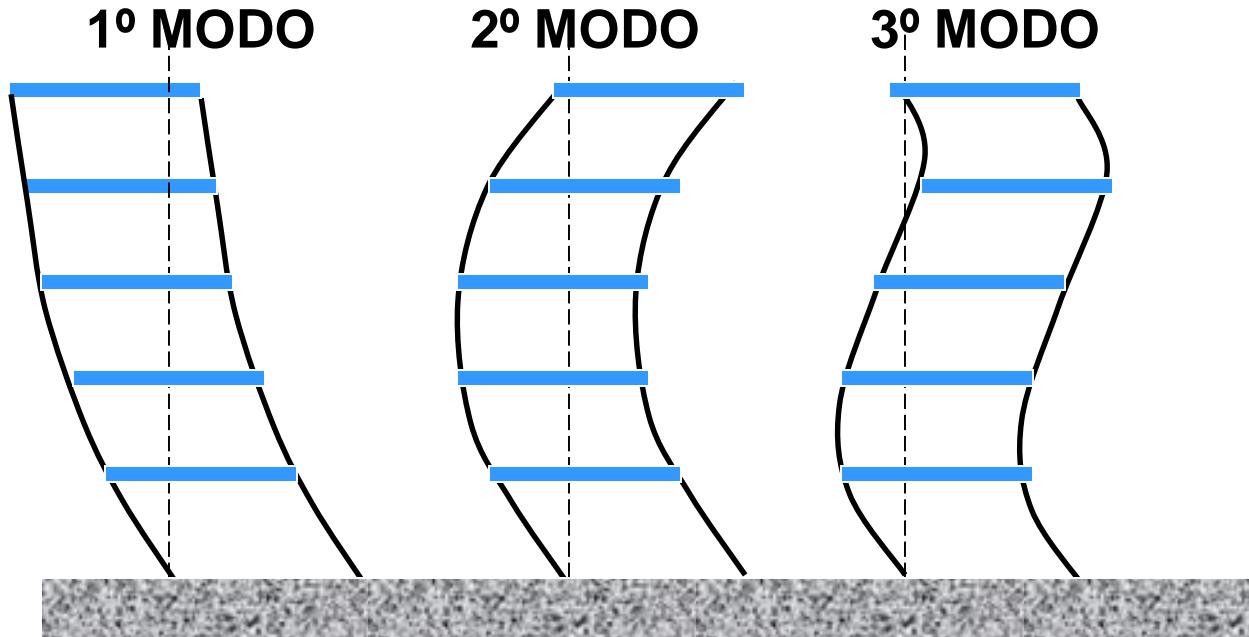


# CIMENTACIONES BAJO ACCIÒN DINAMICA



## ACCIONES SISMICAS

### Análisis Modal



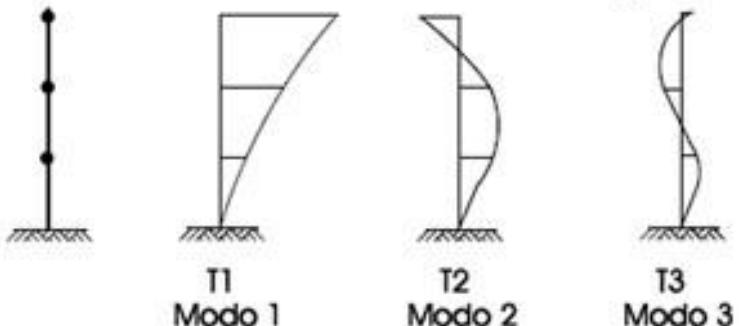
## ANALISIS MODAL DINAMICO



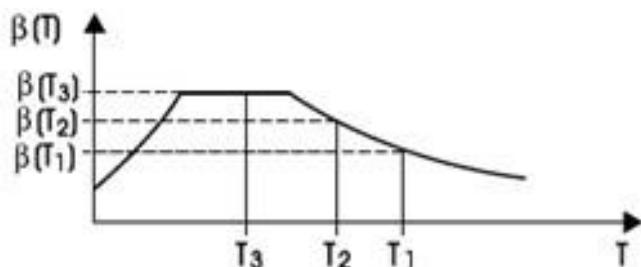
# CIMENTACIONES BAJO ACCIÒN DINAMICA

## ACCIONES SISMICAS - Análisis Modal

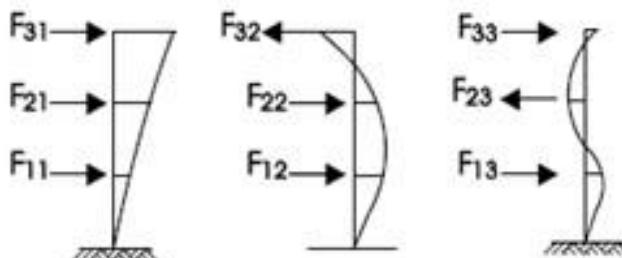
Paso 1 : Recuento de los modos de deformadas y periodos



Paso 2 : Lectura del espectro de la respuesta



Paso 3 : Respuestas modales

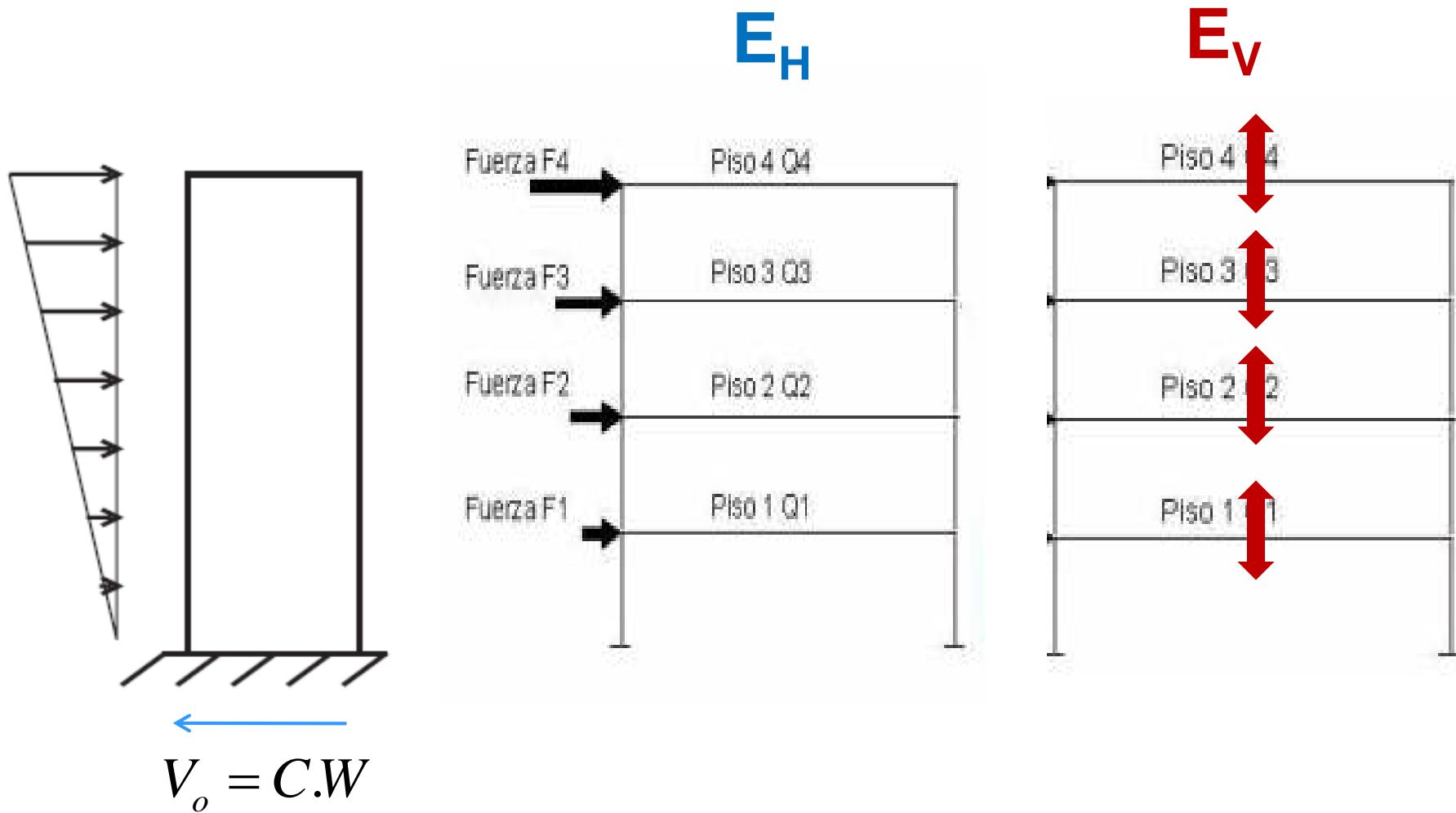


# CIMENTACIONES BAJO ACCIÒN DINAMICA



## ACCIONES SISMICAS

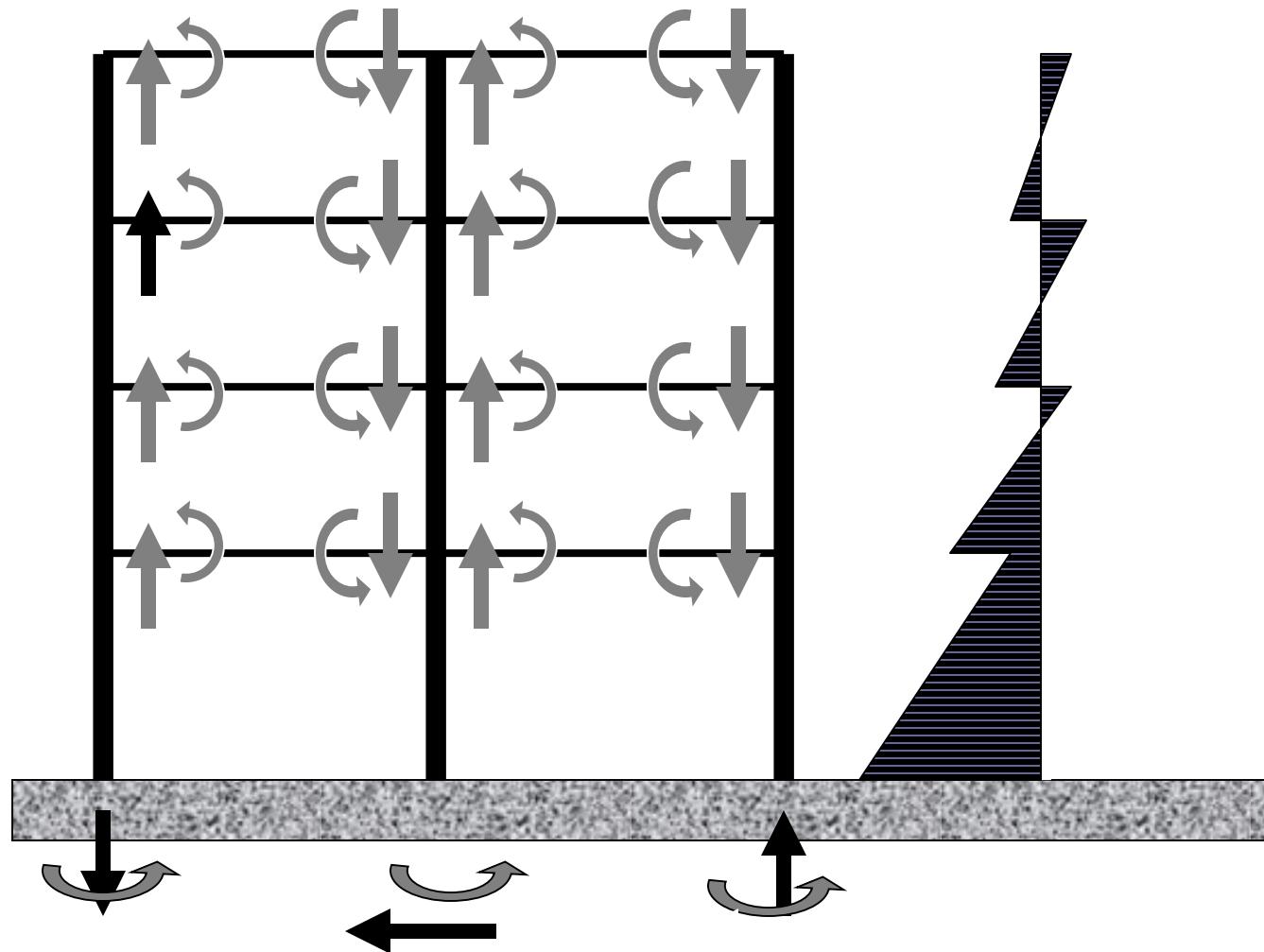
### Método Estático Equivalente



# CIMENTACIONES BAJO ACCIÒN DINAMICA

## ACCIONES SISMICAS

**Solicitaciones**



# CIMENTACIONES BAJO ACCIÓN DINAMICA



## MAGNITUD DE LAS ACCIONES

**Acción del Viento vs acción del Sismo**

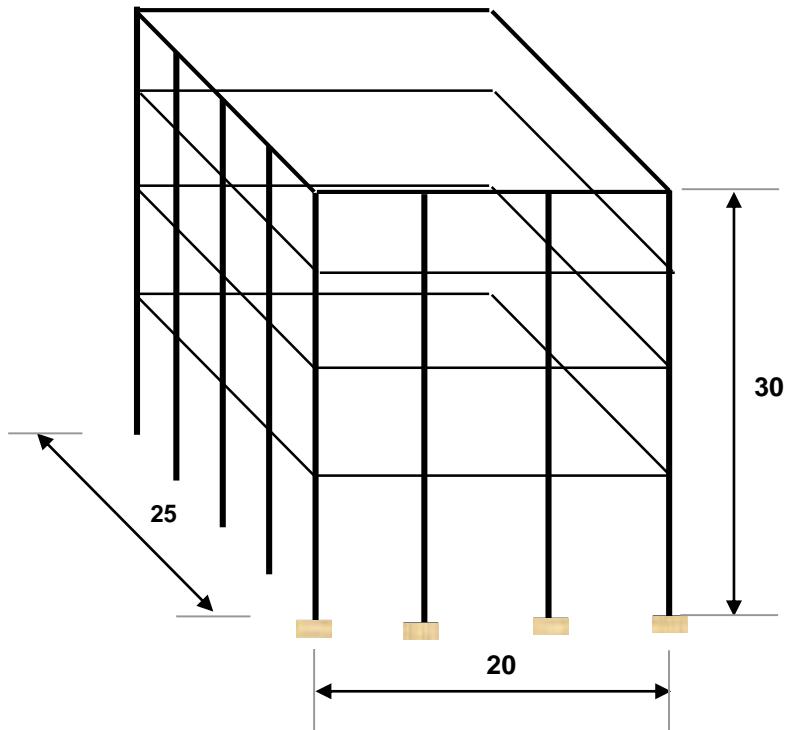


# CIMENTACIONES BAJO ACCIÓN DINAMICA

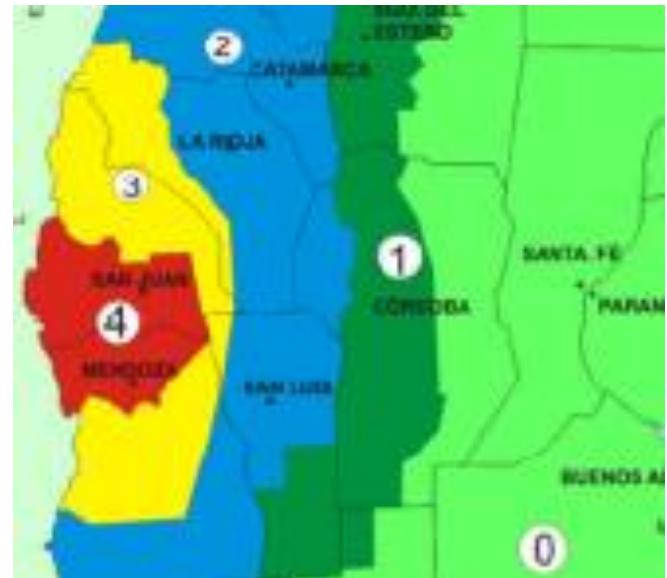


## MAGNITUD DE LAS ACCIONES

Acción del Viento vs acción del Sismo



Edificio de 10 pisos de 3m c/u  
Tipo Estructural: Tabiques y Pórticos  
Planta 20 x 25m  
Período T = 0.8 seg

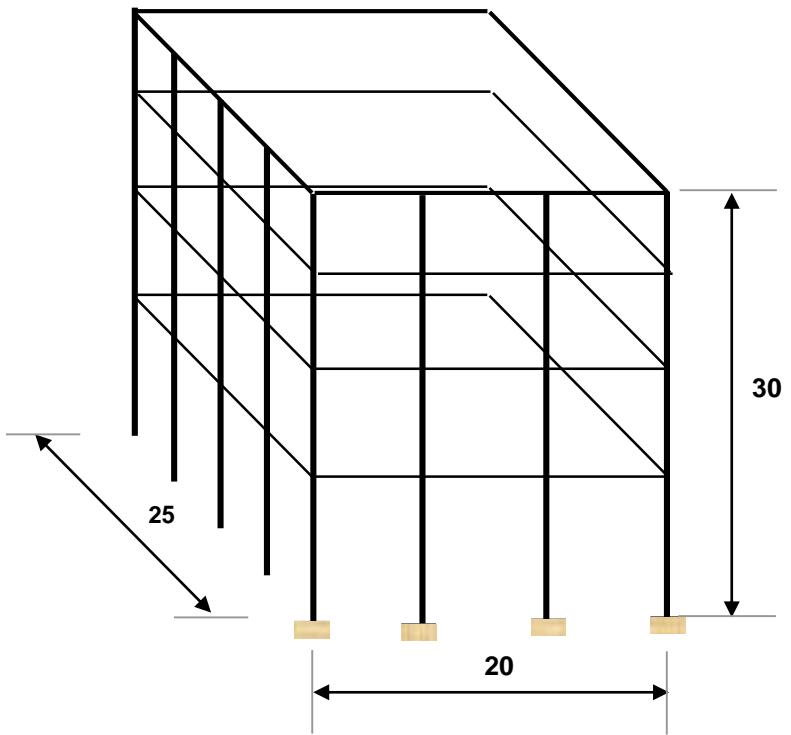




# CIMENTACIONES BAJO ACCIÓN DINAMICA

## MAGNITUD DE LAS ACCIONES

### Acción del Viento vs acción del Sismo



Sismo

Período  $T = 0.8$  seg

$$\text{Peso } W = 20 \times 25 \times 1.0 \text{t/m}^2 \times 10 = 5000 \text{t}$$

$$S_a = 0.25 \text{ (Zona 1 s/CIRSOC 103)}$$

$$V = S_a \cdot W = 0.25 \cdot 5000 \text{t} = 1250 \text{t}$$

Viento

Carga = 200kg/m<sup>2</sup>

Cara Mayor ( $25 \times 30 = 750 \text{m}^2$ )

$$W_u = 1,60 (200 \text{kg/m}^2 \times 750 \text{m}^2) = 240 \text{t}$$

Cara Menor ( $20 \times 30 = 600 \text{m}^2$ )

$$W = 1,60 (200 \text{kg/m}^2 \times 600 \text{m}^2) = 192 \text{t}$$

Fuerza Sísmica / Fuerza Viento =  $1250/240 = 5$  veces!!!

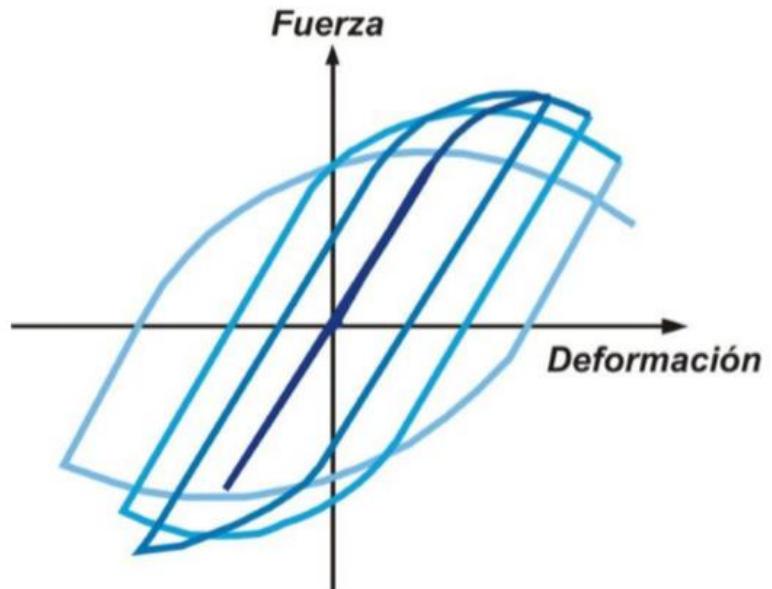
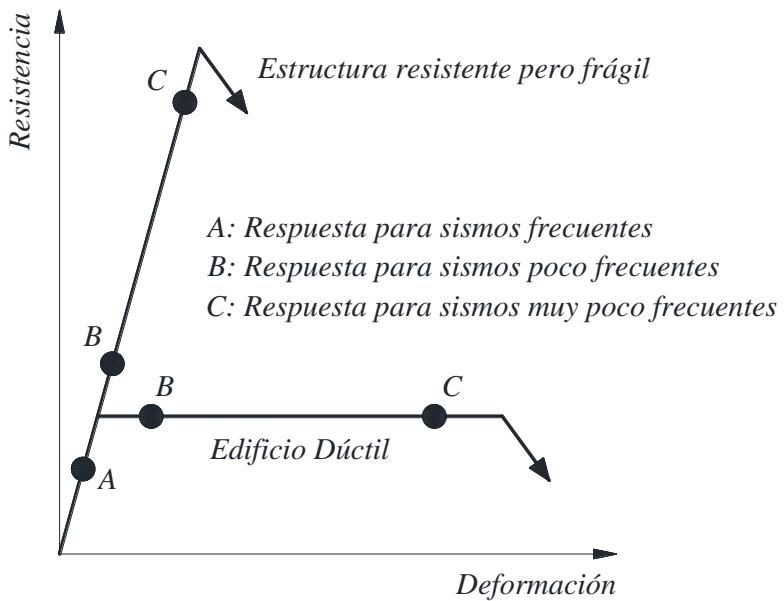




# CIMENTACIONES BAJO ACCIÓN DINAMICA

## RESPUESTA INELÁSTICA DE LA ESTRUCTURA

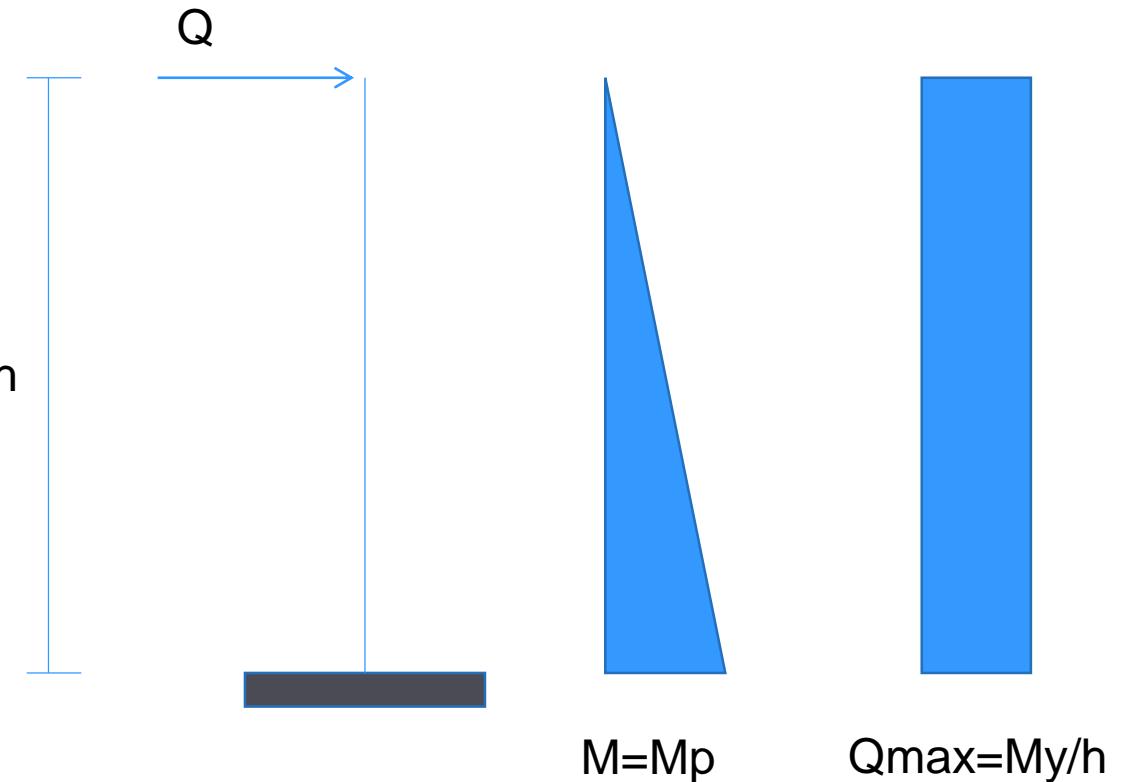
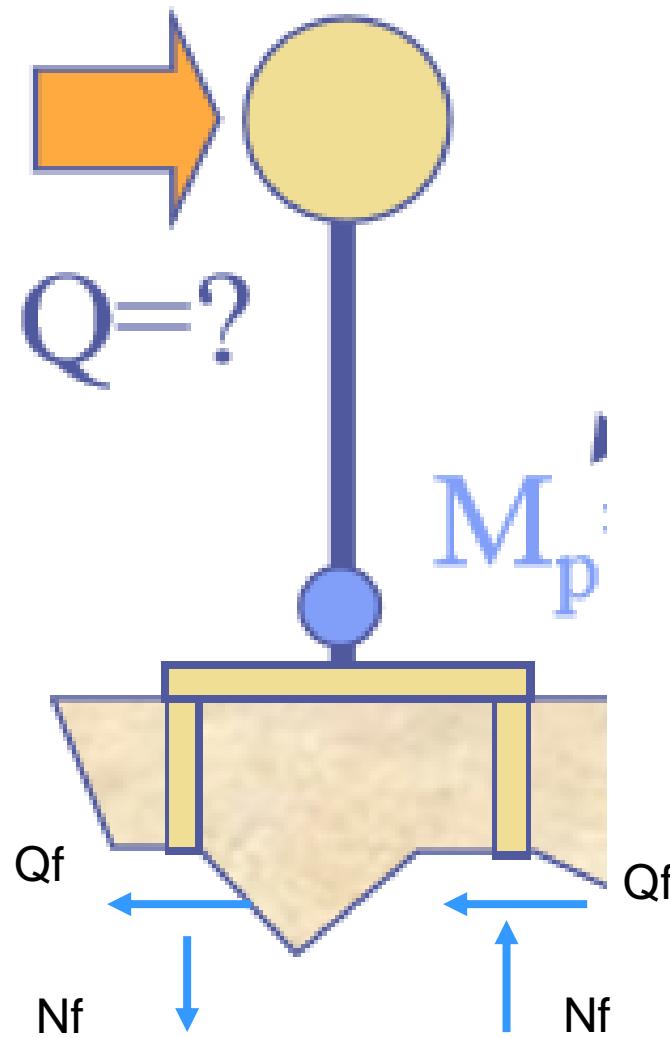
- Puedo **diseñar** la estructura **para una acción mucho menor** que la de Respuesta Elástica.  
Por ejemplo 5 veces menos  $\rightarrow V = 1250/5 = 250$  t (ÚLTIMO)
- Se evita el colapso (**vidas a salvo**), pero puede quedar totalmente dañado, incluso para demolerse



# CIMENTACIONES BAJO ACCIÒN DINAMICA



## RESPUESTA INELÁSTICA DE LA ESTRUCTURA



Solicitudes mínimas de diseño de la fundación

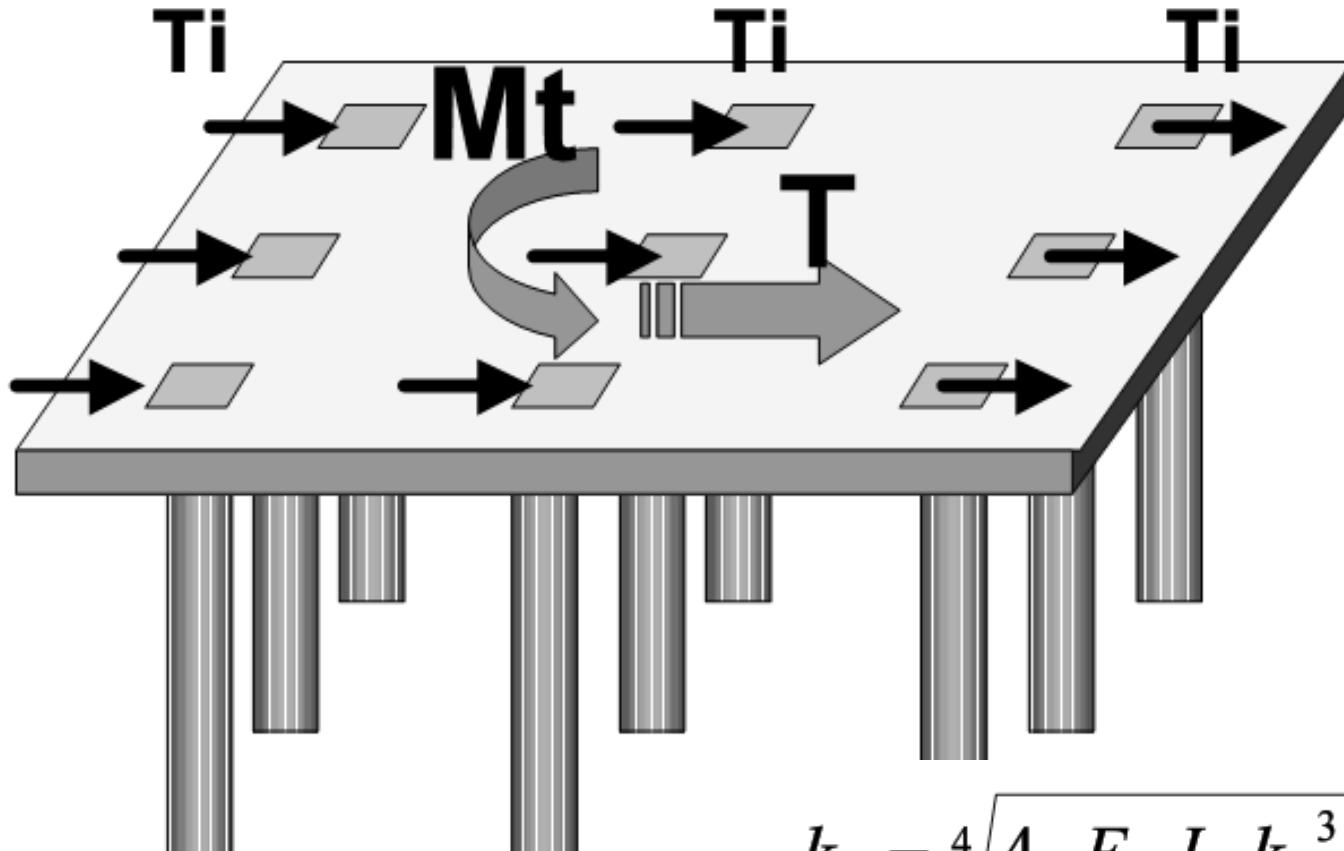
$$\left. \begin{array}{l} N_f = \text{Cargas gravitatorias} \pm M_p/L_f \\ Q_f = 0,5 * M_p/h \end{array} \right\}$$

# CIMENTACIONES BAJO ACCIÒN DINAMICA



ACCIONES SISMICAS

FUNDACIONES PROFUNDAS - SOLICITACIONES



$$k_o = \sqrt[4]{4 \cdot E \cdot I \cdot k_h^3 \cdot D^3}$$

# CIMENTACIONES BAJO ACCIÒN DINAMICA

ACCIONES SISMICAS

FUNDACIONES PROFUNDAS - SOLICITACIONES

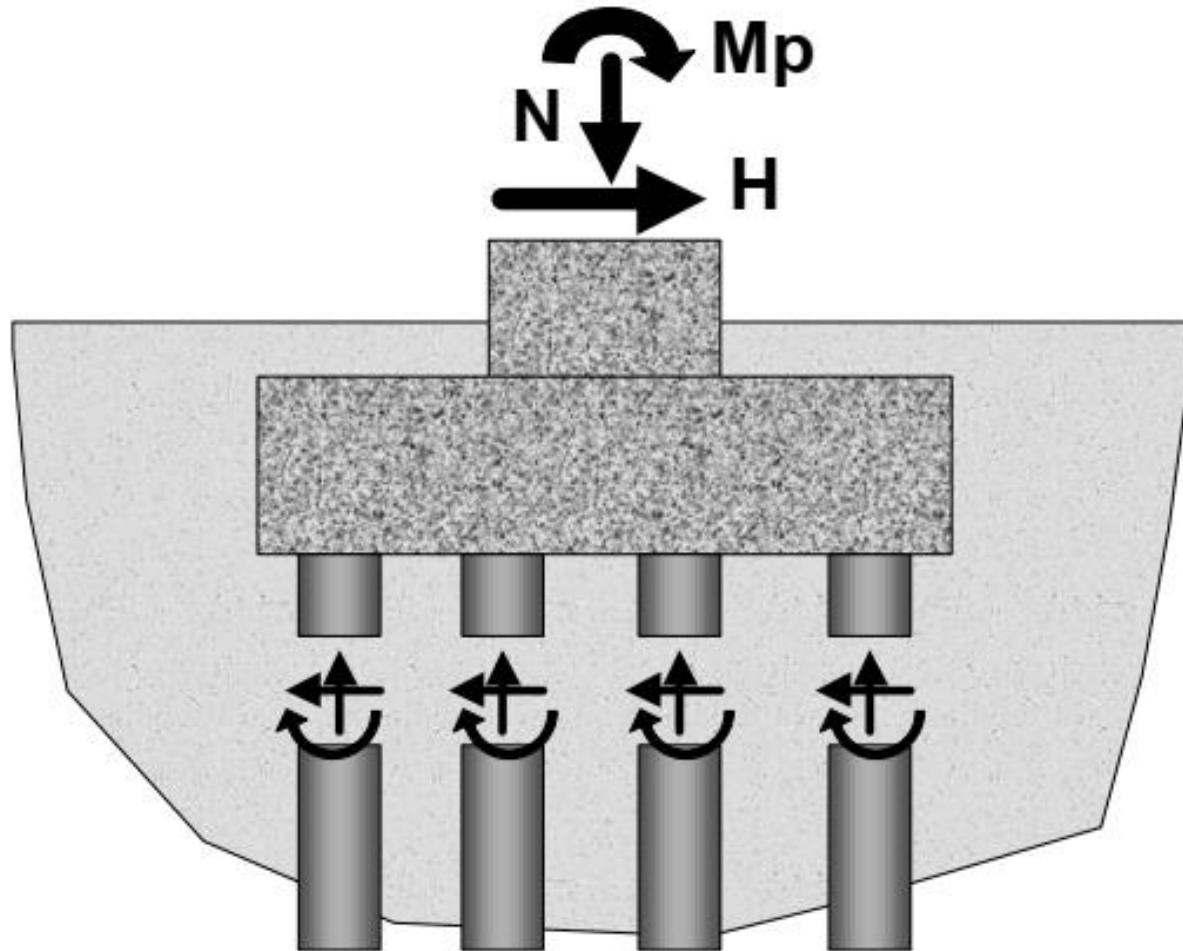


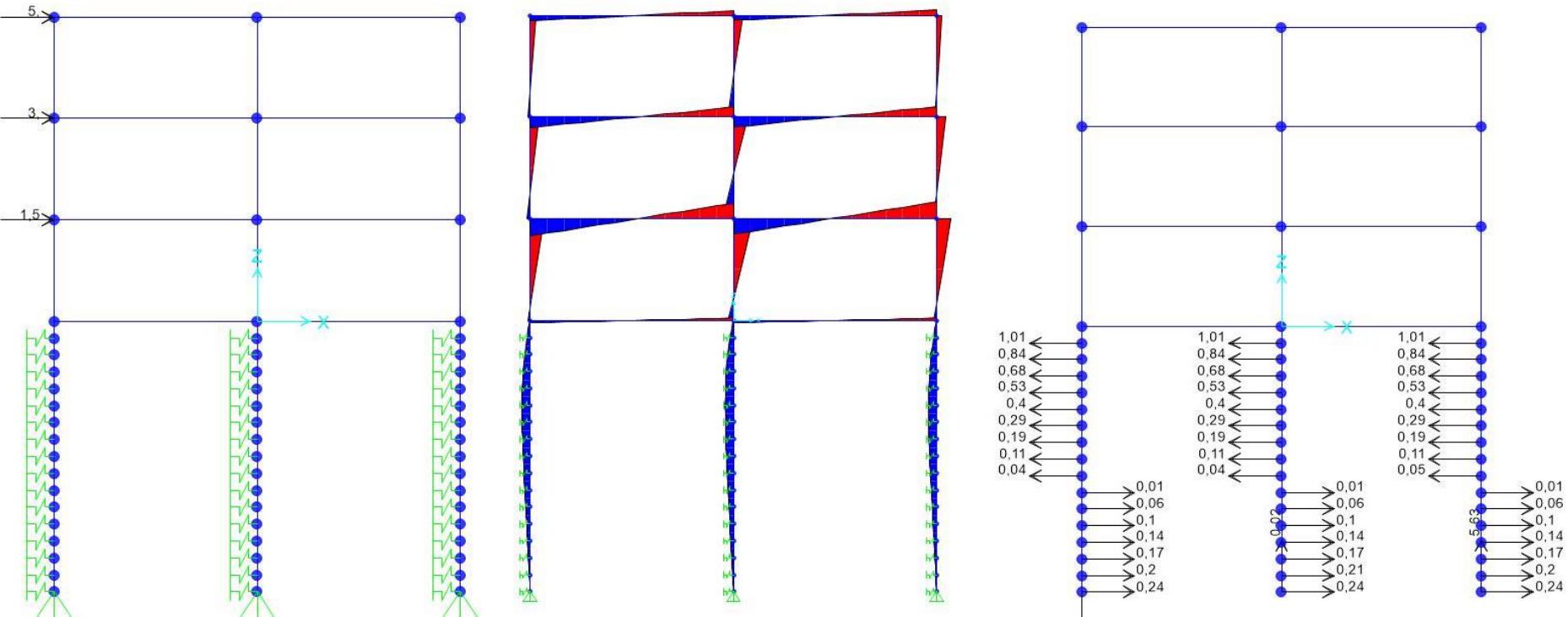
Figura 13. Distribución de solicitudes en el cabezal de pilotes



# CIMENTACIONES BAJO ACCIÒN DINAMICA

## ACCIONES SISMICAS

## FUNDACIONES PROFUNDAS SOLICITACIONES

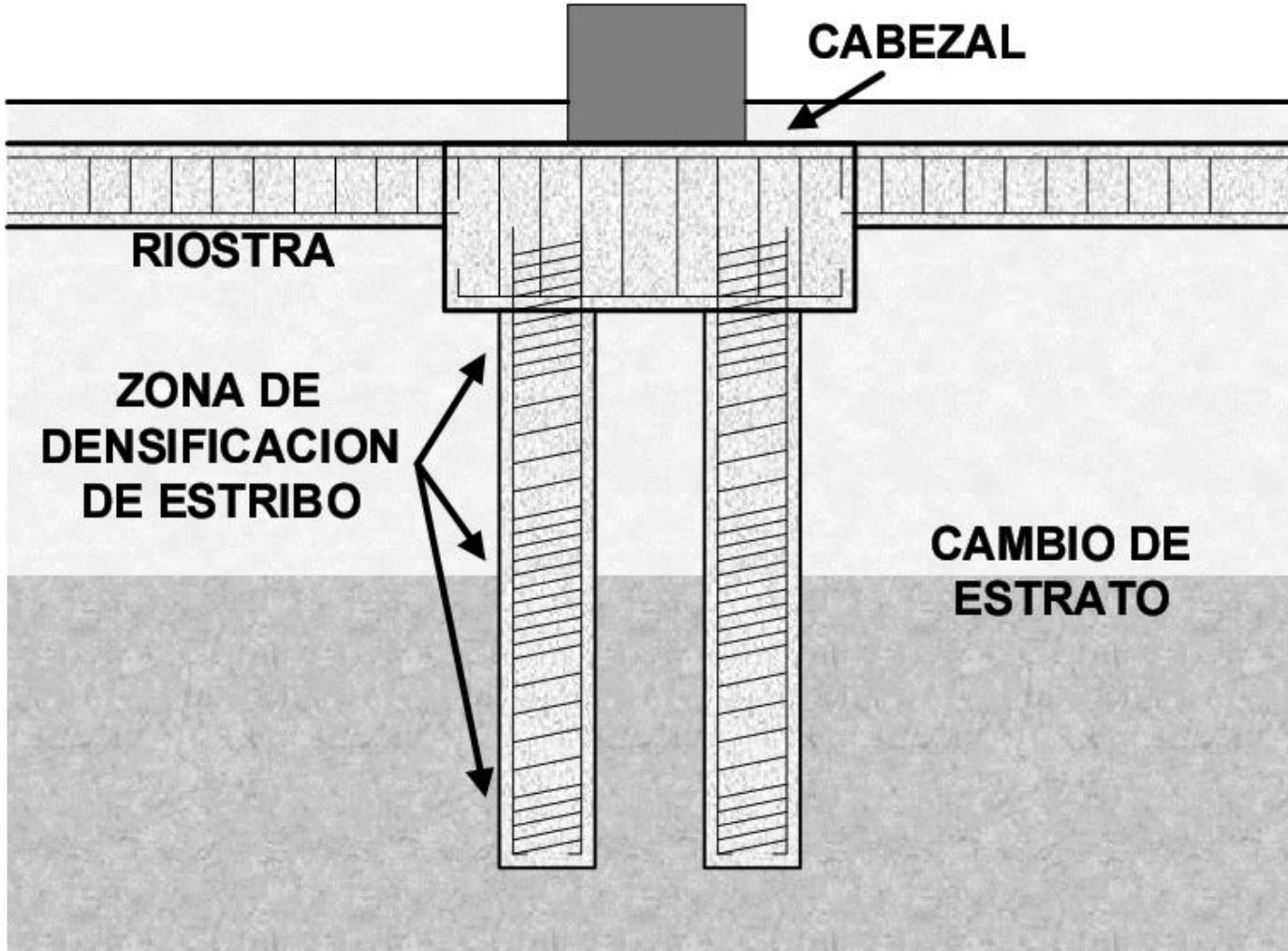


# CIMENTACIONES BAJO ACCIÒN DINAMICA



ACCIONES SISMICAS

FUNDACIONES PROFUNDAS



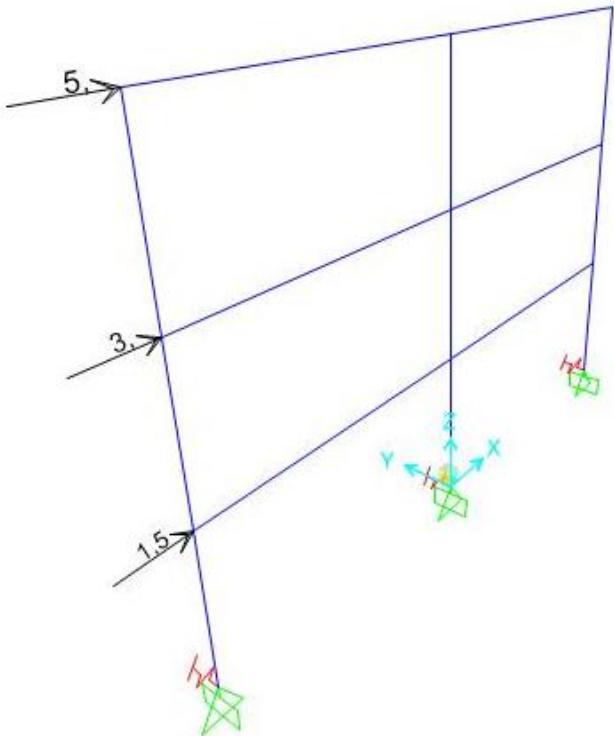
# CIMENTACIONES BAJO ACCIÒN DINAMICA



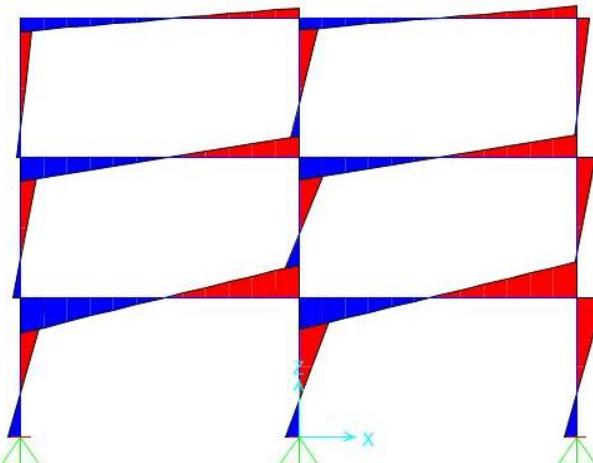
**ACCIONES SISMICAS**

**FUNDACIONES SUPERFICIALES**

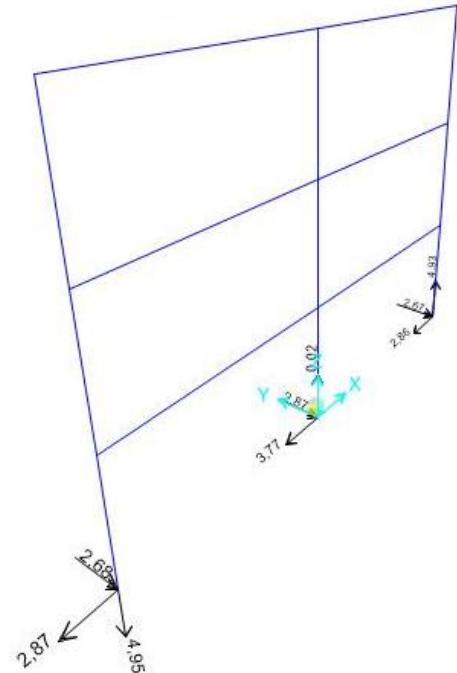
**Solicitaciones en bases aisladas**



Modelo



Momentos



Reacciones

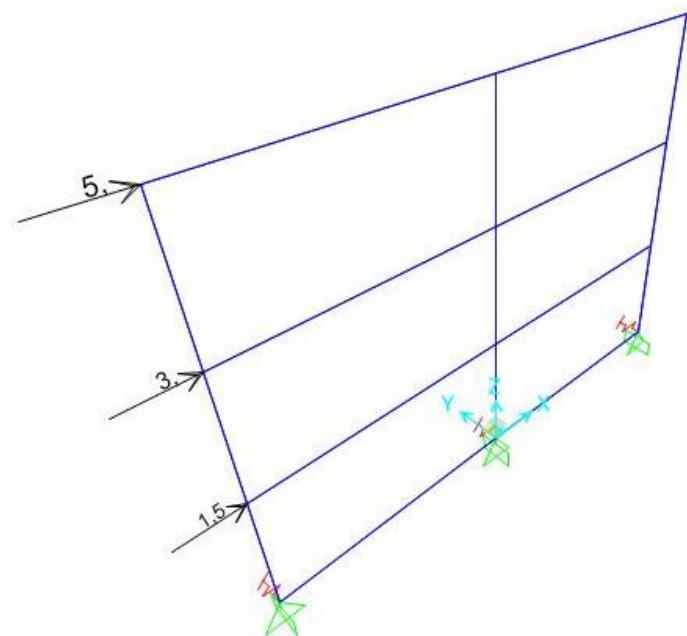
# CIMENTACIONES BAJO ACCIÒN DINAMICA



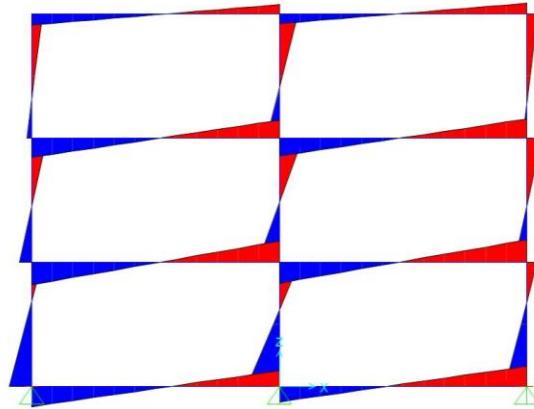
ACCIONES SISMICAS

FUNDACIONES SUPERFICIALES

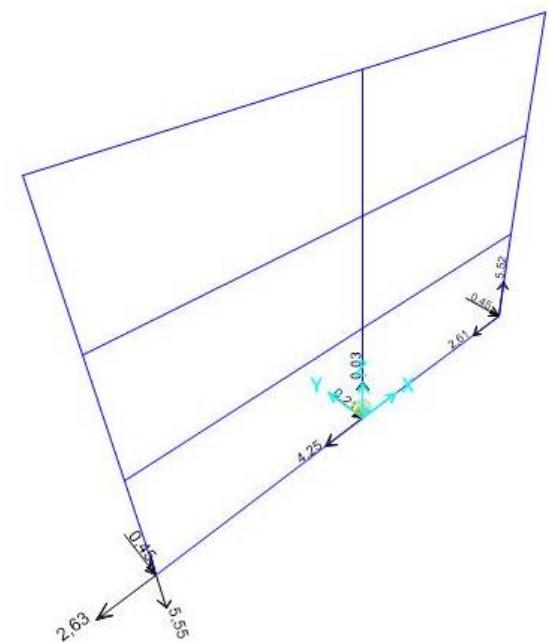
Solicitaciones en bases arriostradas



Modelo



Momentos



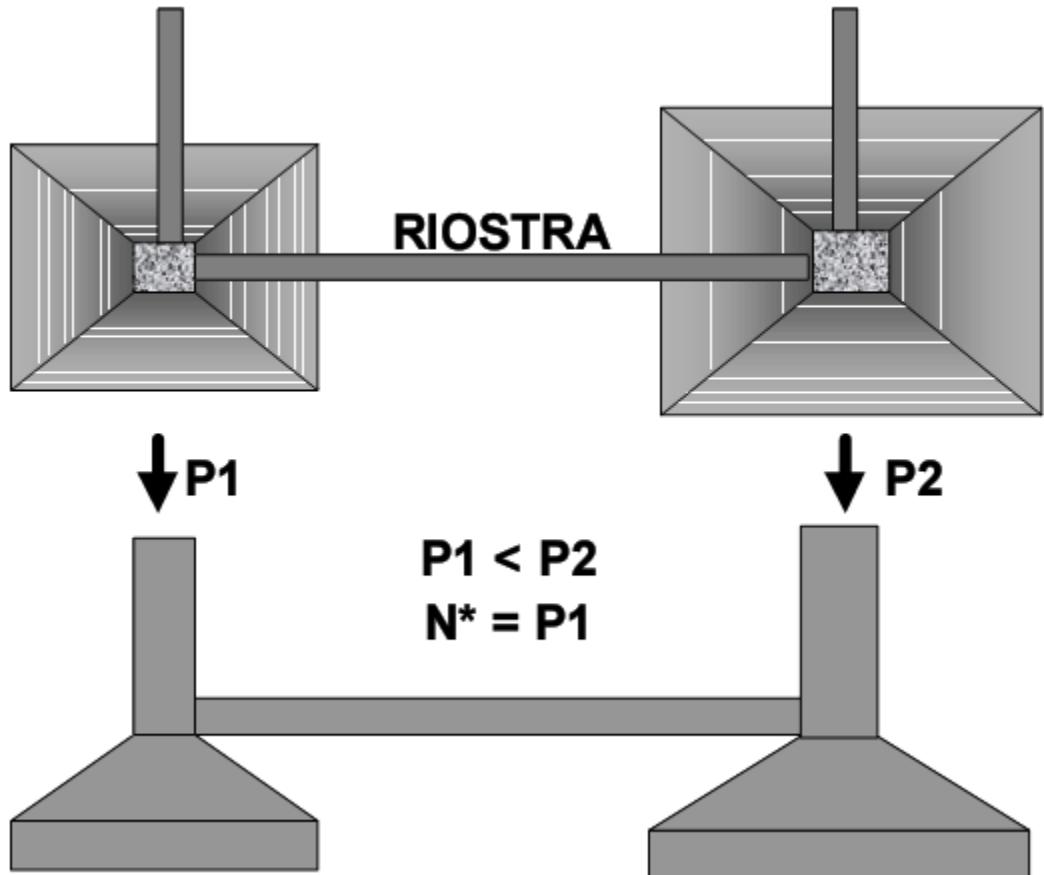
Reacciones

# CIMENTACIONES BAJO ACCIÒN DINAMICA

## ACCIONES SISMICAS

### ARRIOSTRAMIENTO DE LAS FUNDACIONES

$$N_{ru} = \pm \gamma_t \cdot c \cdot N^*$$



$\gamma_t$  es un coeficiente que depende del tipo de suelo

c es el coeficiente sísmico estático

N\* es la menor de las cargas verticales de las dos columnas que la riostra une.

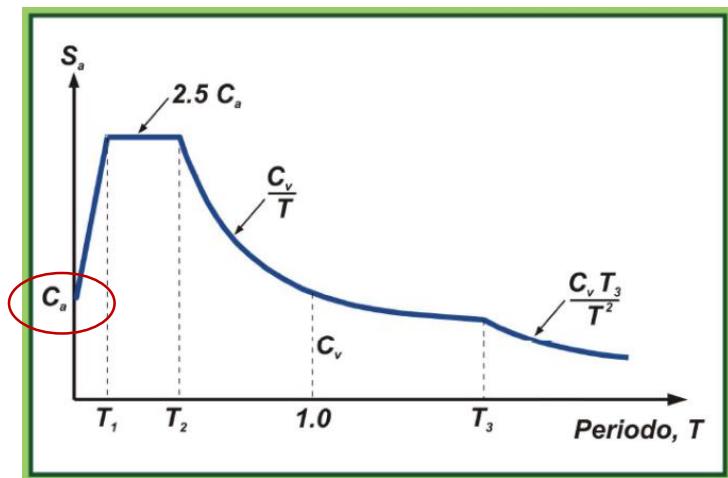
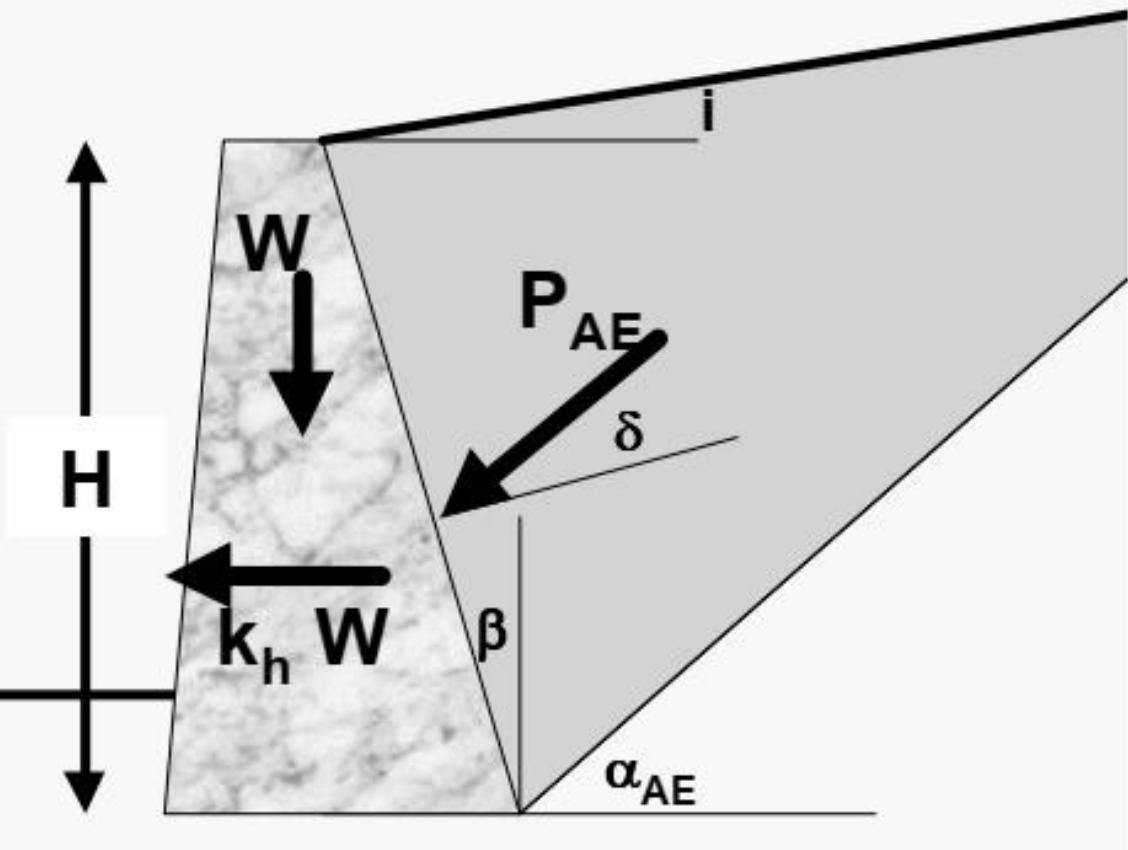


## MUROS DE SOSTENIMIENTO

# CIMENTACIONES BAJO ACCIÒN DINAMICA



## MUROS DE SOSTENIMIENTO



# CIMENTACIONES BAJO ACCIÒN DINAMICA



## MUROS DE SOSTENIMIENTO

**Tabla 2. Hipótesis Simplificativas de Mononobe y Okabe.**

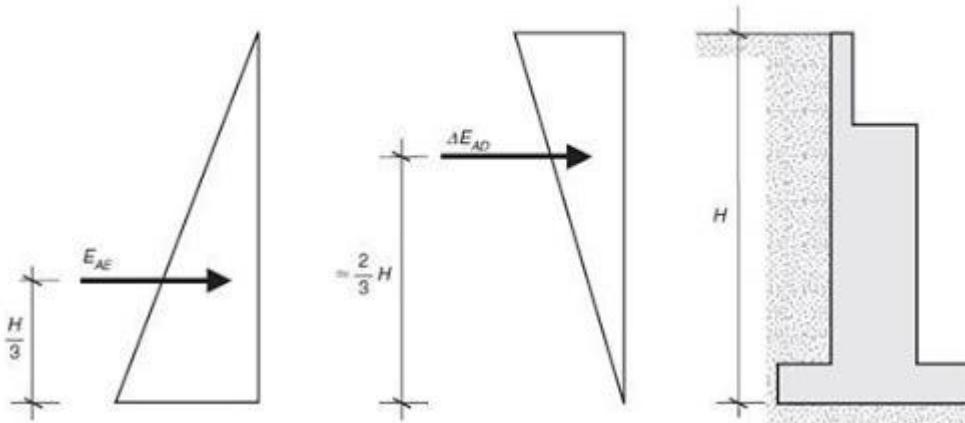
Característica	Hipótesis
Desplazamiento del Estribo	1/1000 a 5/1000 de la altura en la parte superior
Tipo de suelo	Granular, no saturado
Cuña de suelo	Comportamiento Rígido-Plástico. Sólido Rígido. Aceleraciones inducidas uniformes.
Superficie de falla	La superficie de falla del suelo de relleno es plana y pasa por el pie del muro.
Efectos de borde	El muro es lo suficientemente largo para considerar despreciables los efectos de borde.
Aceleración	Uniforme en toda la cuña deslizante.

# CIMENTACIONES BAJO ACCIÓN DINAMICA

## MUROS DE SOSTENIMIENTO



$$E_{AT} = E_{AE} + \Delta E_{AD}$$



$$k_{ad} = \frac{\cos^2(\varphi - \theta - \beta)}{\cos\theta \cdot \cos^2\beta \cdot \cos(\delta + \beta + \theta) \cdot K} \quad \Delta k_{as} = k_{ad} - k_a$$

donde

$\theta$  = atang ( $k_h / (1-k_v)$ )

$\delta$  es el ángulo de fricción suelo - muro

$\beta$  es la inclinación interior del muro

$i$  es la pendiente del relleno

$K$  coeficiente de la forma

$$K = \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \cdot \sin(\varphi - \theta - i)}{\cos(\delta + \beta + \theta) \cdot \cos(i - \beta)}} \right]^2$$



# CIMENTACIONES BAJO ACCIÒN DINAMICA

## MUROS DE SOSTENIMIENTO

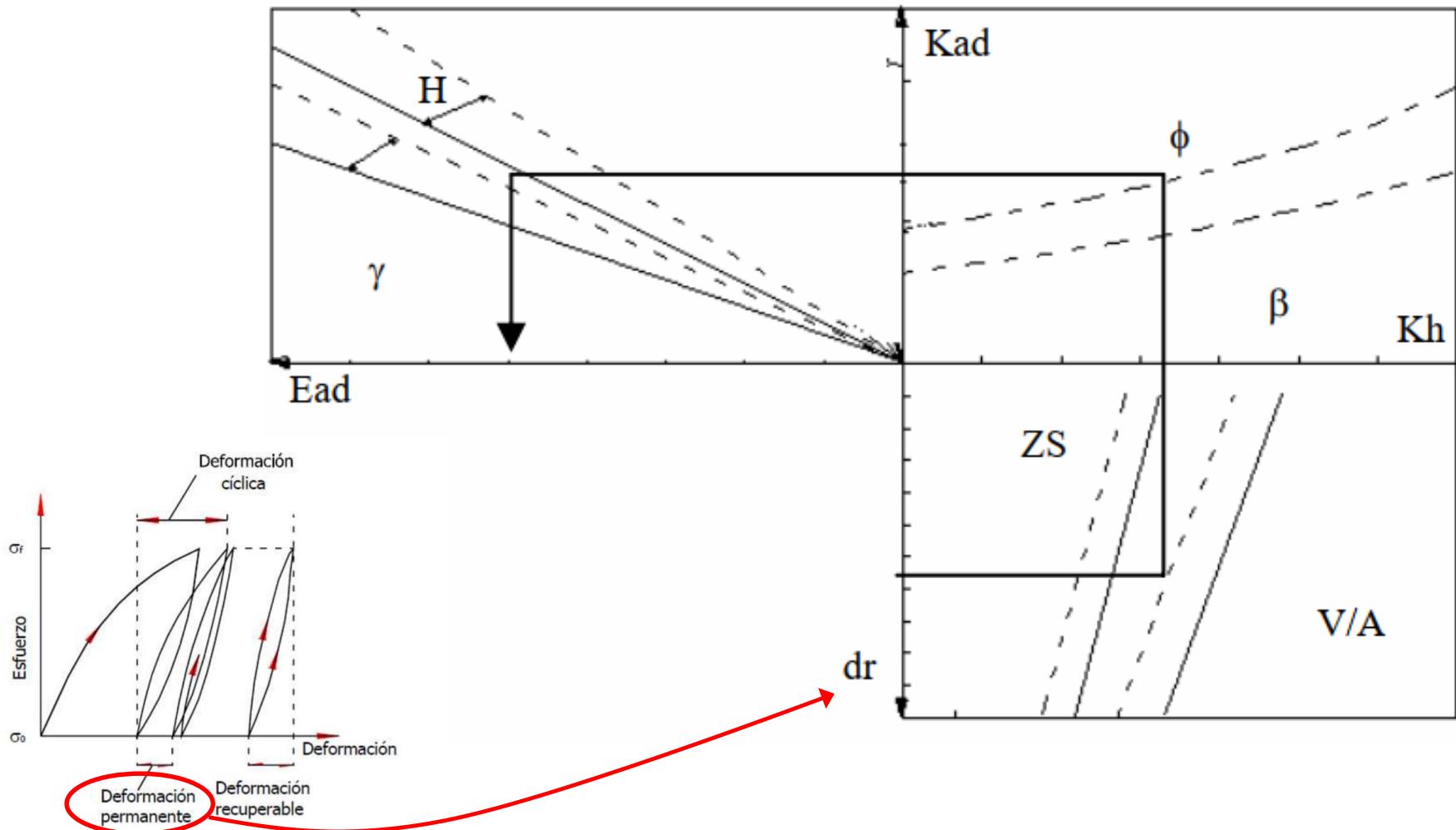
Hipótesis	Métodos	
Desplazamientos restringidos	Okabe (1926) y Mononobe (1929) Kapila (1962) Arango (1969) Matsuo y O'Hara (1960)	
	Métodos simplificados	Seed y Whitman (1970) Terzariol et al. (1987b)
Desplazamientos controlados	Richards y Elms (1979) Zarrabi (1979) Wong (1982) Terzariol et al. (1987a)	



# CIMENTACIONES BAJO ACCIÒN DINAMICA

## MUROS DE SOSTENIMIENTO

### Método de Terzariol



# CIMENTACIONES PARA MAQUINAS

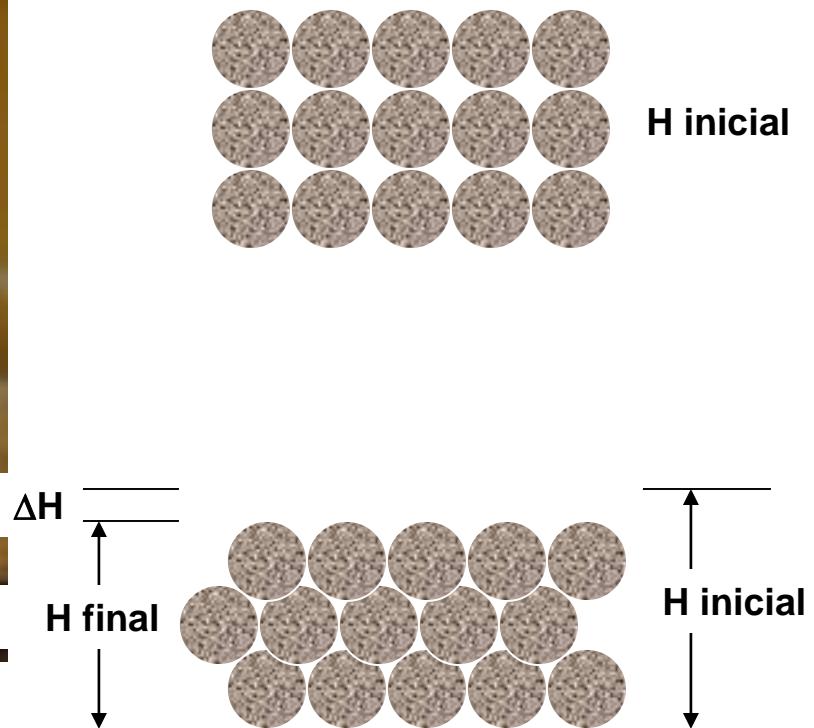


## LICUACION DE SUELOS

# CIMENTACIONES PARA MAQUINAS

## LICUACION

$$\tau = \sigma' \cdot tn\varphi = (\sigma - u) \cdot \operatorname{tg} \varphi$$





# CIMENTACIONES PARA MAQUINAS

## EJEMPLOS



NIIGATA, 1964



# CIMENTACIONES PARA MAQUINAS

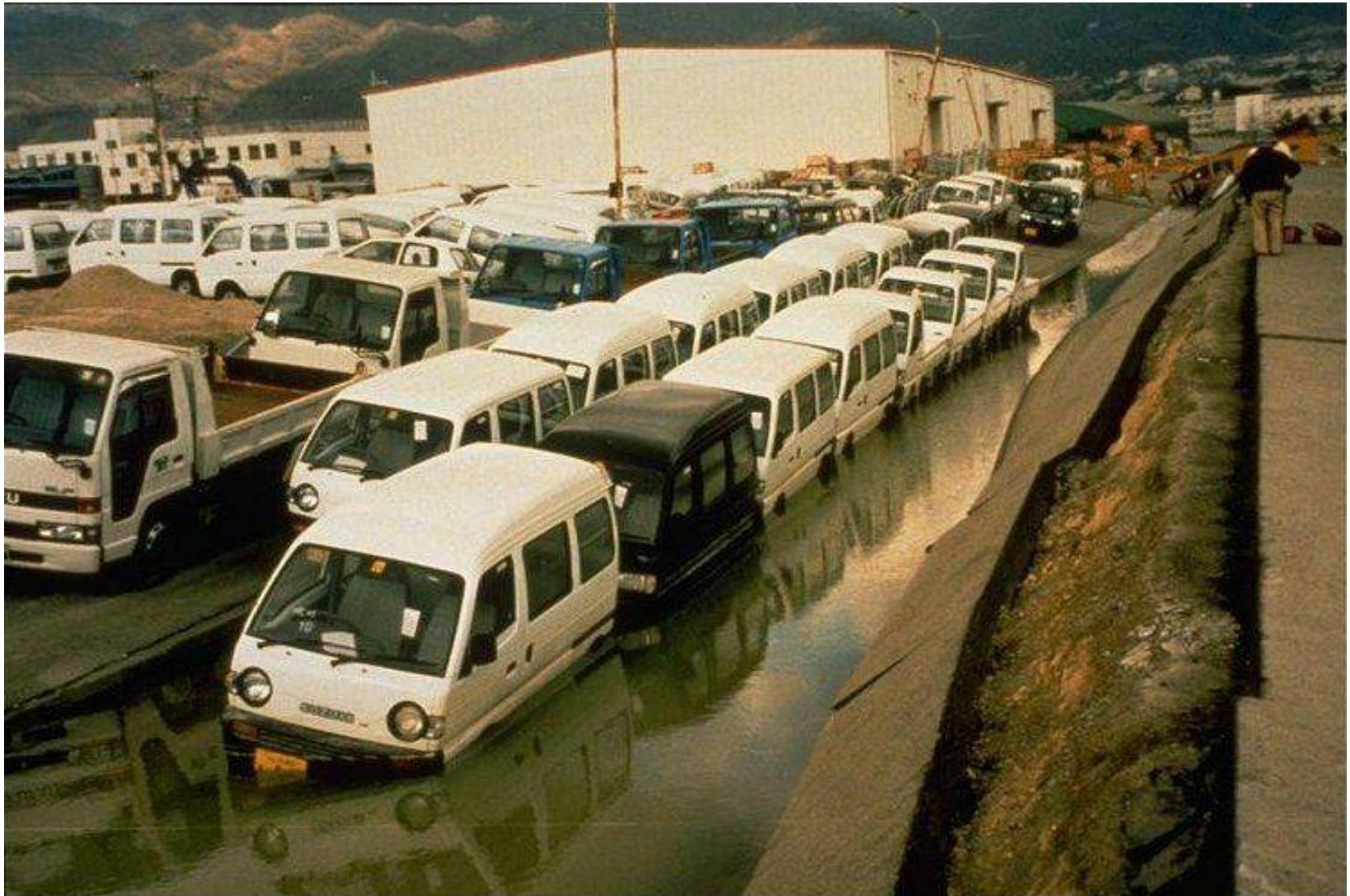
## EJEMPLOS





# CIMENTACIONES PARA MAQUINAS

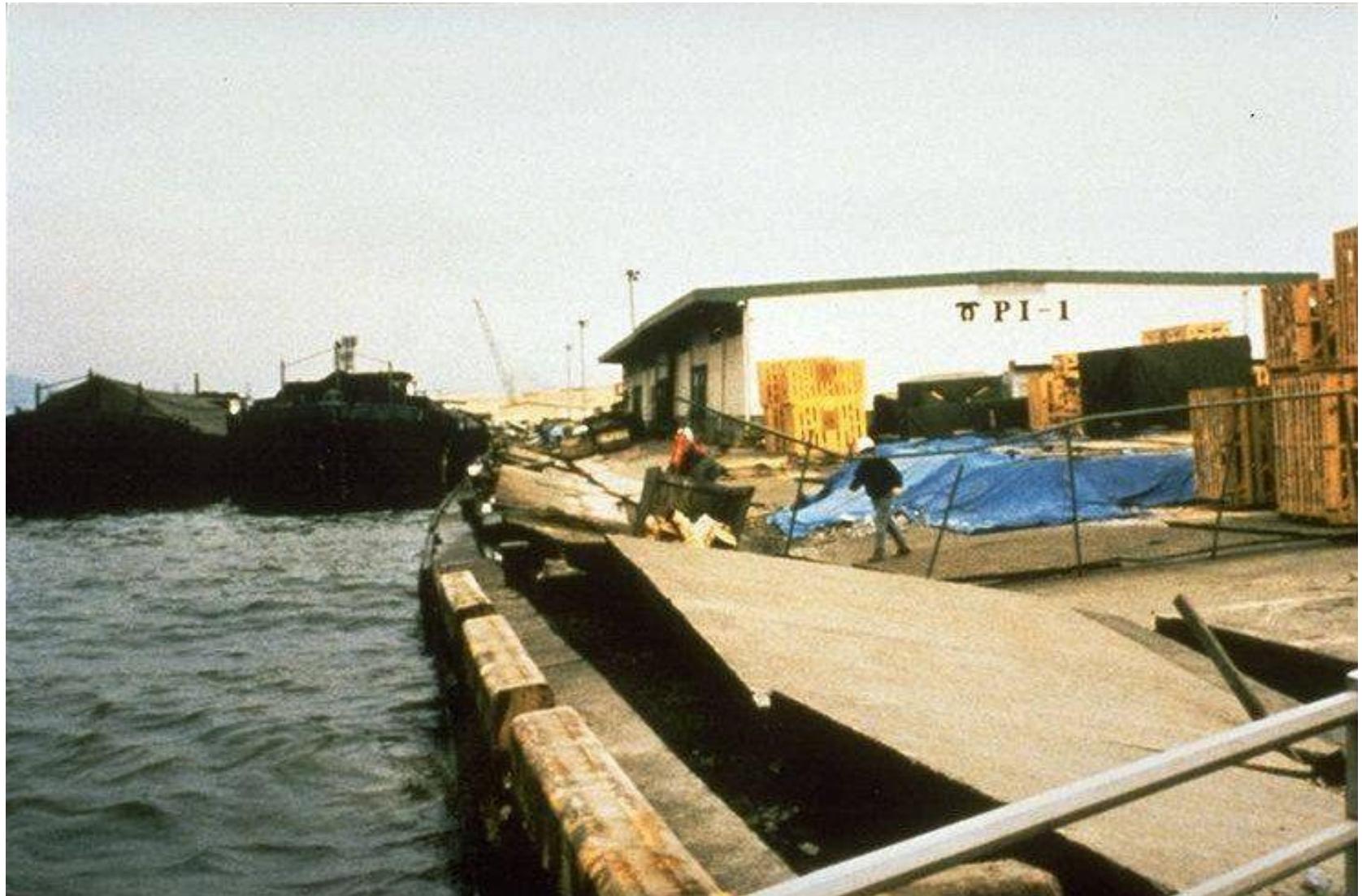
## EJEMPLOS





# CIMENTACIONES PARA MAQUINAS

## EJEMPLOS





# CIMENTACIONES PARA MAQUINAS

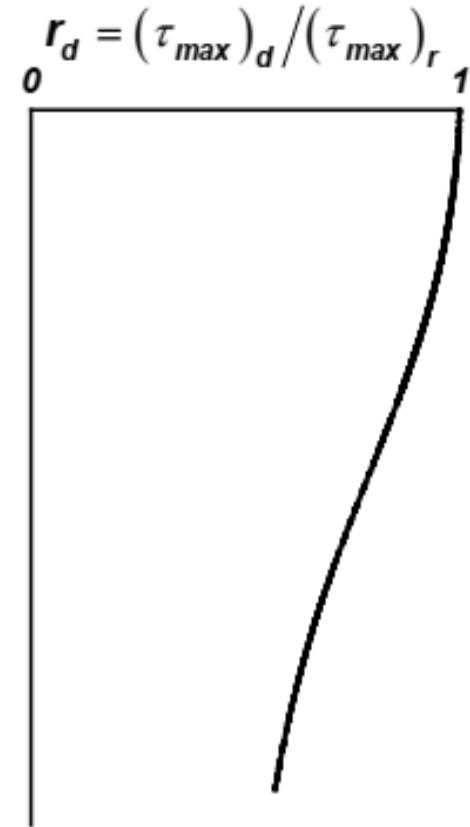
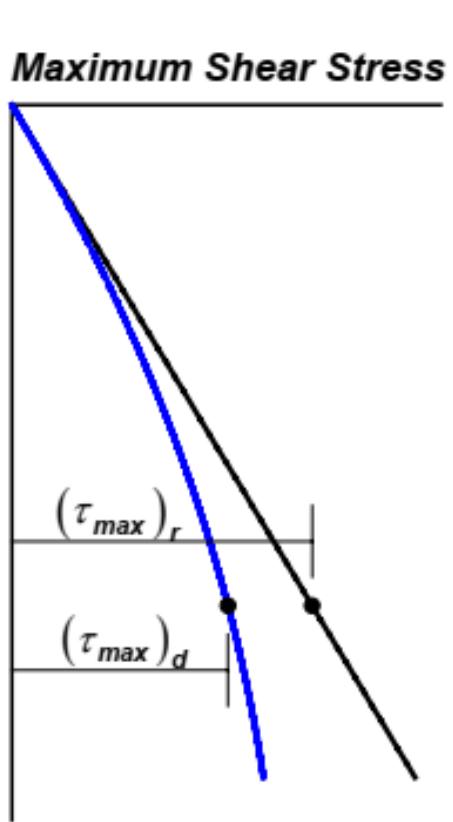
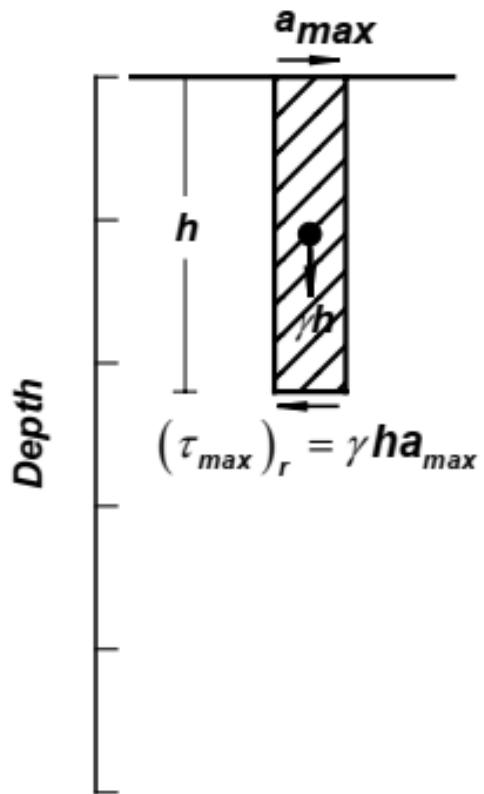
## LICUACION

### CARACTERÍSTICAS DEL FENÓMENO.

- El **equilibrio estático es roto** por la aplicación de acciones estáticas o dinámicas, en suelos con una reducida resistencia residual.
- Las acciones externas derivan en un proceso de **crecimiento de las presiones de poros**, sin posibilidad de disipación rápida en función del tiempo de carga.
- La **resistencia residual** es la existente en el suelo licuado.
- Acciones desencadenantes:
  - Estáticas: construcciones o excavaciones.
  - Dinámicas: sismos, explosiones, pilotajes, etc.
- Las fallas se asocian con **grandes desplazamientos** y acciones catastróficas.

# CIMENTACIONES PARA MAQUINAS

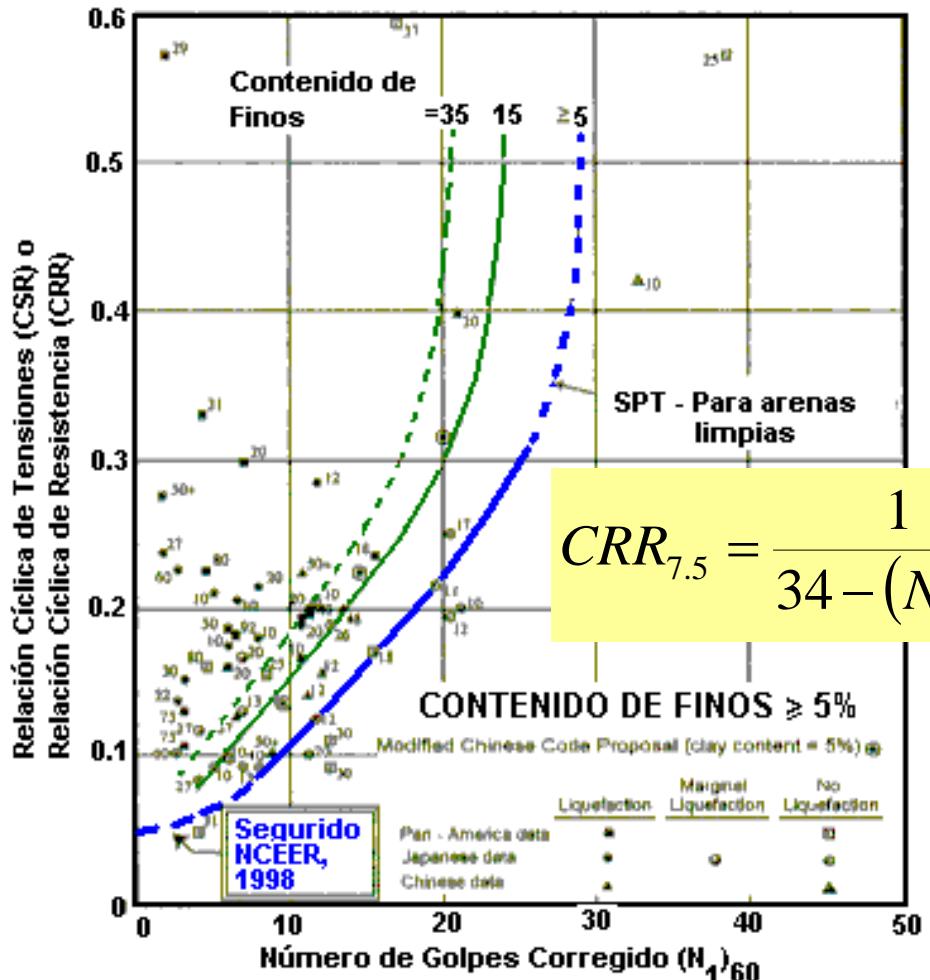
## RELACION DE CORTE CICLICO (CSR)



$$CSR = \frac{\tau_{sis}}{\sigma'_{vo}} = \frac{0,65 \sigma_{vo} a_{max}}{\sigma'_{vo}} r_d$$

# CIMENTACIONES PARA MAQUINAS

## RELACION DE RESISTENCIAS CICLICAS (CRR)



Golpes SPT vs CRR o CSR. Magnitud 7.5  
(Modificado por Seed et al, 1985)

## ENSAYO SPT

Función numérica  
(Rauch, 1998)

$$CRR_{7.5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60}} + \frac{(N_1)_{60}}{135} + \frac{50}{[10 - (N_1)_{60} + 45]^2} - \frac{1}{200}$$

$$FS_{lic} = \frac{CRR}{CSR}$$



# CIMENTACIONES PARA MAQUINAS

## LICUACION

### FACTORES CONCURRENTES

- NIVELES DE HUMEDAD, SATURADO O PRÓXIMO A LA SATURACION
- PERMEABILIDAD REDUCIDA PARA EVITAR LAS DISIPACIONES “RAPIDAS”
- RESISTENCIA MOVILIZADA ESPECIALMENTE POR FACTORES FRICTIONALES.
- CONFINAMIENTO EFECTIVO REDUCIDO EN RELACION CON LAS SOLICITACIONES APLICADAS.