



CIMENTACIONES SOMETIDAS A ACCIONES DINÁMICAS SOLICITACIONES SISMICAS

Marcelo ZEBALLOS
Guillermo GERBAUDO
Roberto TERZARIOL
Gonzalo, AIASSA



CIMENTACIONES BAJO ACCIÓN DINAMICA

OBJETIVO

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

REFERENCIAS:

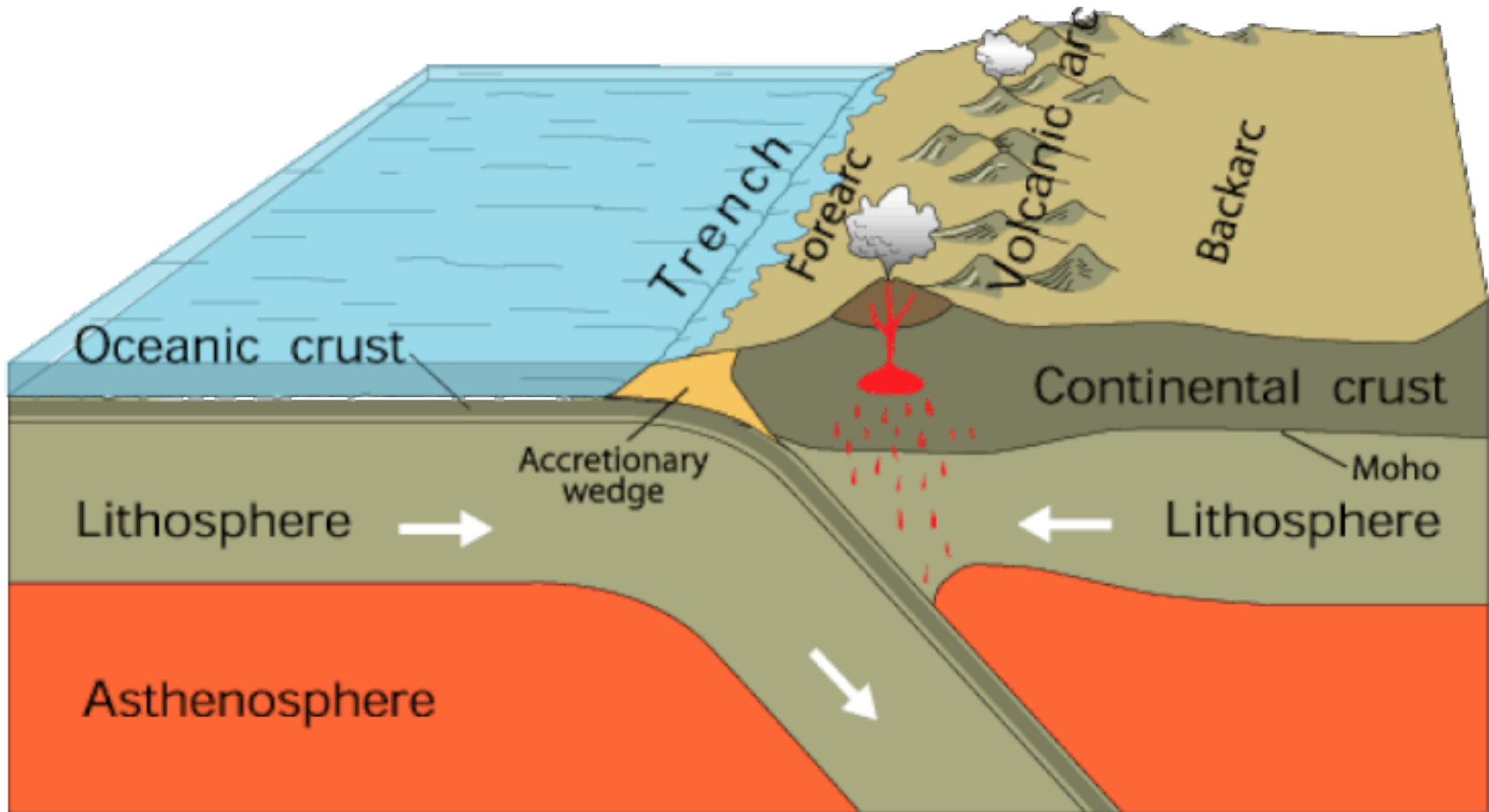
- **Apuntes de clase. Disponibles en página virtual.**



CARACTERIZACION DEL SISMO

CIMENTACIONES BAJO ACCIÓN DINAMICA

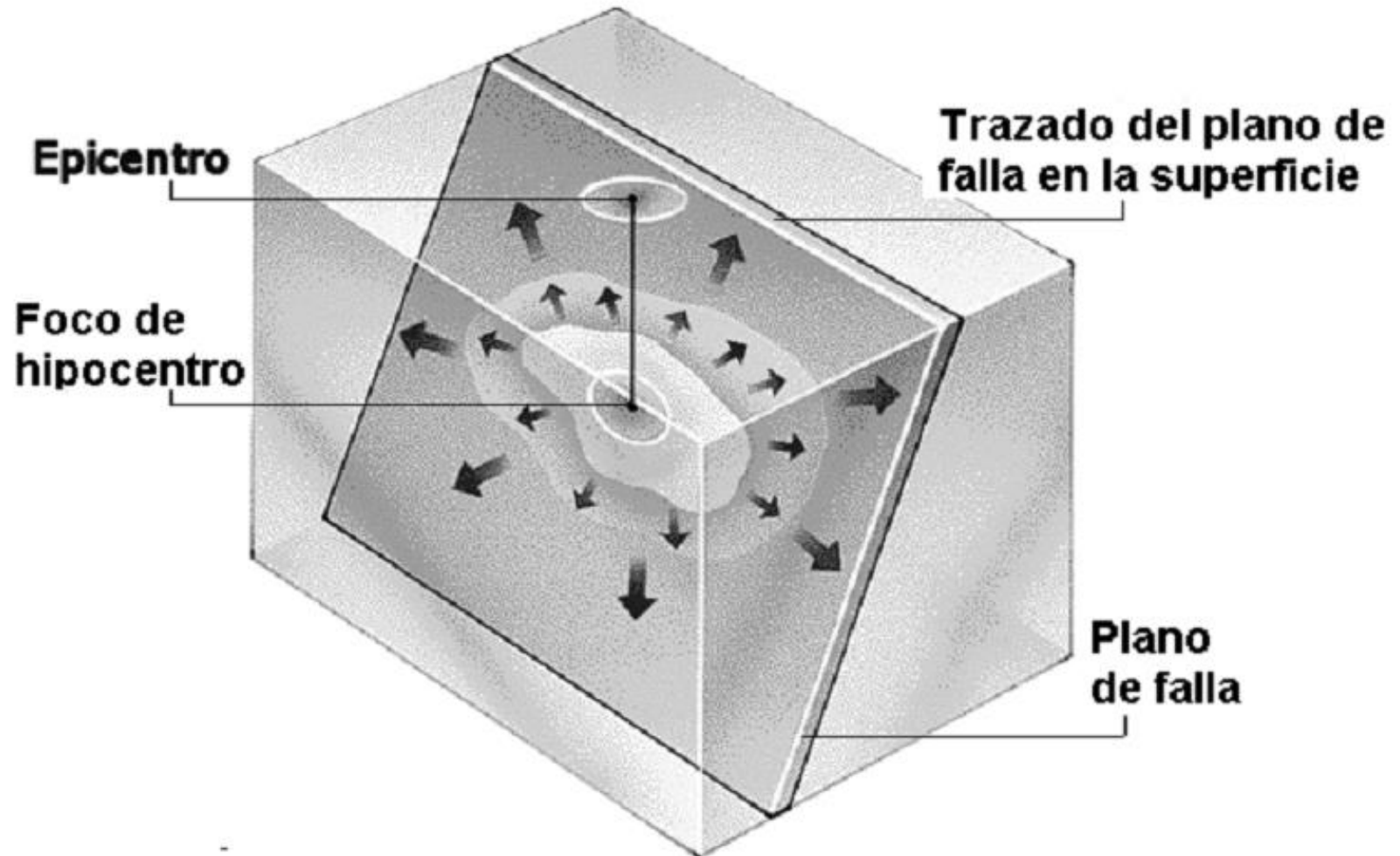
ACCIONES SISMICAS



CIMENTACIONES BAJO ACCIÓN DINAMICA



ACCIONES SISMICAS

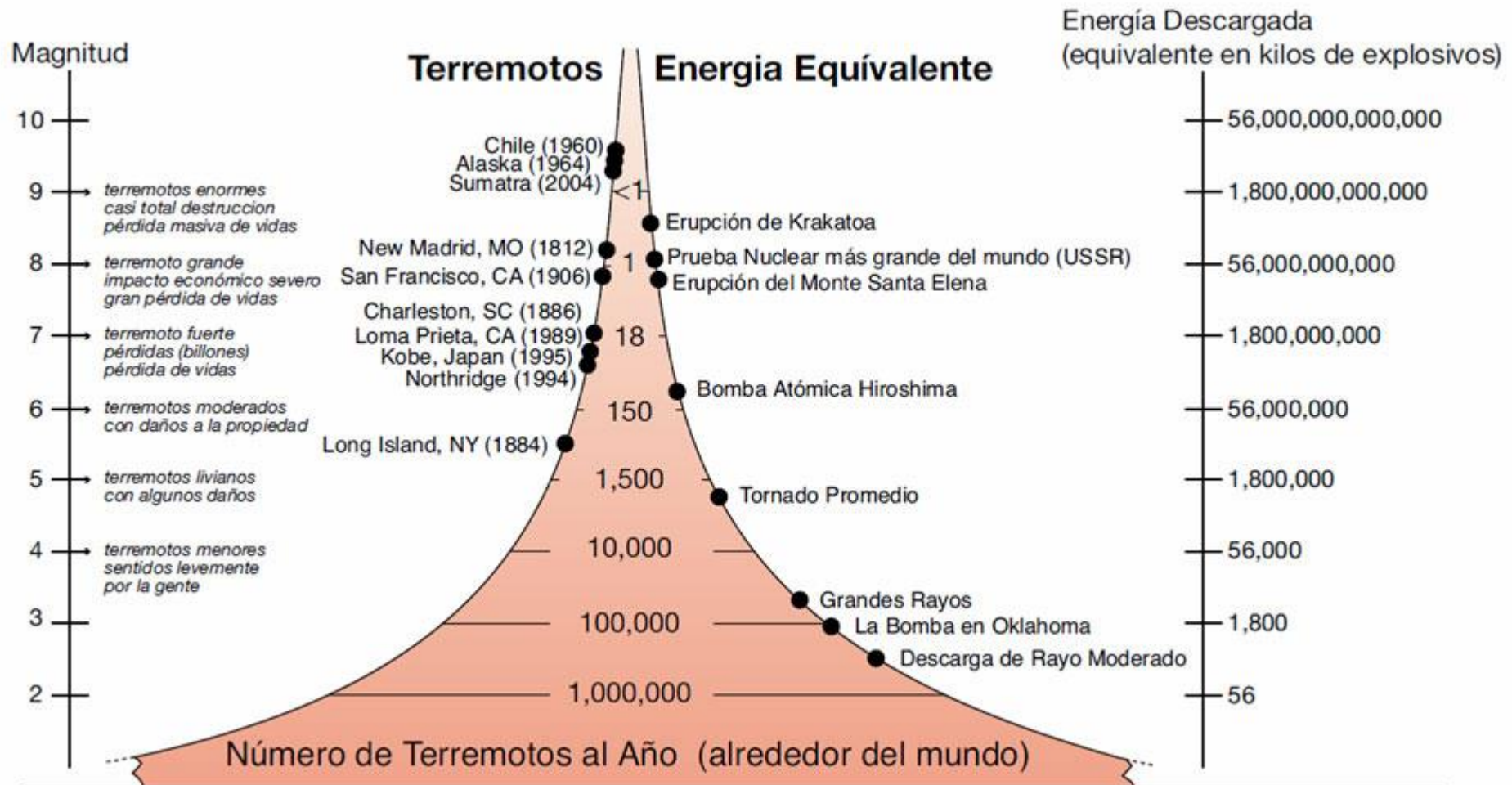


CIMENTACIONES BAJO ACCIÓN DINAMICA



ACCIONES SISMICAS

DEFINICIONES: MAGNITUD



CIMENTACIONES BAJO ACCIÓN DINAMICA



ACCIONES SISMICAS

DEFINICIONES: INTENSIDAD

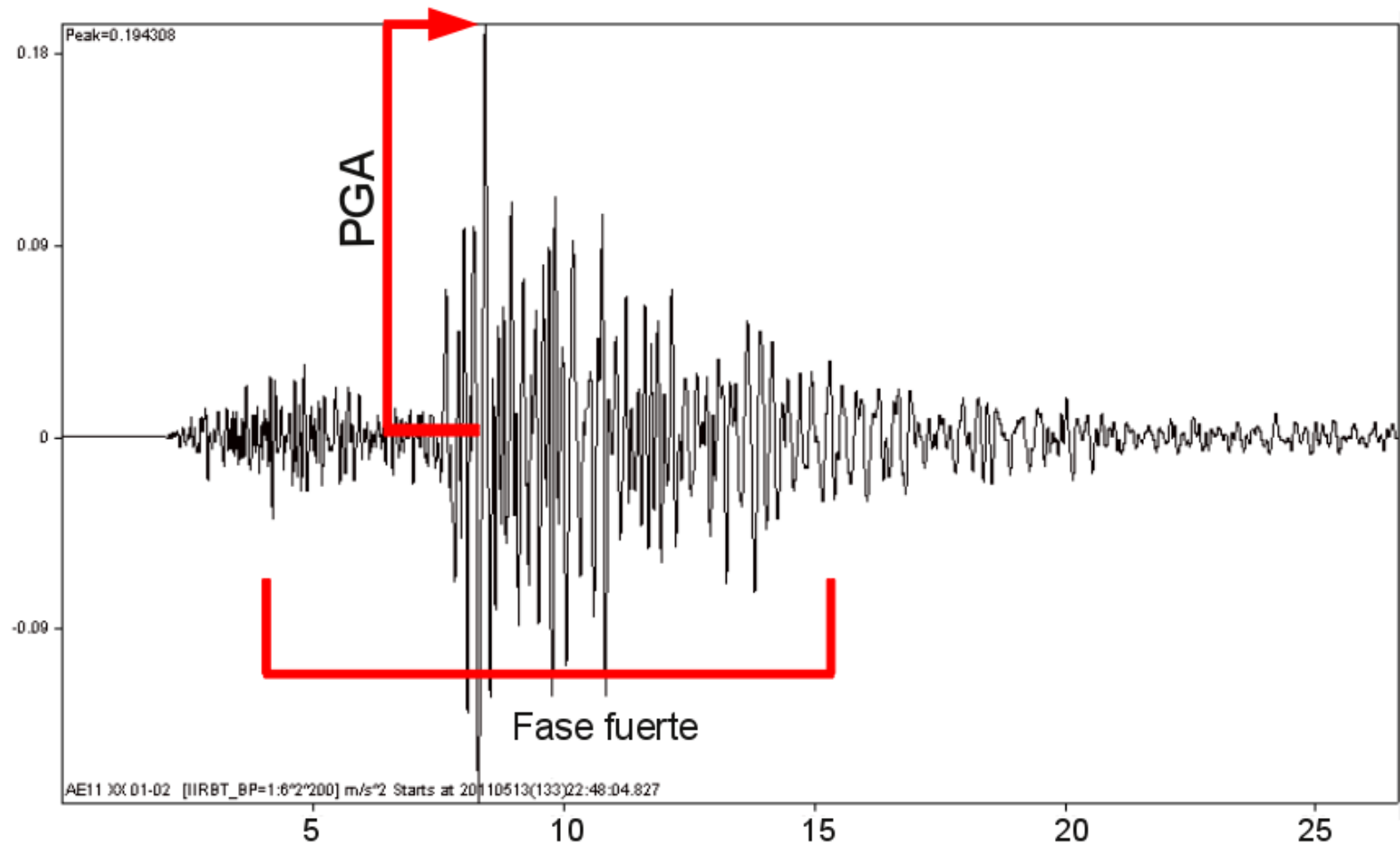
I. Muy débil	Lo advierten muy pocas personas.
II. Débil	Lo perciben sólo algunas personas en reposo.
III. Leve	Se percibe en el interior de los edificios y casas.
IV. Moderado	Los objetos colgantes oscilan visiblemente.
V. Poco Fuerte	Sentido por casi todos, aún en el exterior.
VI. Fuerte	Lo perciben todas las personas.
VII. Muy fuerte	Se experimenta dificultad para mantener en pie.
VIII. Destructivo	Se hace difícil e inseguro el manejo de vehículos.
IX. Ruinoso	Se produce inquietud general.
X. Desastroso	Se destruye gran parte de las estructura de albañilería de tod
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 ACCIÓN DINAMICA



ACCIONES SISMICAS

DEFINICIONES: ACELERACION SISMICA – DURACION - ENERGIA

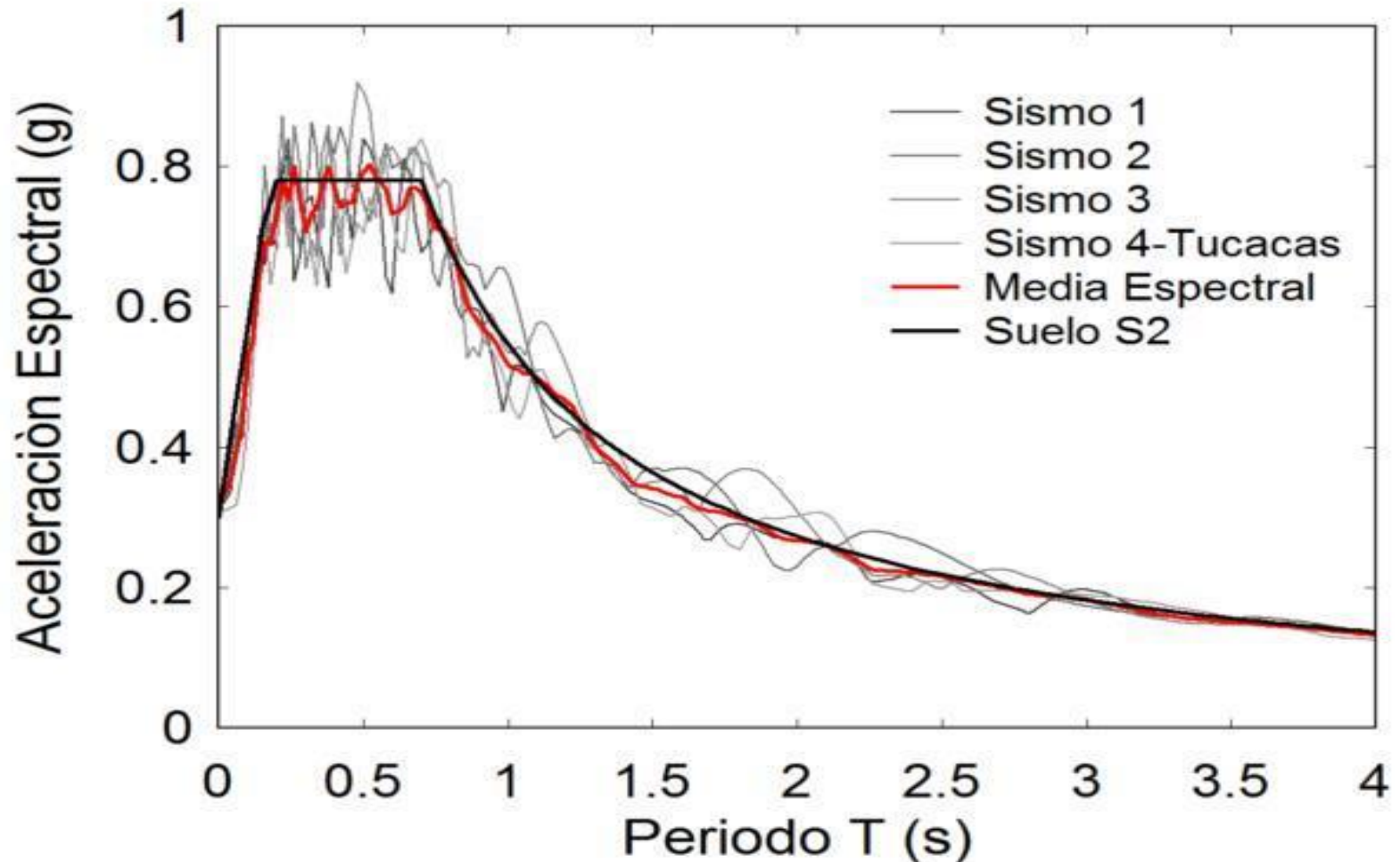


CIMENTACIONES BAJO ACCIÓN DINAMICA



ACCIONES SISMICAS

DEFINICIONES: PSEUDOACELERACION Y ESPECTRO SISMICO

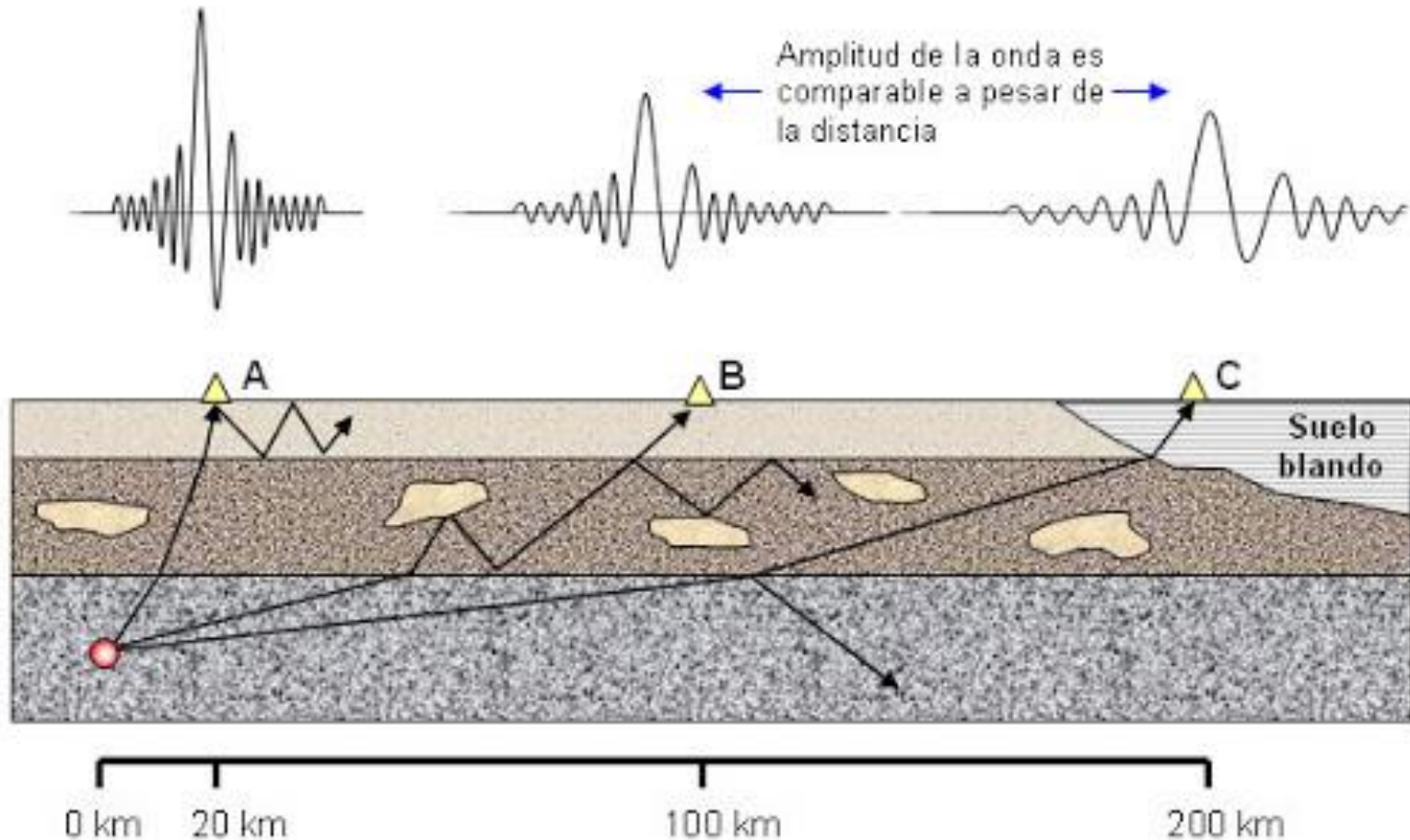


CIMENTACIONES BAJO ACCIÓN DINAMICA



ACCIONES SISMICAS

DEFINICIONES: PROPAGACIÓN DEL SISMO

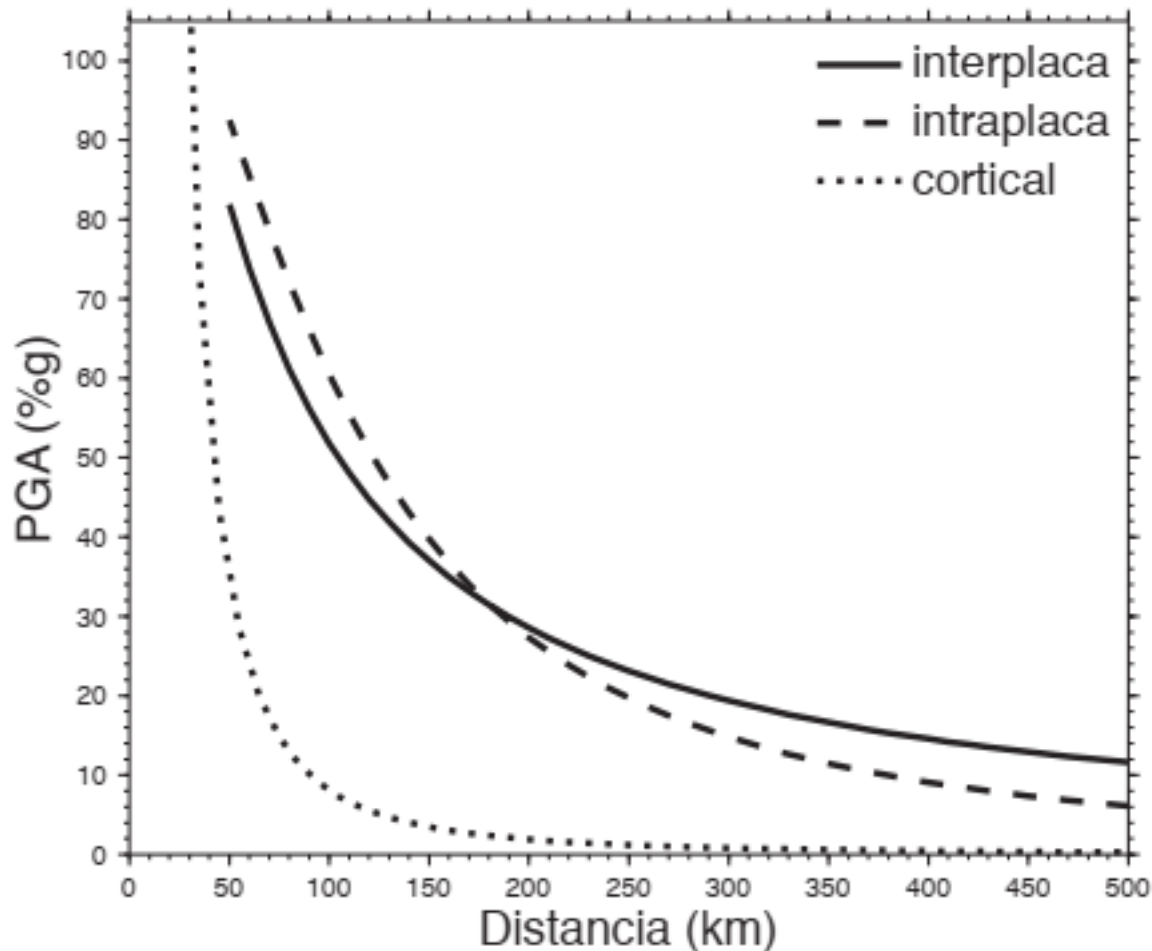


CIMENTACIONES BAJO ACCIÓN DINAMICA



ACCIONES SISMICAS

DEFINICIONES: ATENUACION SISMICA



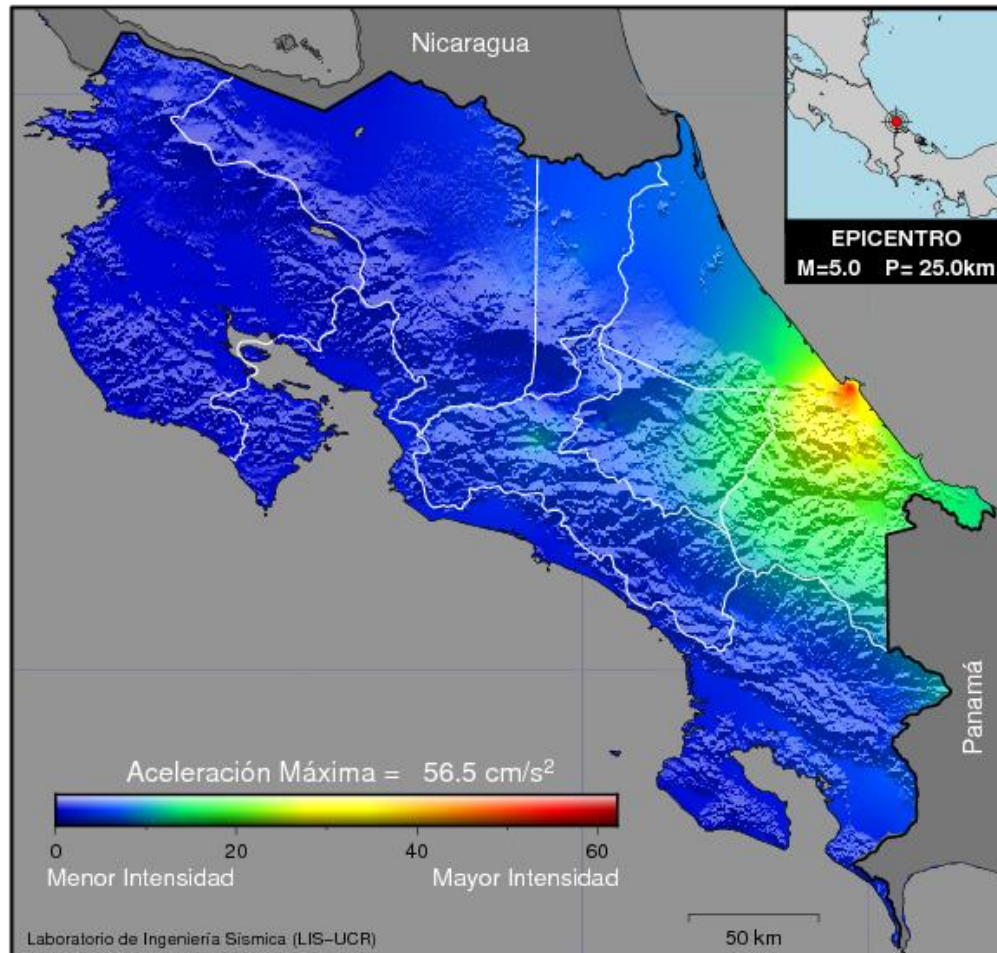
$$PGA = \frac{A \cdot e^{C \cdot Ms}}{(r + D)^B}$$

CIMENTACIONES BAJO ACCIÓN DINAMICA



ACCIONES SISMICAS

DEFINICIONES: ATENUACION SISMICA

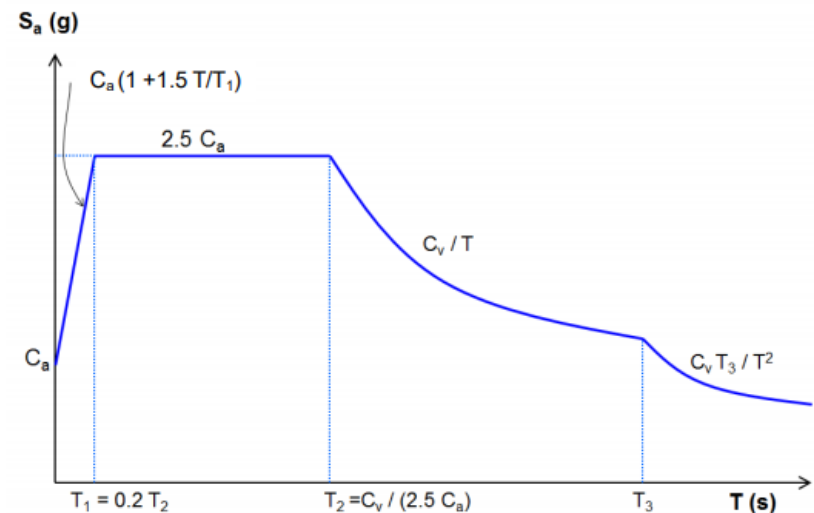
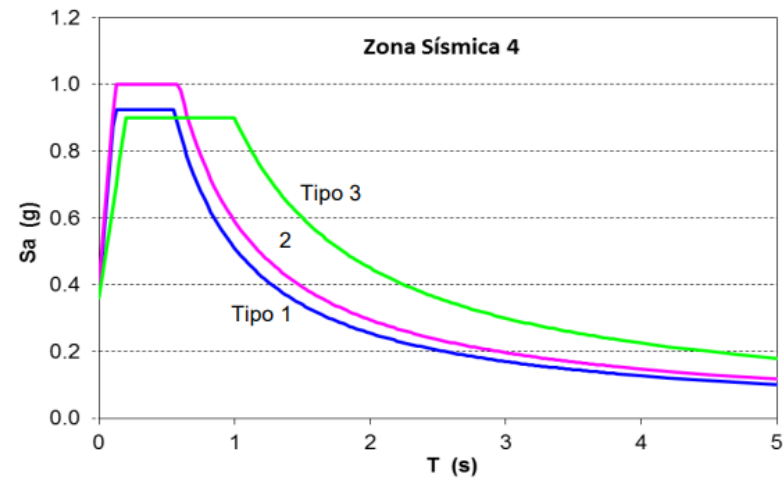
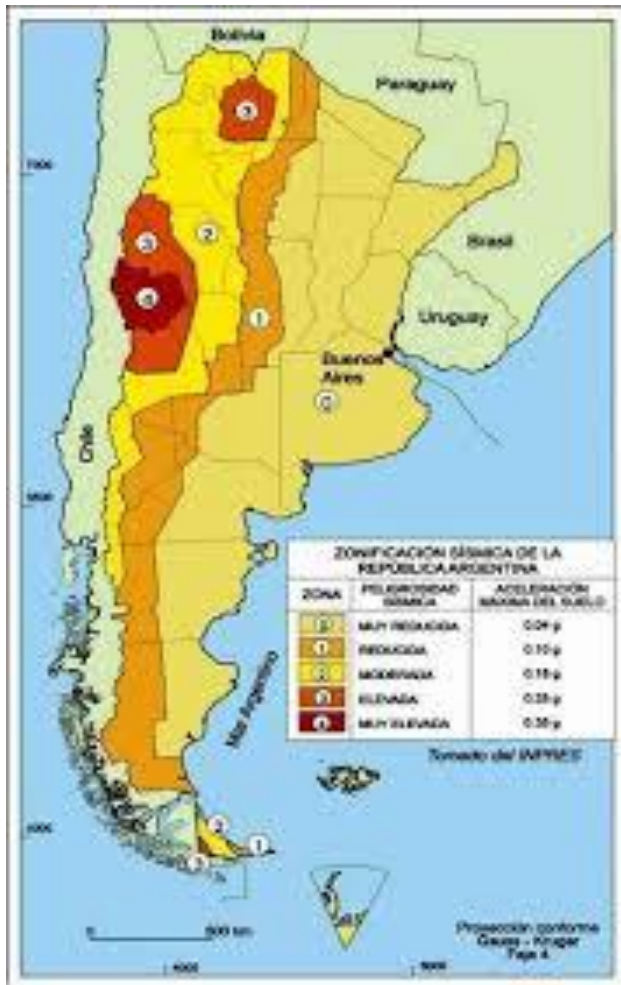


CIMENTACIONES BAJO ACCIÓN DINAMICA



ACCIONES SISMICAS

DEFINICIONES: ESPECTRO SISMICO DE REGLAMENTO

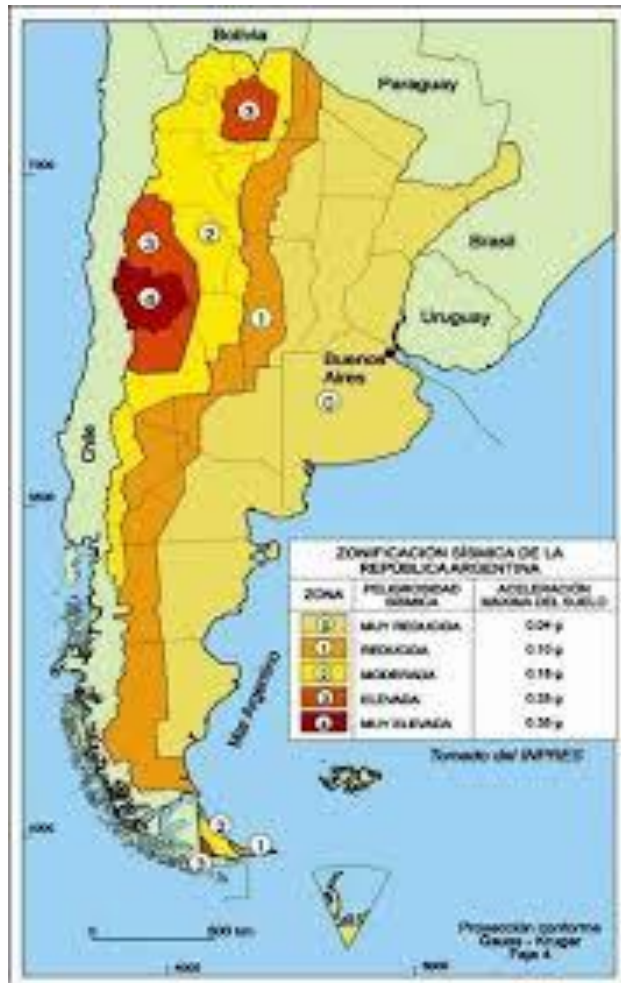




CIMENTACIONES BAJO ACCIÓN DINAMICA

ACCIONES SISMICAS

DEFINICIONES: ESPECTRO SISMICO DE REGLAMENTO



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

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

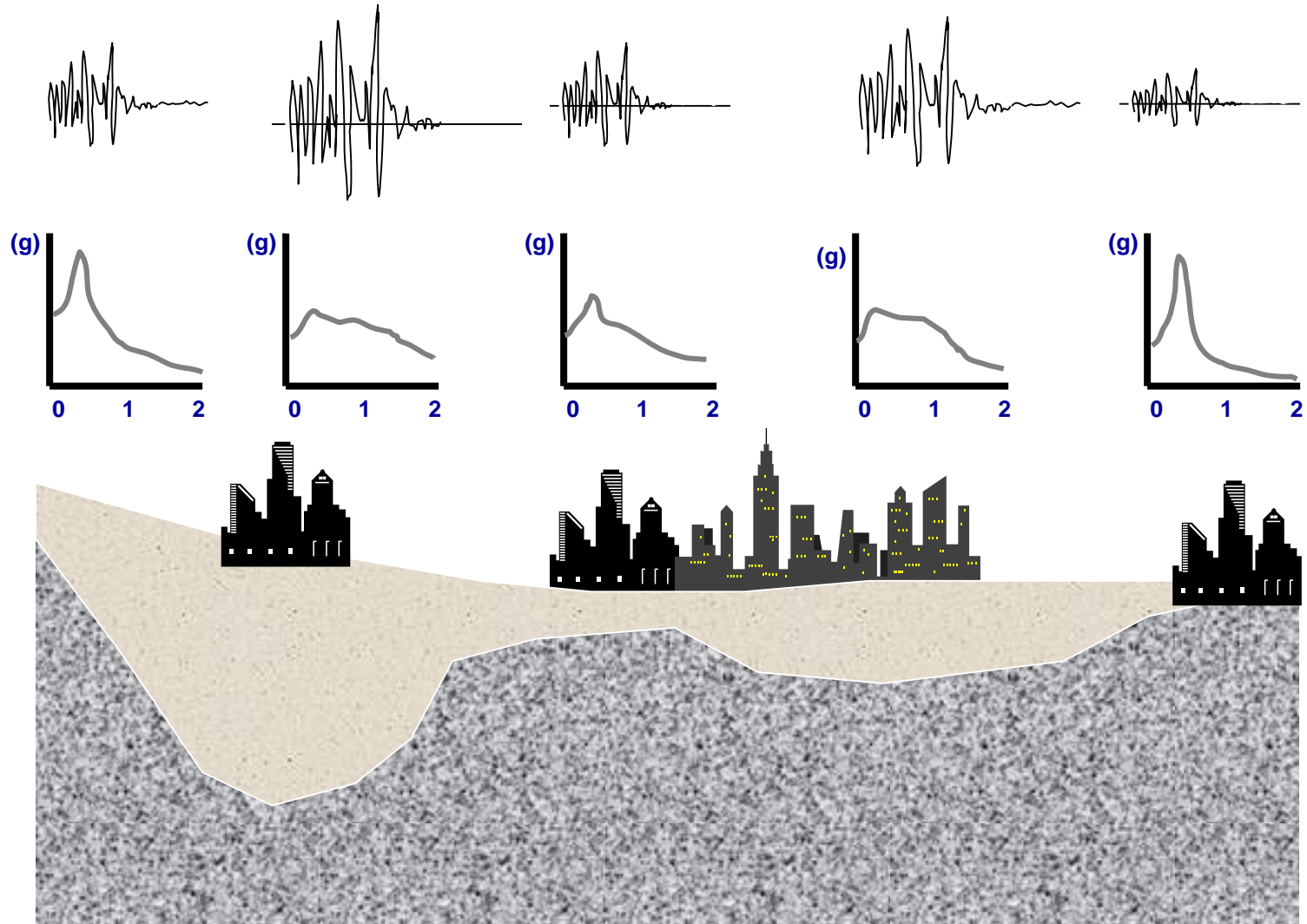
$$s_a = b \left(\frac{T_2}{T} \right)^{2/3} \quad \text{para } T \geq T_2$$

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 ACCIÓN DINAMICA



ACCIONES SISMICAS



CIMENTACIONES BAJO ACCIÓN 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

CIMENTACIONES BAJO ACCIÓN DINAMICA



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 sollicitación 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 ACCIÓN DINAMICA



SUELOS Y ROCAS

SUELO	IDENTIFICACIÓN		CARACTERÍSTICAS		
			Velocidad de propagación de ondas de corte	Prueba de penetración normalizada P.P.N.	Tensión admisible del suelo, σ_{adm}
			(m/s)	(nº de golpes)	(MN/m ²)
Tipo I	Muy firmes y compactos	a) Rocas firmes y formaciones similares	≥ 700	---	$\sigma_{adm} \geq 2$
		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/m ²)	< 700 y ≥ 400	≥ 30	$0,3 \leq \sigma_{adm} < 2$
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/m ²)	< 700 y 400	≥ 30	$0,3 \leq \sigma_{adm} < 2$
		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/m ²)	100 a 400	granulares ≥ 15 y < 30 cohesivos ≥ 10 y < 15	$0,1 \leq \sigma_{adm} < 0,3$
Tipo III	Blandos	Suelos granulares poco densos; suelos cohesivos blandos o semiduros (cohesión menor que 0,05 MN/m ²); suelos colapsibles	< 100	< 10	$\sigma_{adm} < 0,1$



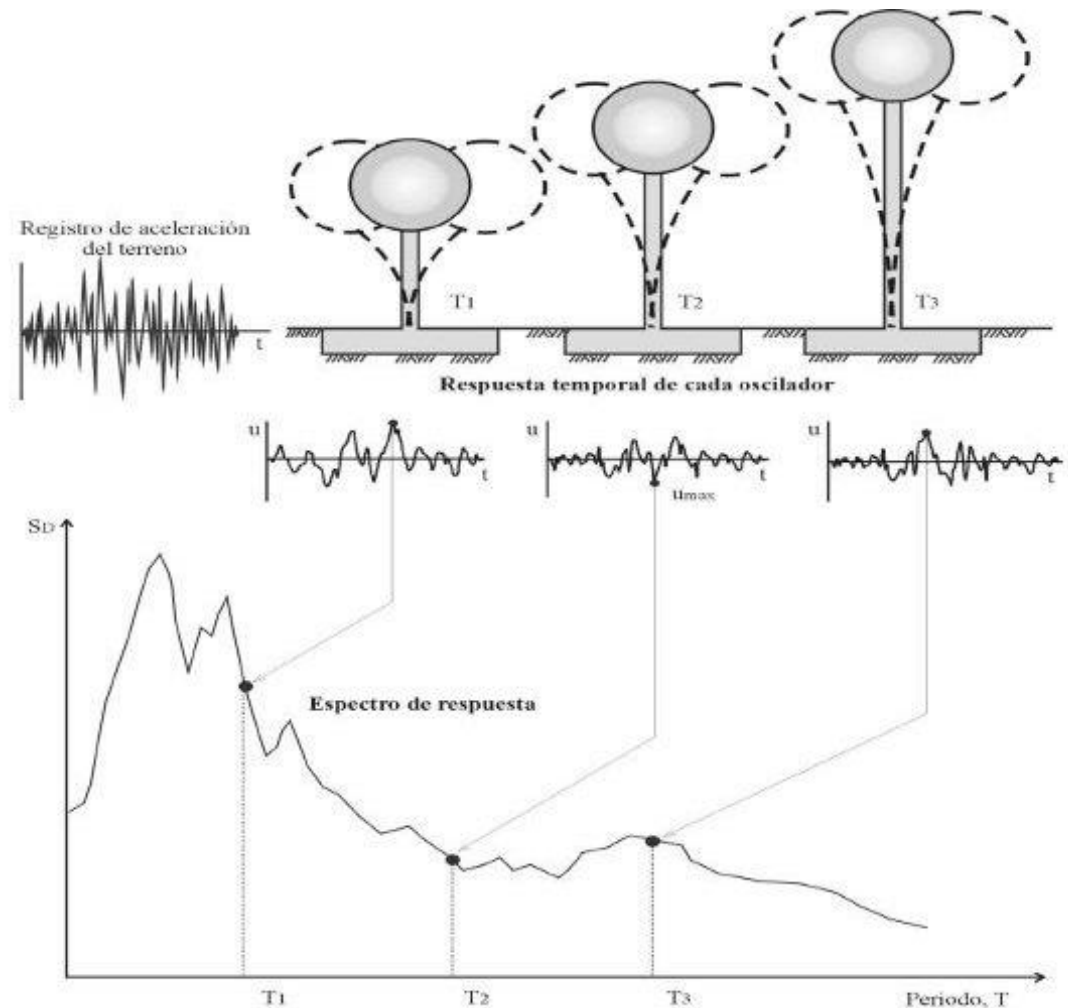
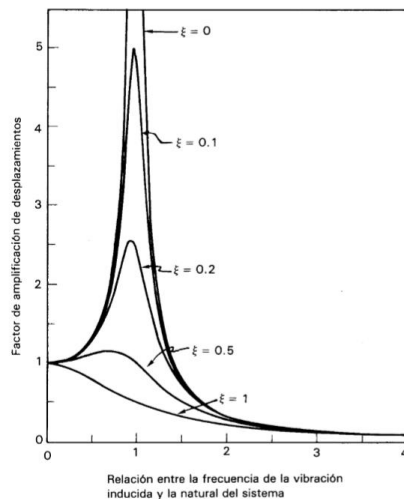
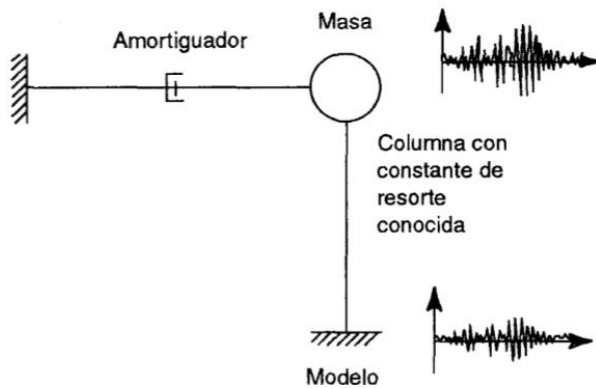
INCIDENCIA DEL SISMO EN CIMENTACIONES SUPERFICIALES Y PROFUNDAS



CIMENTACIONES BAJO ACCIÓN DINAMICA

ACCIONES SISMICAS

Concepto Ingenieril del Espectro de Respuesta

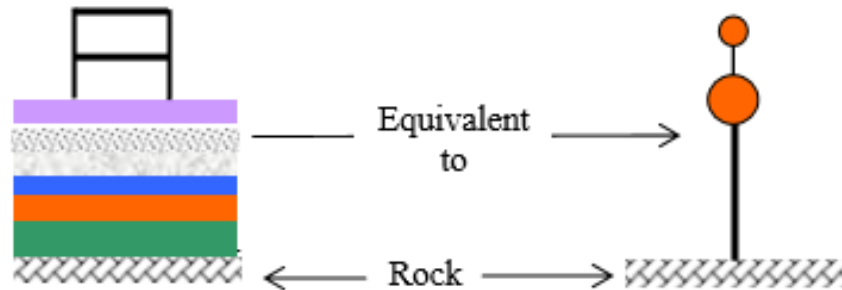




CIMENTACIONES BAJO ACCIÓN DINAMICA

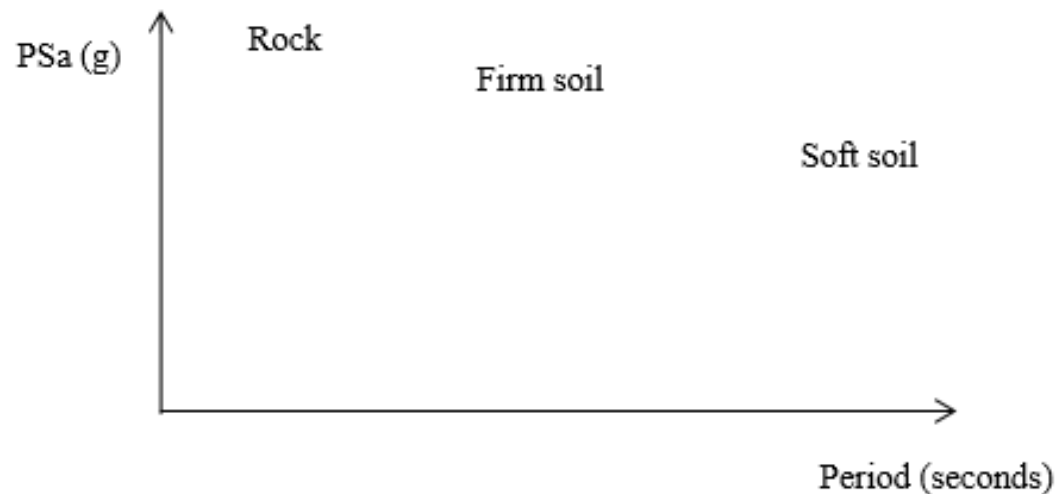
ACCIONES SISMICAS

Períodos Propios del suelo



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

$$T = \frac{4H}{v_s}$$

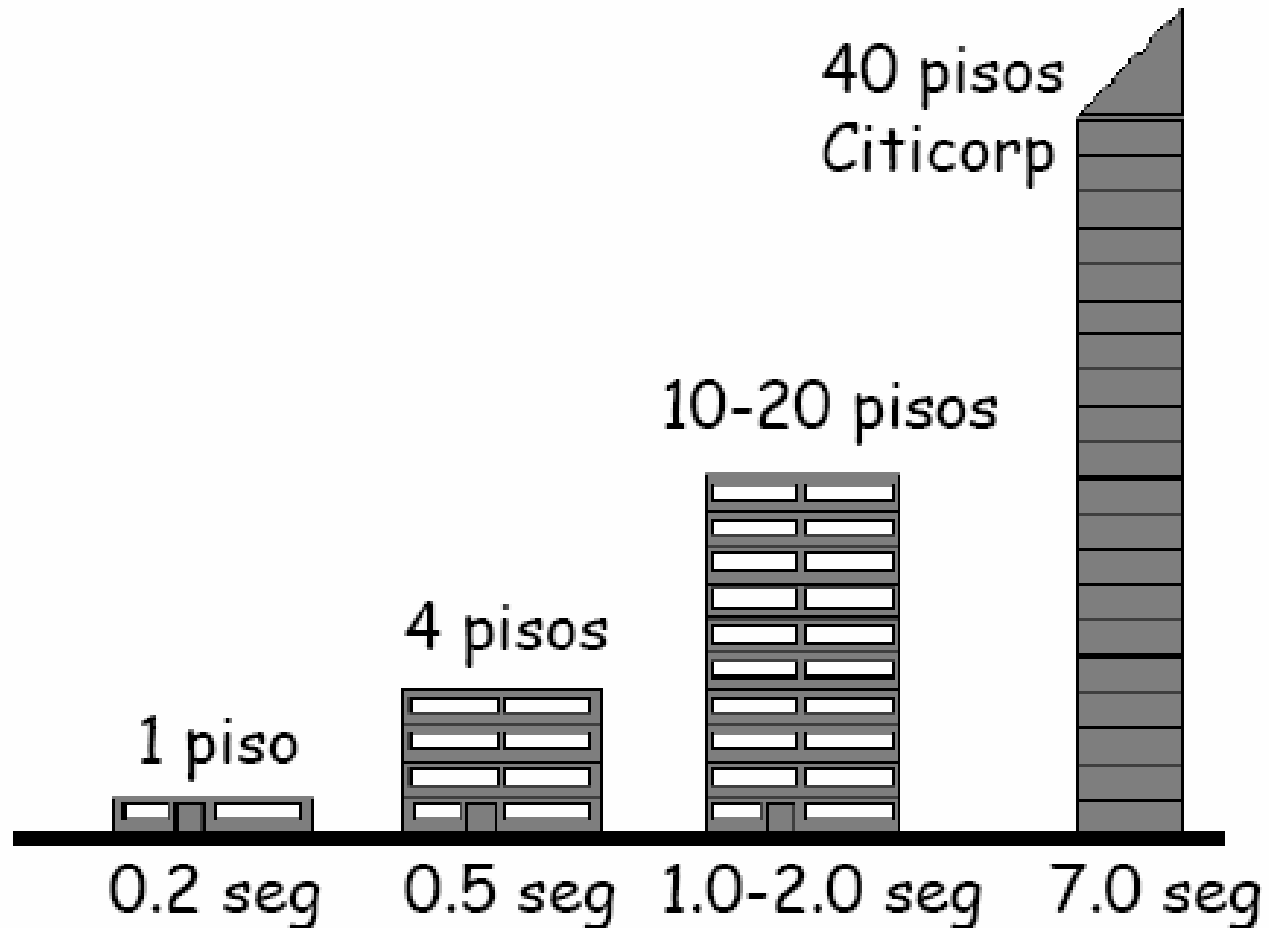


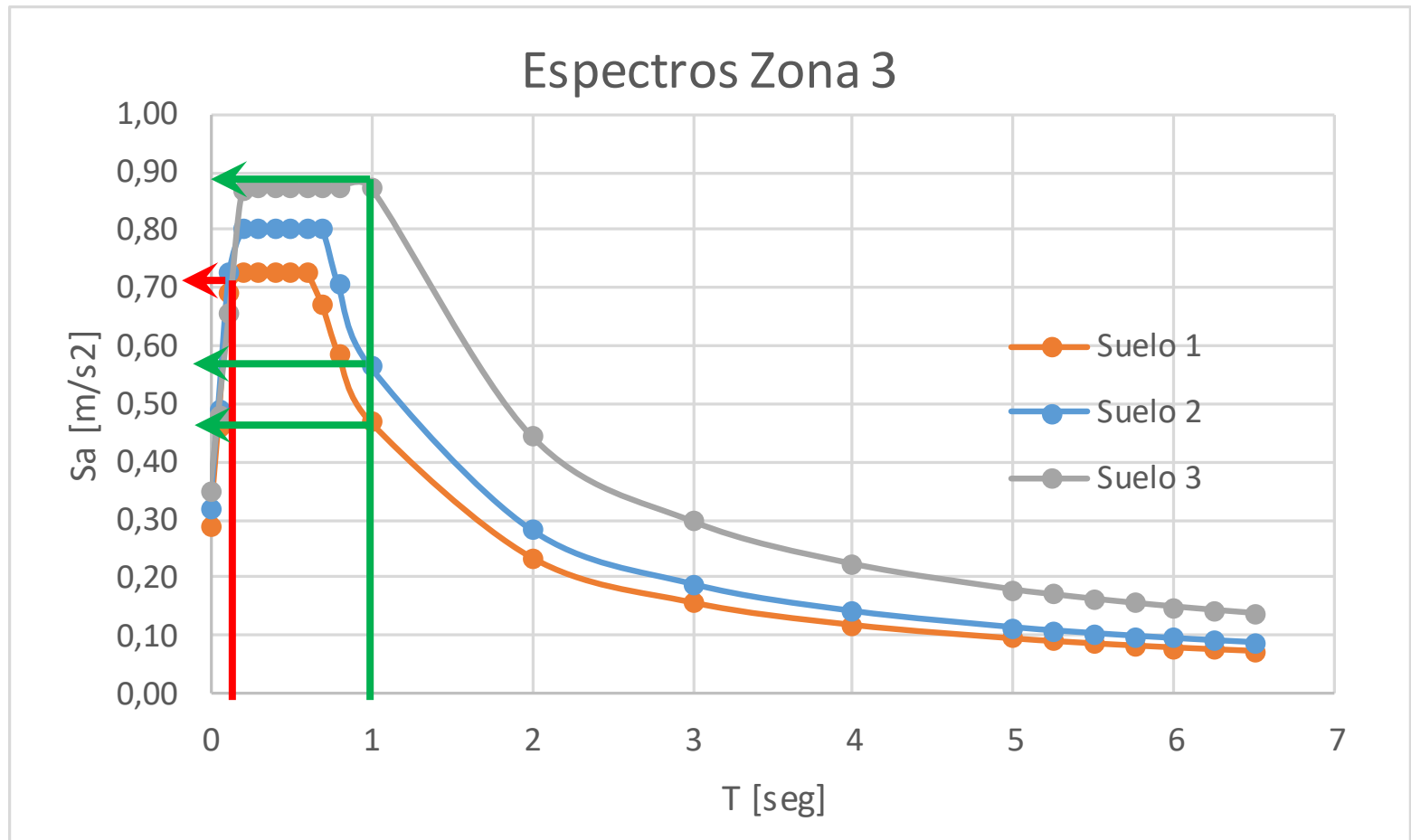


CIMENTACIONES BAJO ACCIÓN DINAMICA

ACCIONES SISMICAS

Períodos Fundamentales de vibración de edificios



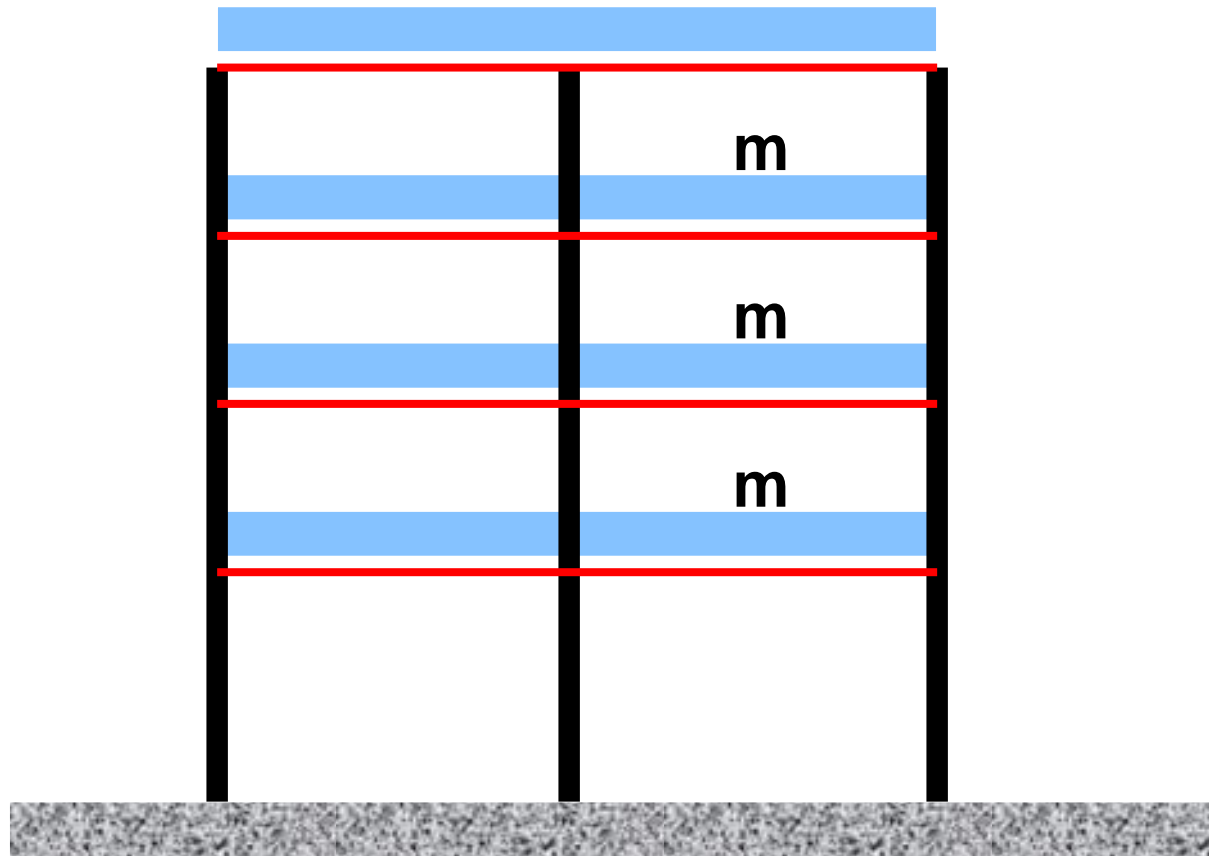


CIMENTACIONES BAJO ACCIÓN DINAMICA



ACCIONES SISMICAS

Análisis Modal

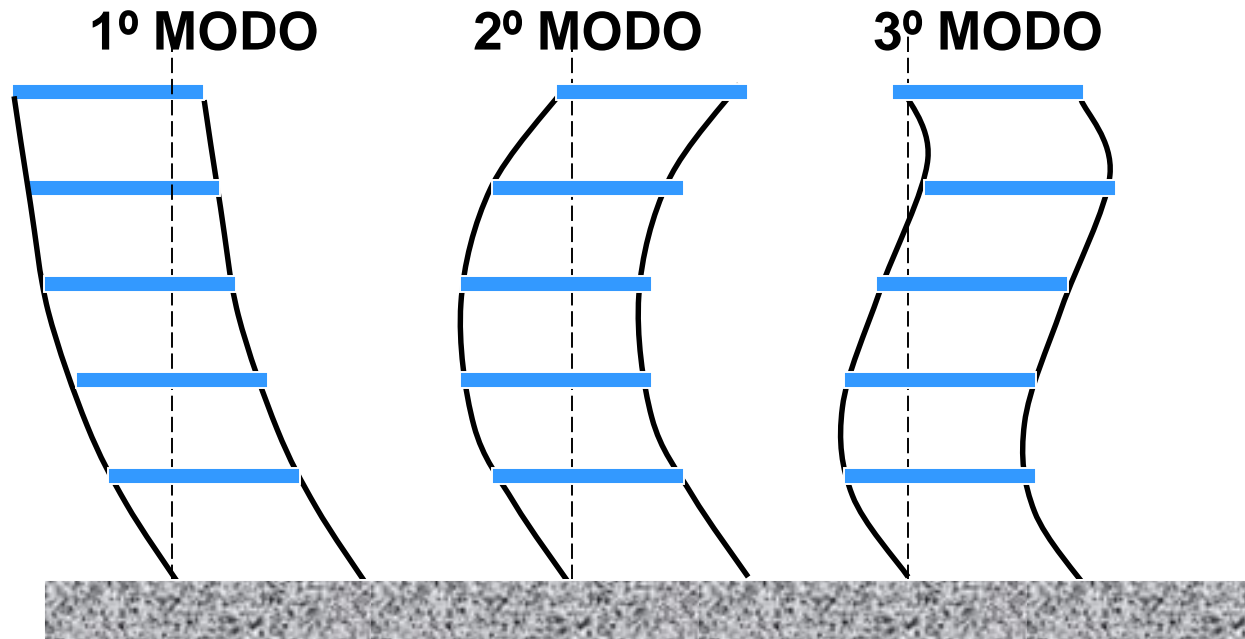




CIMENTACIONES BAJO ACCIÓN DINAMICA

ACCIONES SISMICAS

Análisis Modal



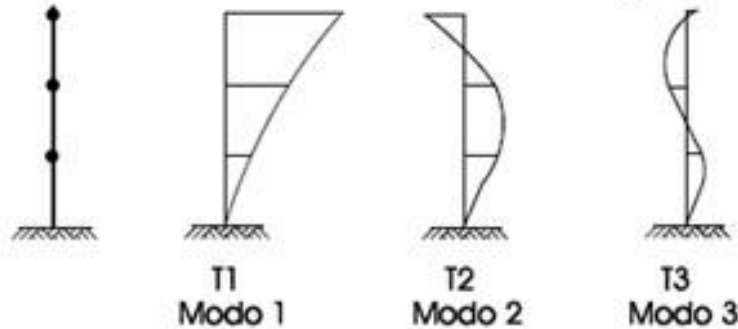
ANALISIS MODAL DINAMICO



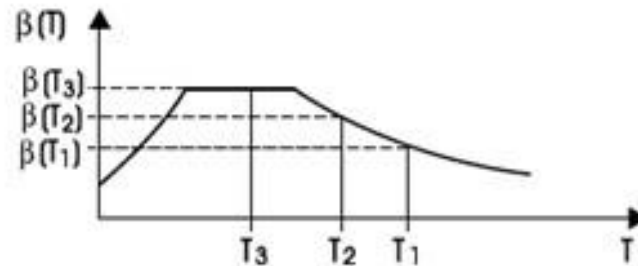
CIMENTACIONES BAJO ACCIÓN DINAMICA

ACCIONES SISMICAS - Análisis Modal

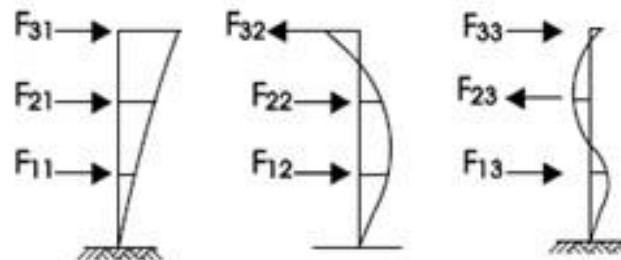
Paso 1 : Recuento de los modos de deformadas y periodos



Paso 2 : Lectura del espectro de la respuesta



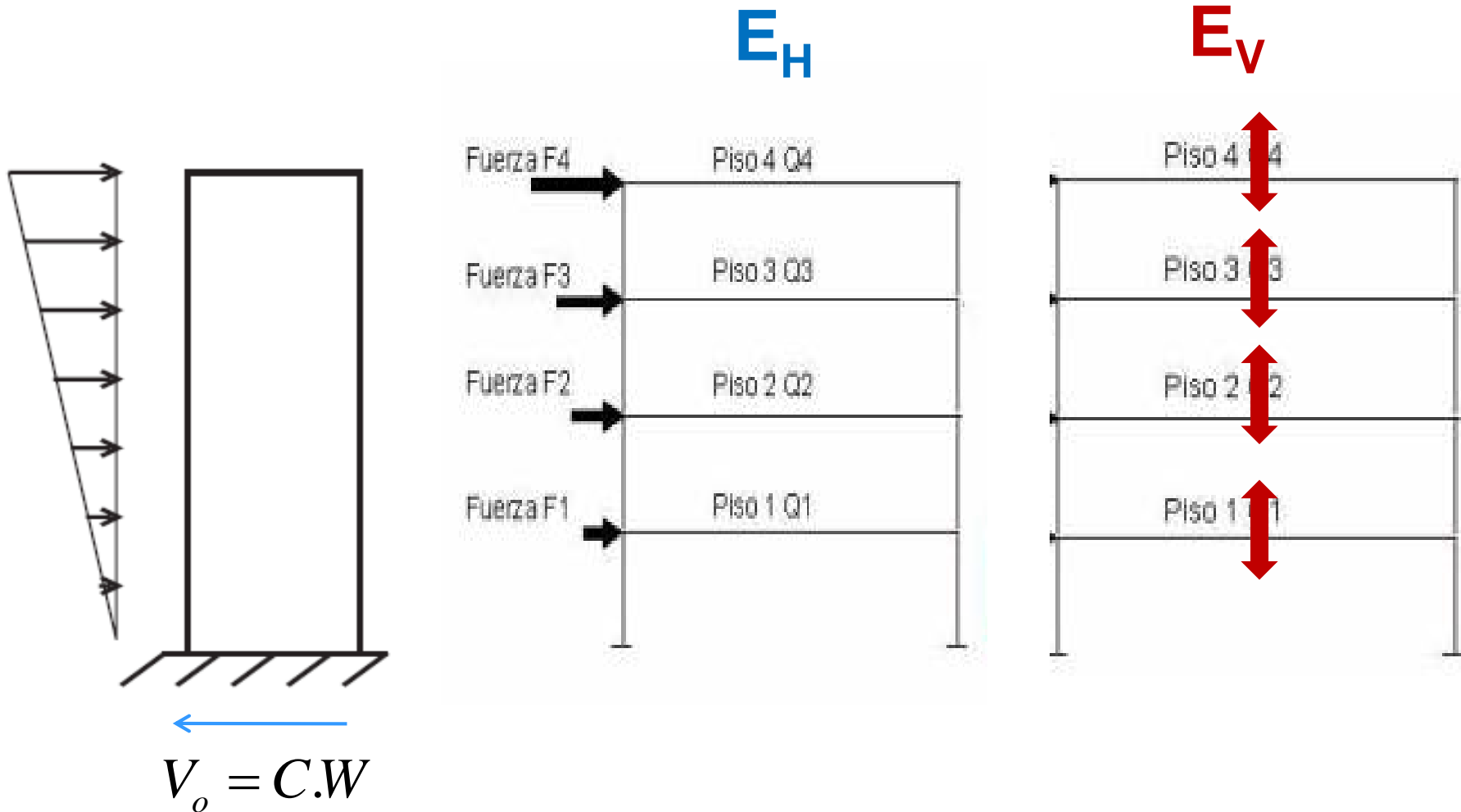
Paso 3 : Respuestas modales



CIMENTACIONES BAJO ACCIÓN DINAMICA

ACCIONES SISMICAS

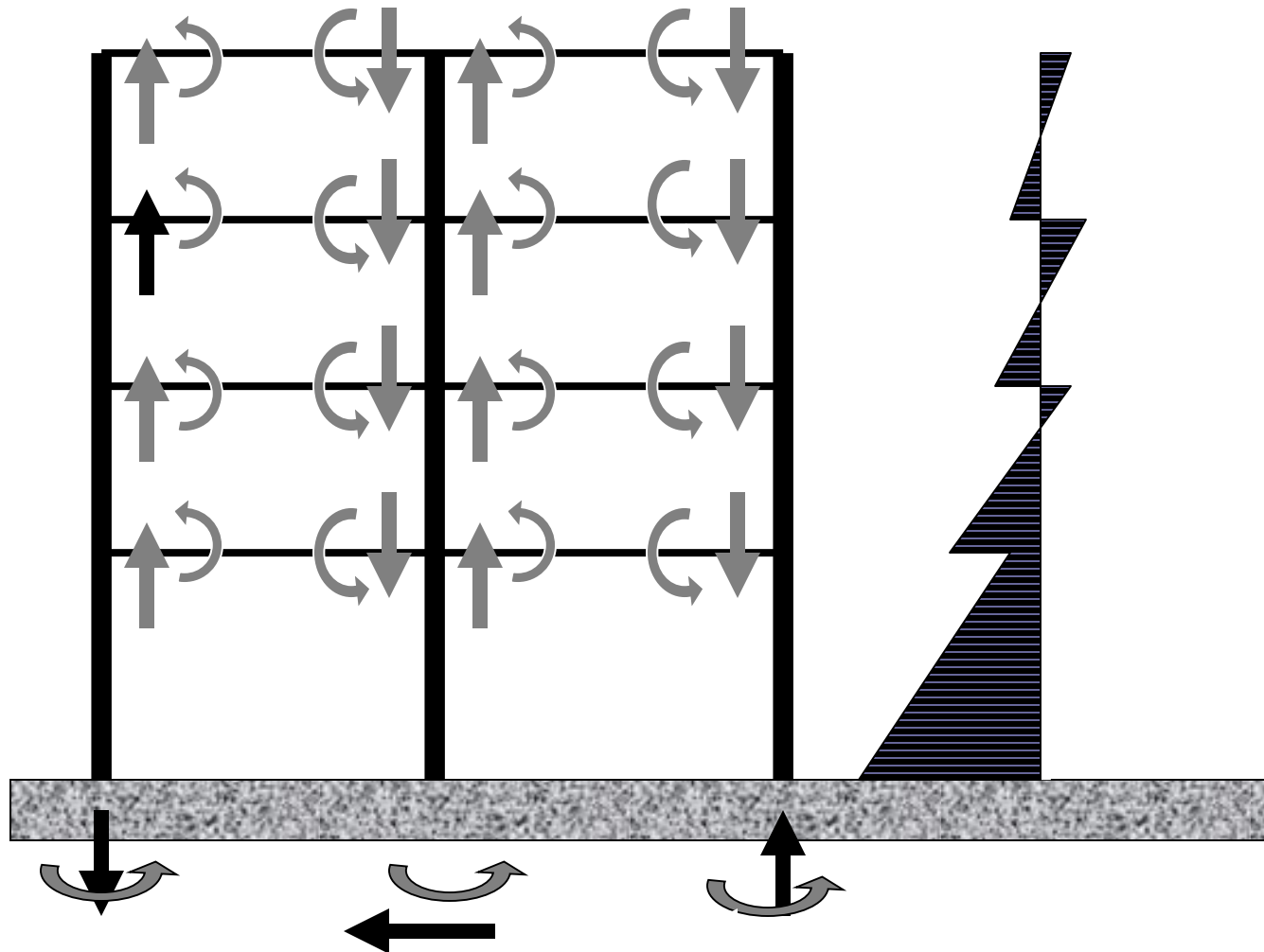
Método Estático Equivalente



CIMENTACIONES BAJO ACCIÓN DINAMICA

ACCIONES SISMICAS

Solicitaciones



CIMENTACIONES BAJO ACCIÓN DINAMICA



MAGNITUD DE LAS ACCIONES

Acción del Viento vs acción del Sismo

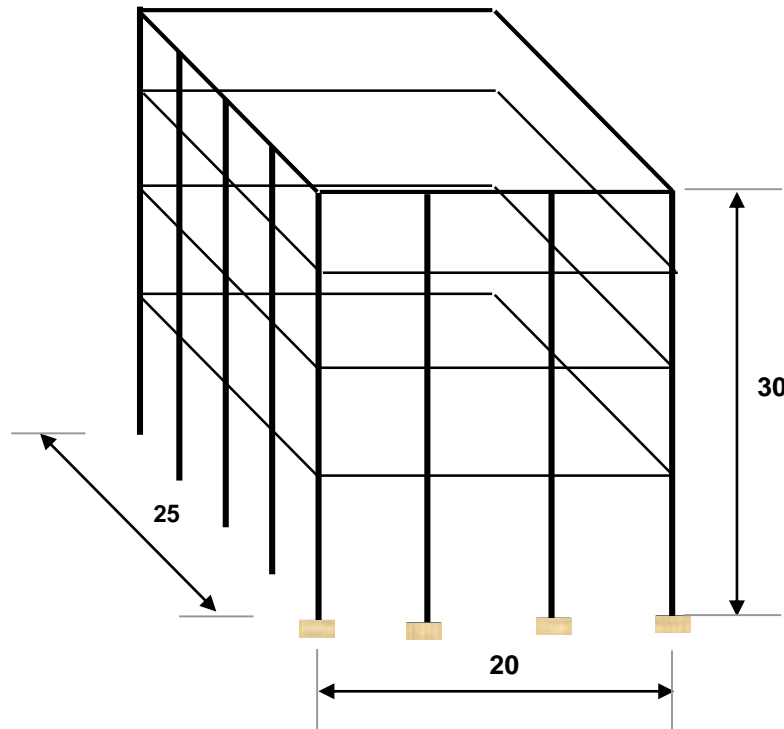


CIMENTACIONES BAJO ACCIÓN DINAMICA



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

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

$S_a = 0.25$ (Zona 1 s/CIRSOC 103)

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

Viento

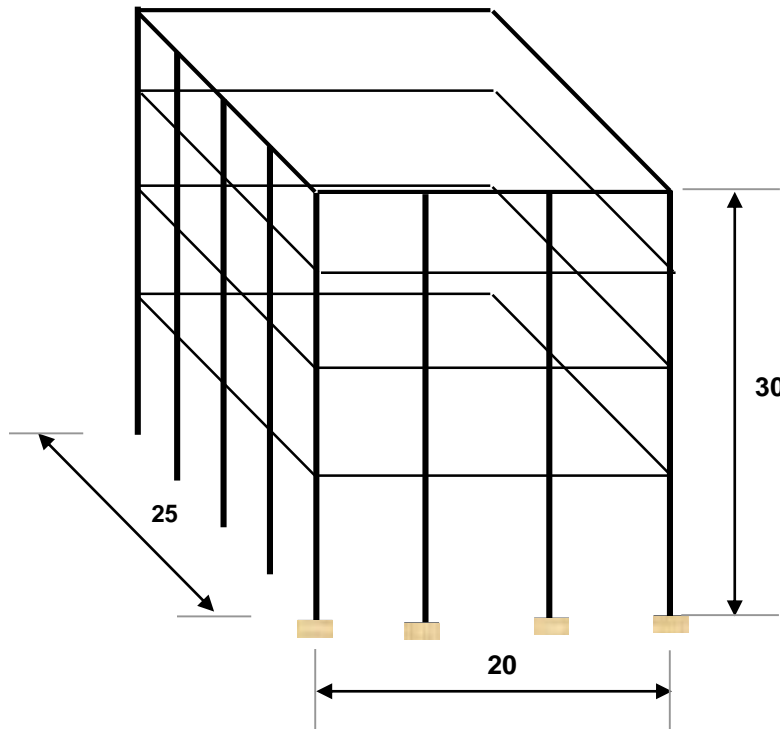
Carga = 200kg/m^2

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!!!

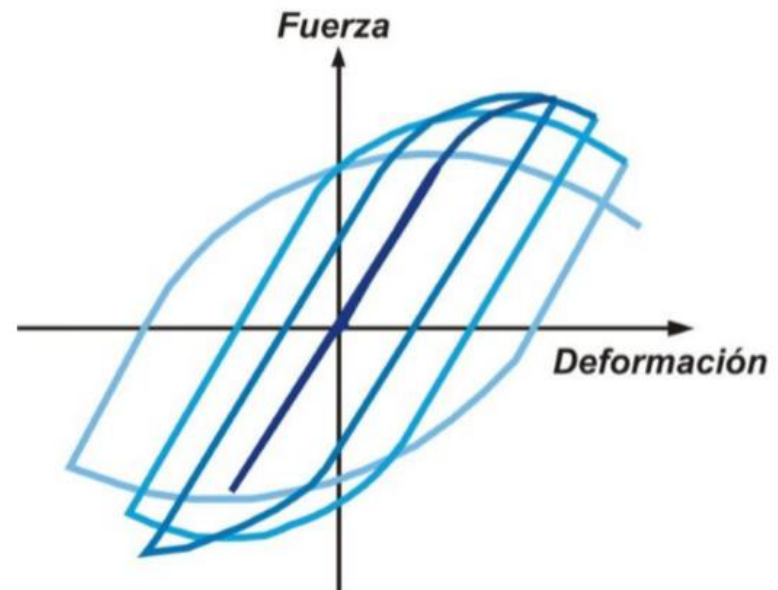
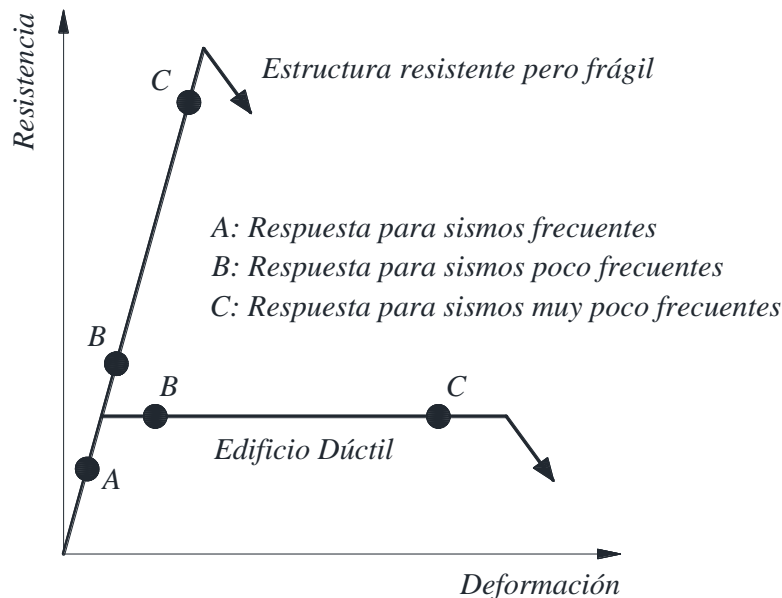


CIMENTACIONES BAJO ACCIÓN DINAMICA



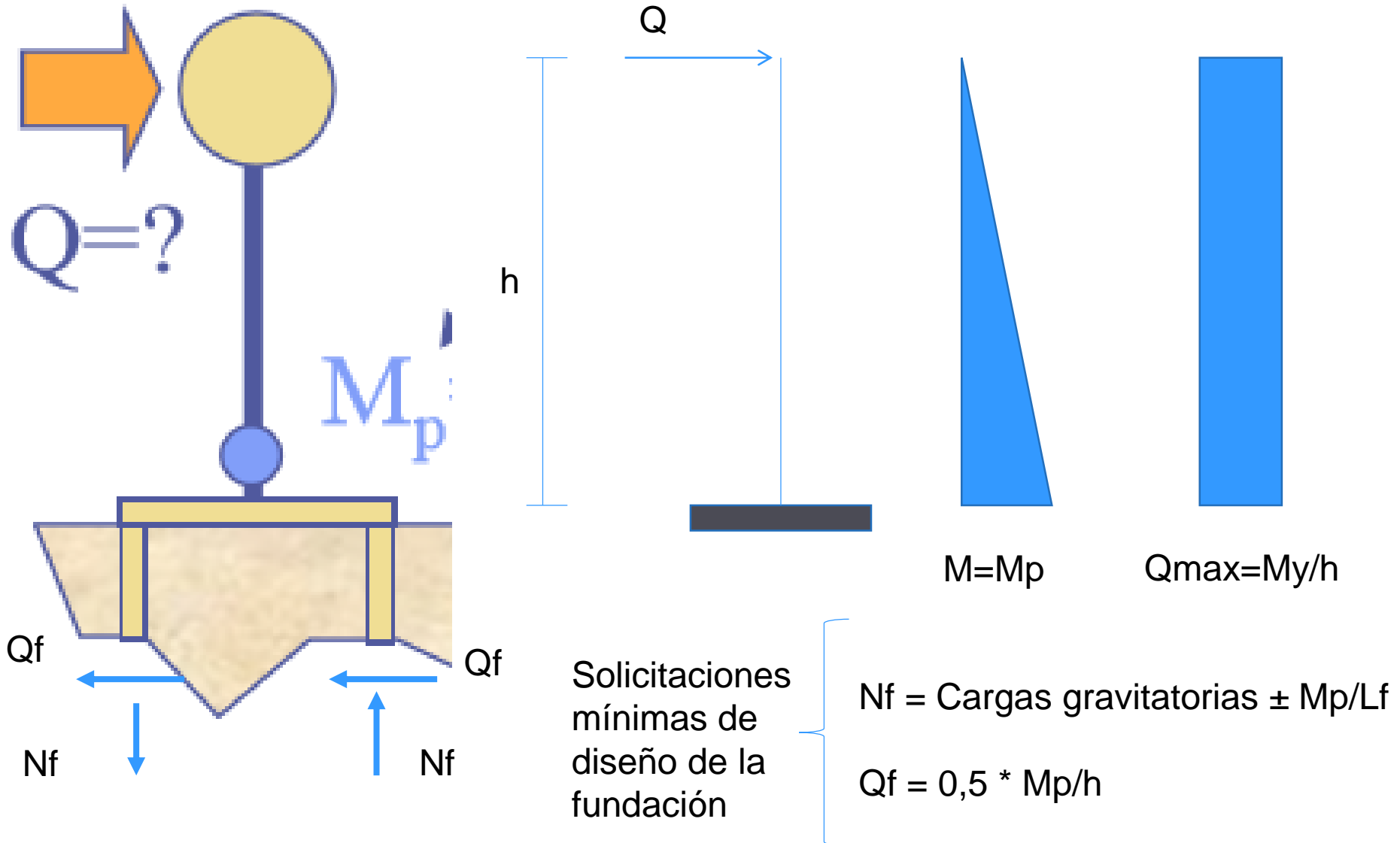
RESPUESTA INELÁSTICA DE LA ESTRUCTURA

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



CIMENTACIONES BAJO ACCIÓN DINÁMICA

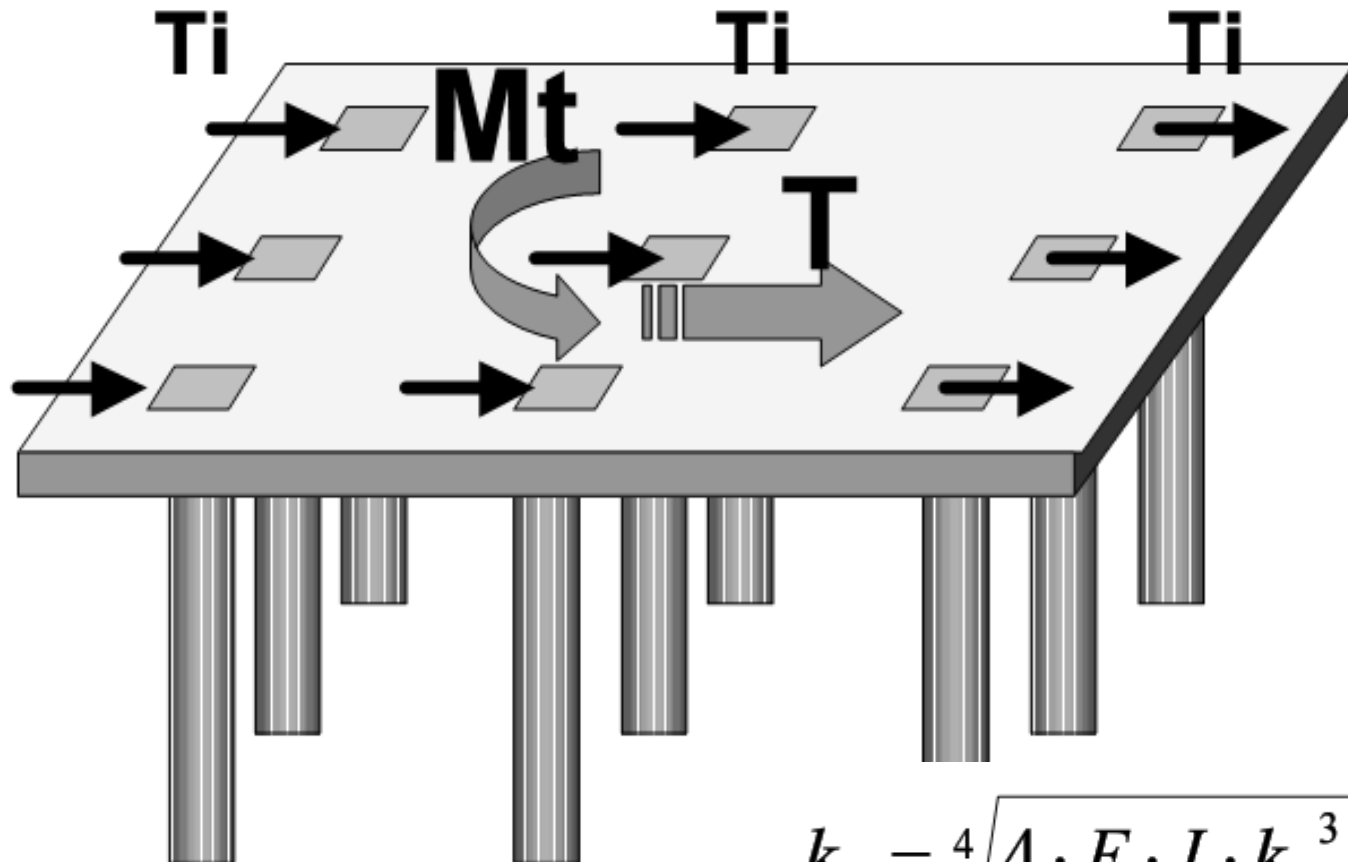
RESPUESTA INELÁSTICA DE LA ESTRUCTURA



CIMENTACIONES BAJO ACCIÓN DINÁMICA

ACCIONES SÍSMICAS

FUNDACIONES PROFUNDAS - SOLICITACIONES



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

CIMENTACIONES BAJO ACCIÓN DINÁMICA

ACCIONES SISMICAS

FUNDACIONES PROFUNDAS - SOLICITACIONES

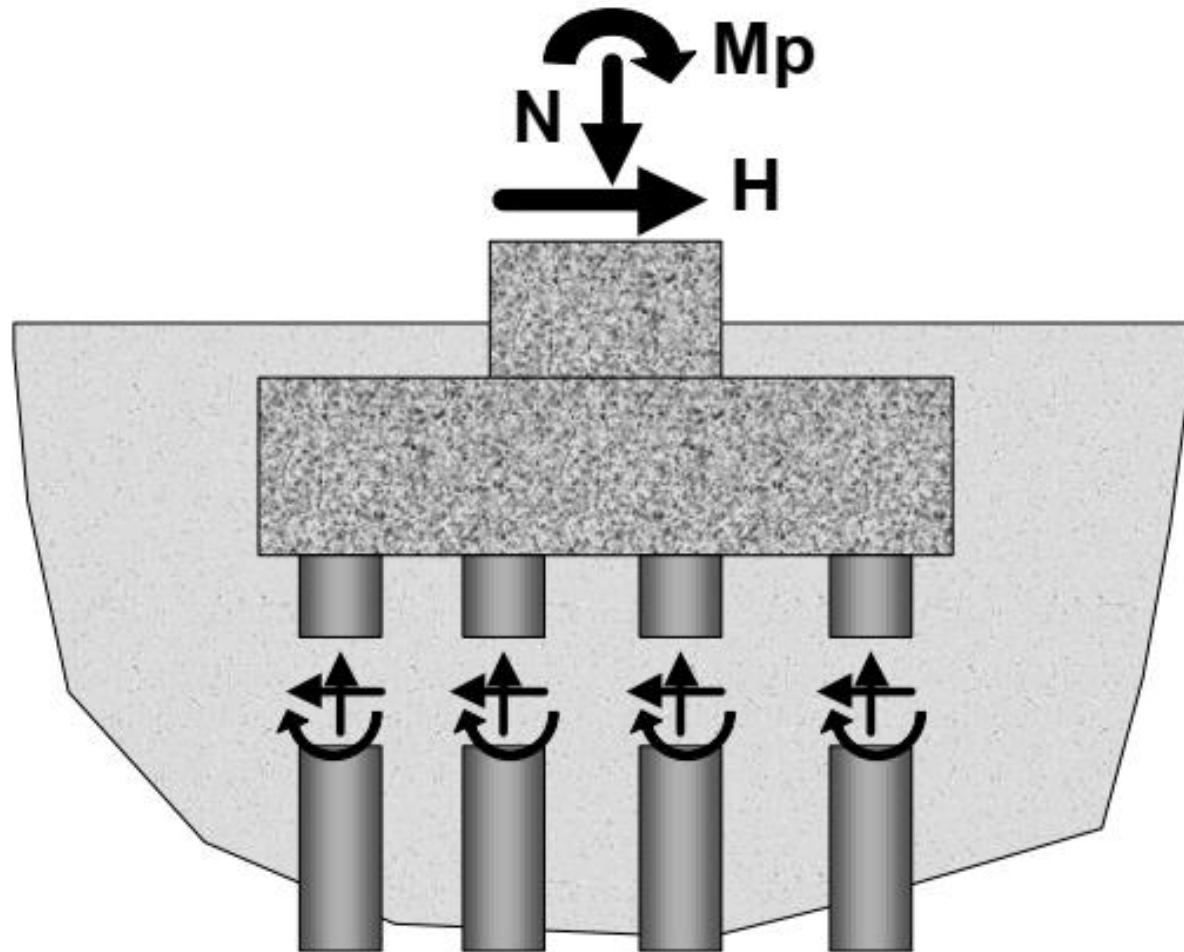


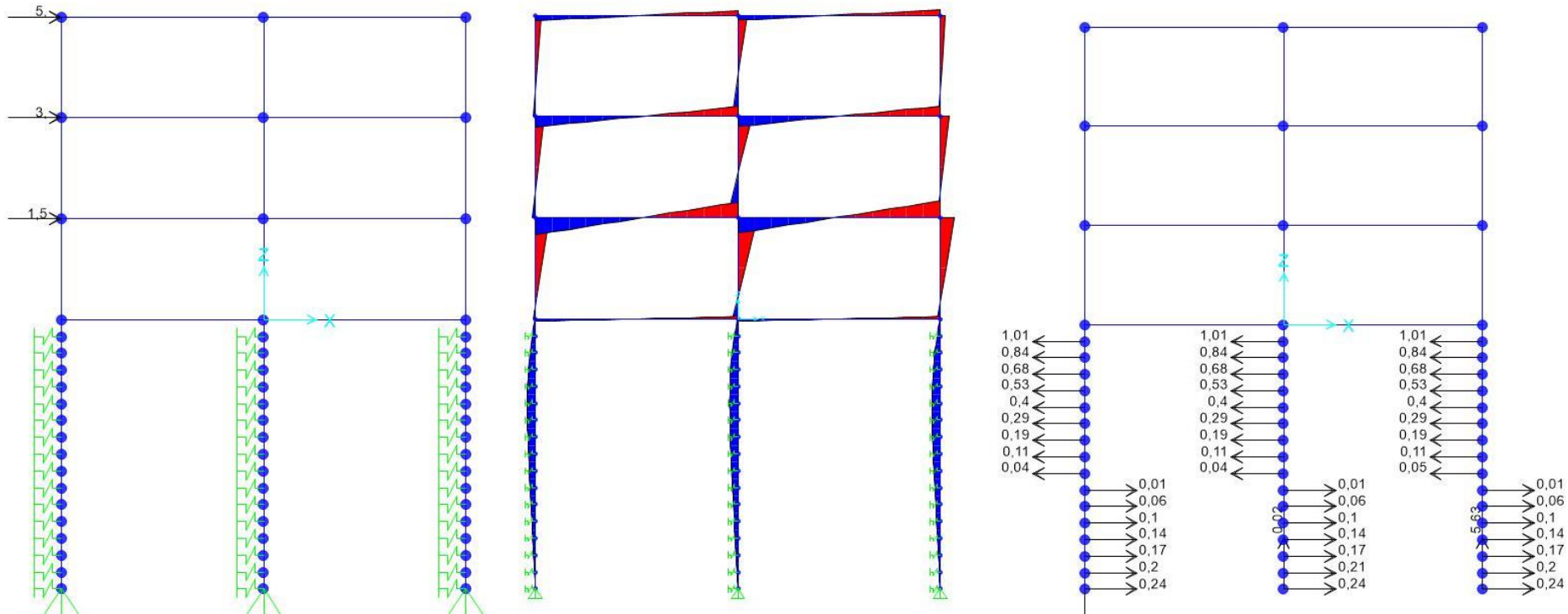
Figura 13. Distribución de solicitaciones en el cabezal de pilotes

CIMENTACIONES BAJO ACCIÓN DINAMICA



ACCIONES SISMICAS

FUNDACIONES PROFUNDAS SOLICITACIONES

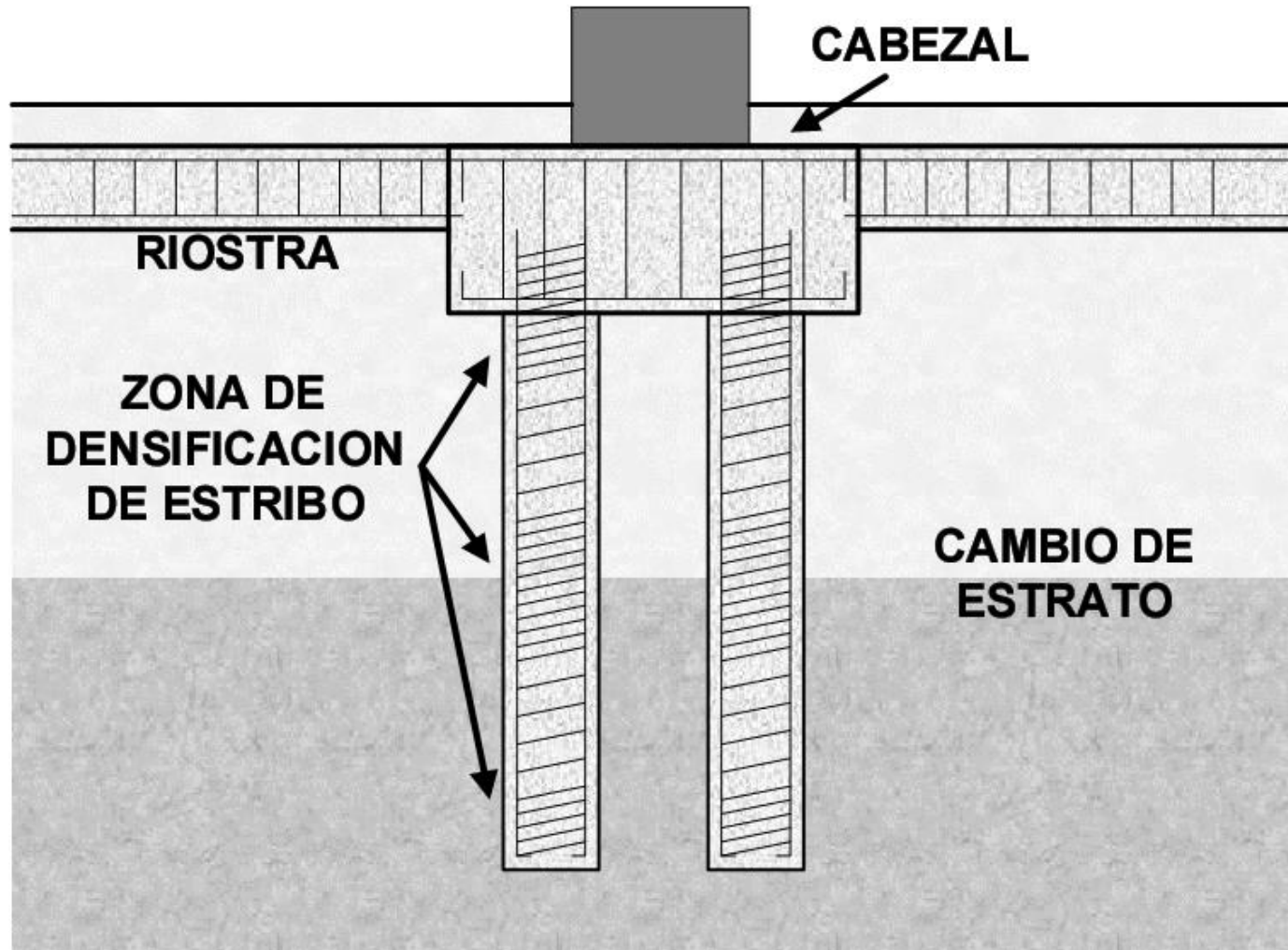




CIMENTACIONES BAJO ACCIÓN DINAMICA

ACCIONES SISMICAS

FUNDACIONES PROFUNDAS



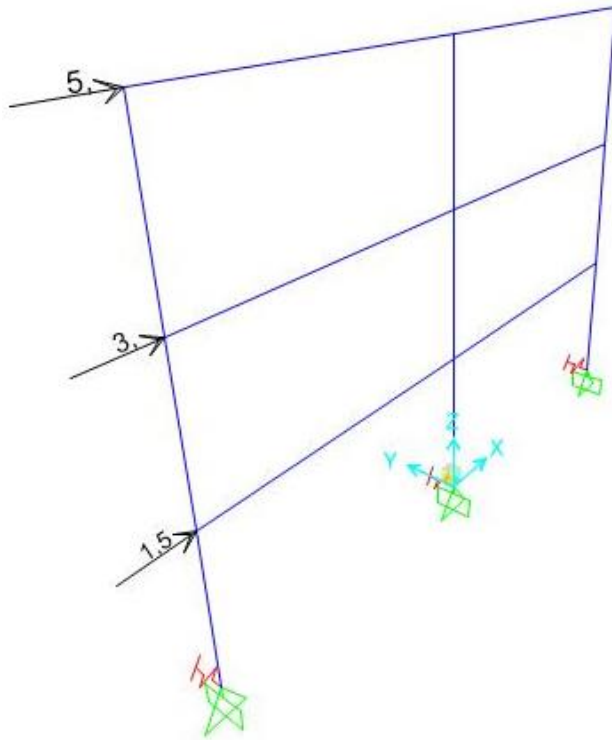


CIMENTACIONES BAJO ACCIÓN DINAMICA

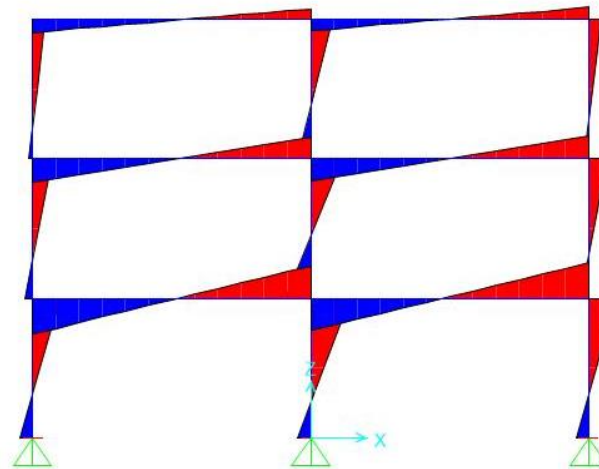
ACCIONES SISMICAS

FUNDACIONES SUPERFICIALES

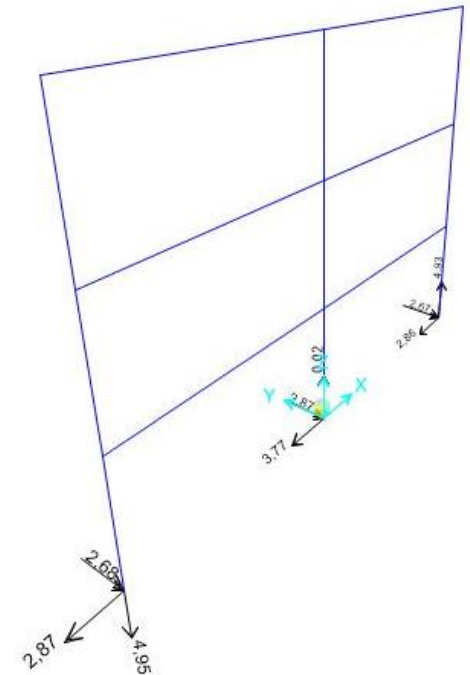
Solicitaciones en bases aisladas



Modelo



Momentos



Reacciones

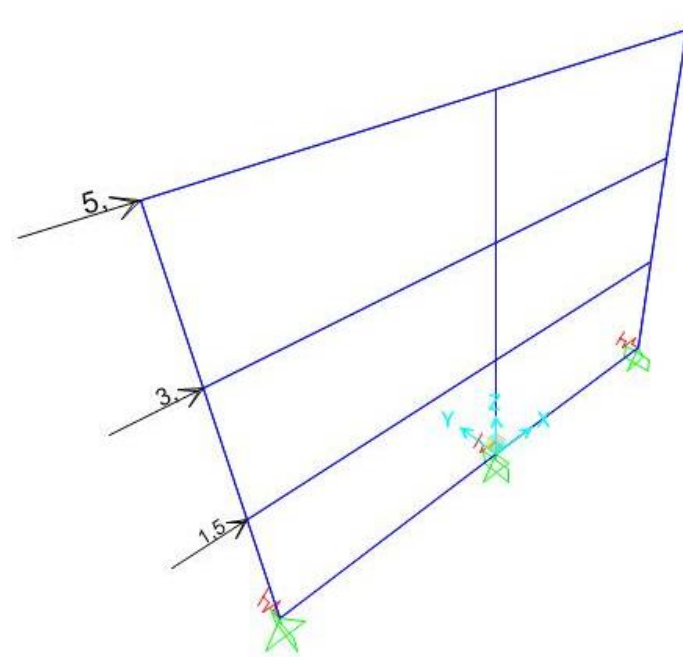


CIMENTACIONES BAJO ACCIÓN DINAMICA

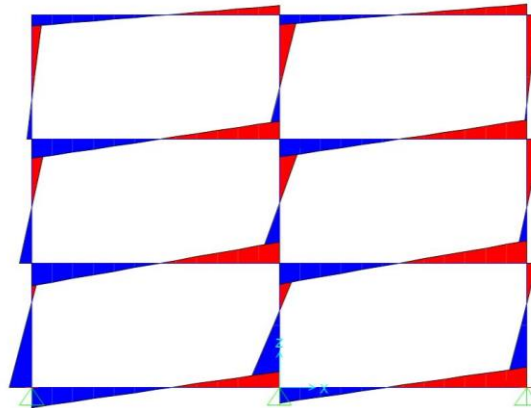
ACCIONES SISMICAS

FUNDACIONES SUPERFICIALES

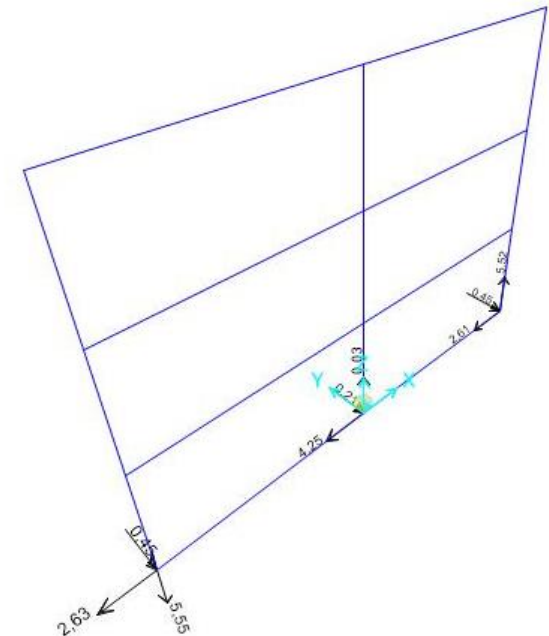
Solicitaciones en bases arriostradas



Modelo



Momentos



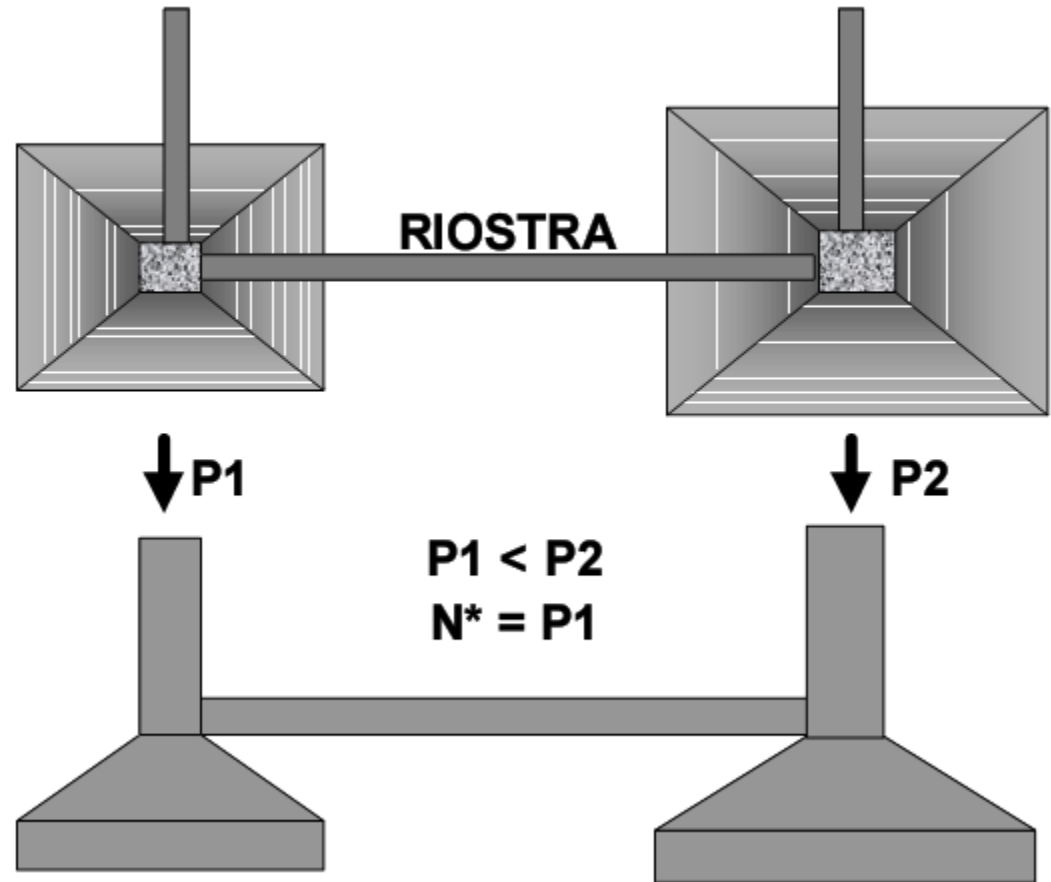
Reacciones

CIMENTACIONES BAJO ACCIÓN DINÁMICA

ACCIONES SÍSMICAS

ARRIOSTRAMIENTO DE LAS FUNDACIONES

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



γ_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.

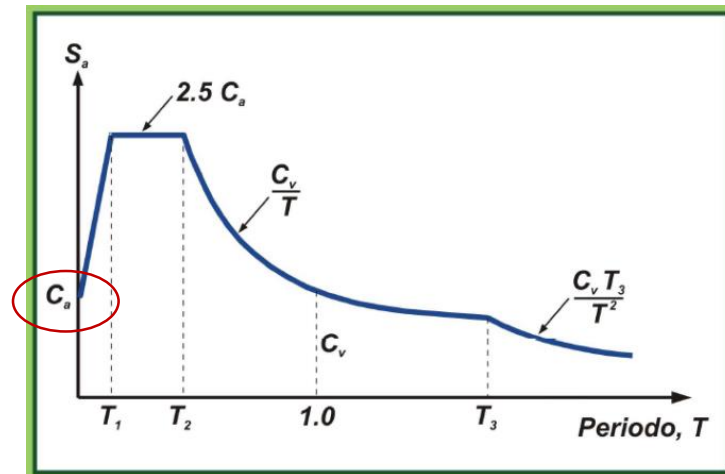
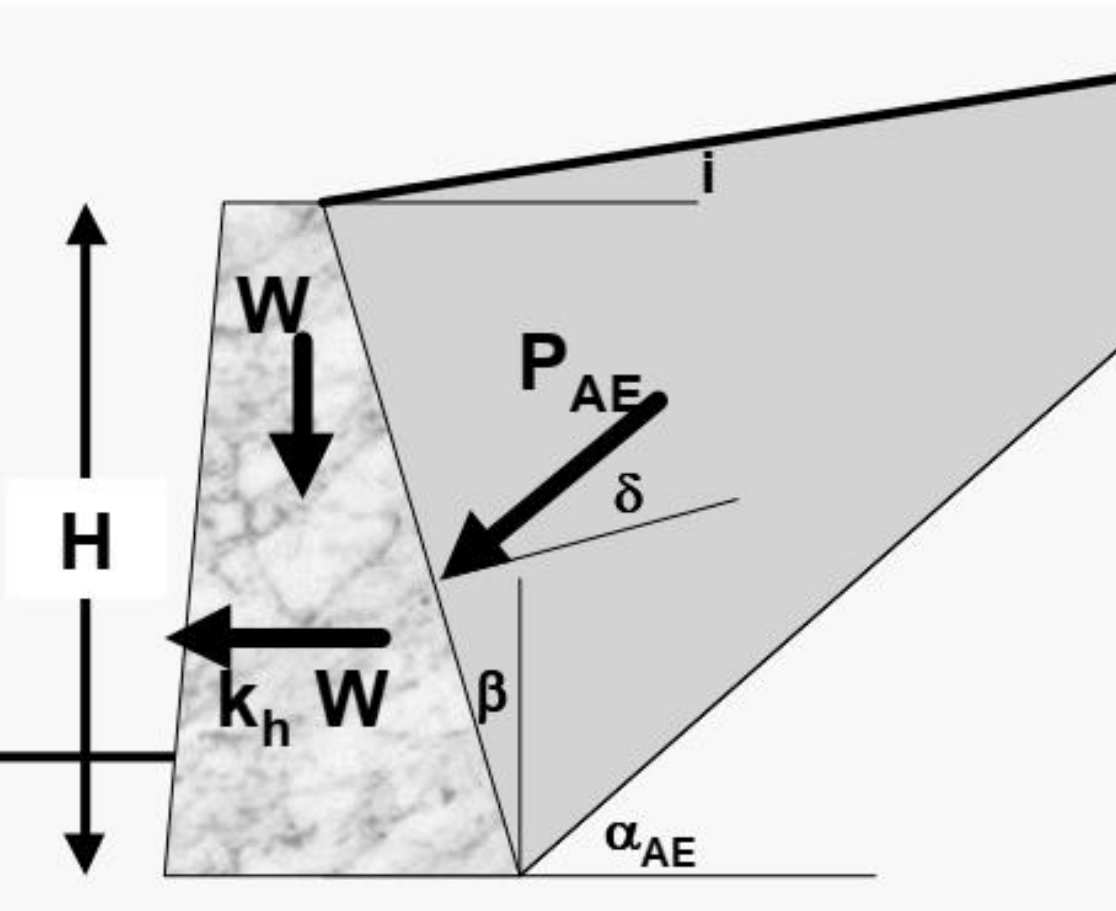


MUROS DE SOSTENIMIENTO

CIMENTACIONES BAJO ACCIÓN DINÁMICA



MUROS DE SOSTENIMIENTO



CIMENTACIONES BAJO ACCIÓN DINAMICA



MUROS DE SOSTENIMIENTO

Tabla 2. Hipótesis Simplificativas de Mononobe y Okabe.

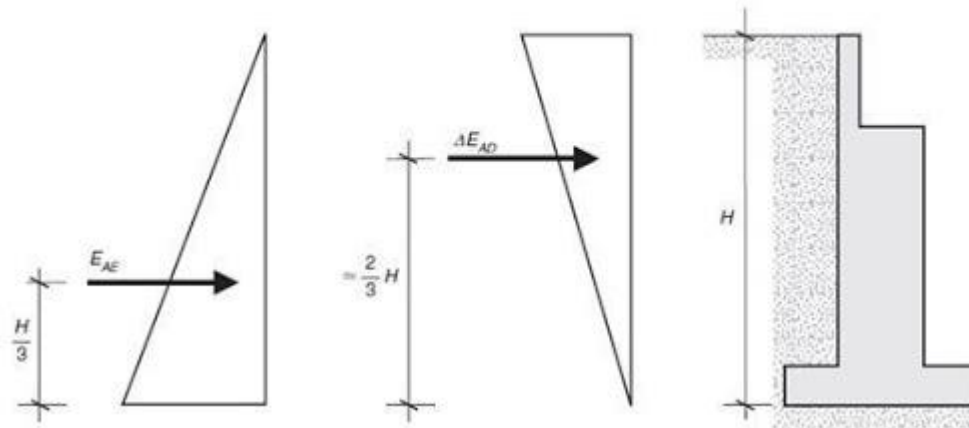
Característica	Hipótesis
Desplazamiento del Estribo	1/1000 a 5/1000 de la altura en la parte superior
Tipo de suelo	Granular, no saturado
Cuña de suelo	Comportamiento Rígido-Plástico. Sólido Rígido. Aceleraciones inducidas uniformes.
Superficie de falla	La superficie de falla del suelo de relleno es 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 DINÁMICA

MUROS DE SOSTENIMIENTO

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



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

$$\Delta k_{as} = k_{ad} - k_a$$

donde

- θ = $\text{atang}(k_h / (1 - k_v))$
- δ es el ángulo de fricción suelo - muro
- β 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 ACCIÓN DINAMICA



MUROS DE SOSTENIMIENTO

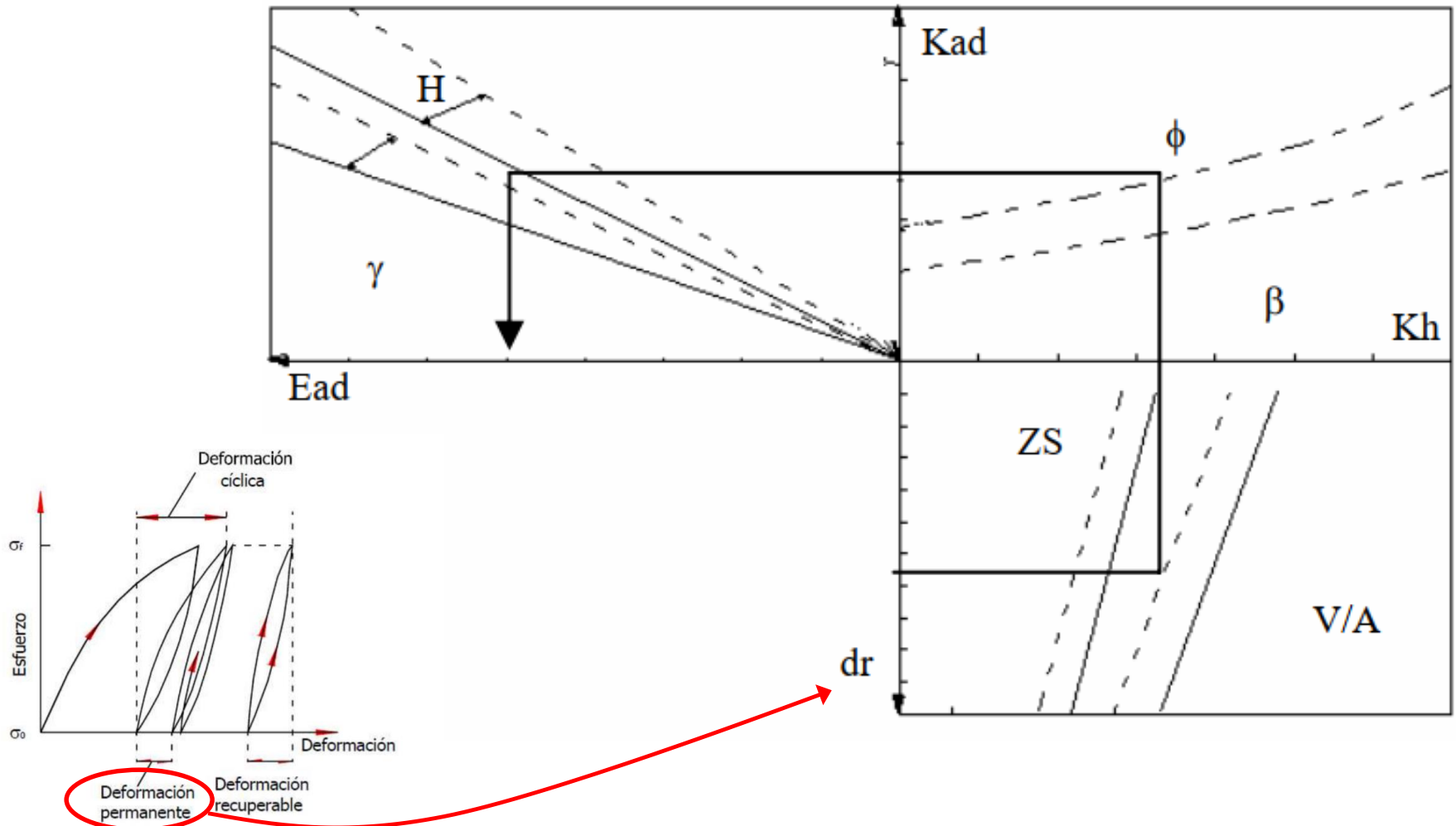
Hipótesis	Métodos	
Desplazamientos restringidos	Okabe (1926) y Mononobe (1929) Kapila (1962) Arango (1969) Matsuo y O'Hara (1960)	
	Métodos simplificados	Seed y Whitman (1970) Terzariol et al. (1987b)
Desplazamientos controlados	Richards y Elms (1979) Zarrabi (1979) Wong (1982) Terzariol et al. (1987a)	



CIMENTACIONES BAJO ACCIÓN DINÁMICA

MUROS DE SOSTENIMIENTO

Método de Terzariol



CIMENTACIONES PARA MAQUINAS



LICUACION DE SUELOS

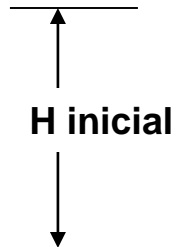
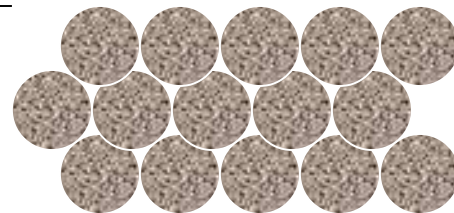
CIMENTACIONES PARA MAQUINAS

LICUACION

$$\tau = \sigma' \cdot \tan \varphi = (\sigma - u) \cdot \tan \varphi$$



H inicial





CIMENTACIONES PARA MAQUINAS

EJEMPLOS



NIIGATA, 1964

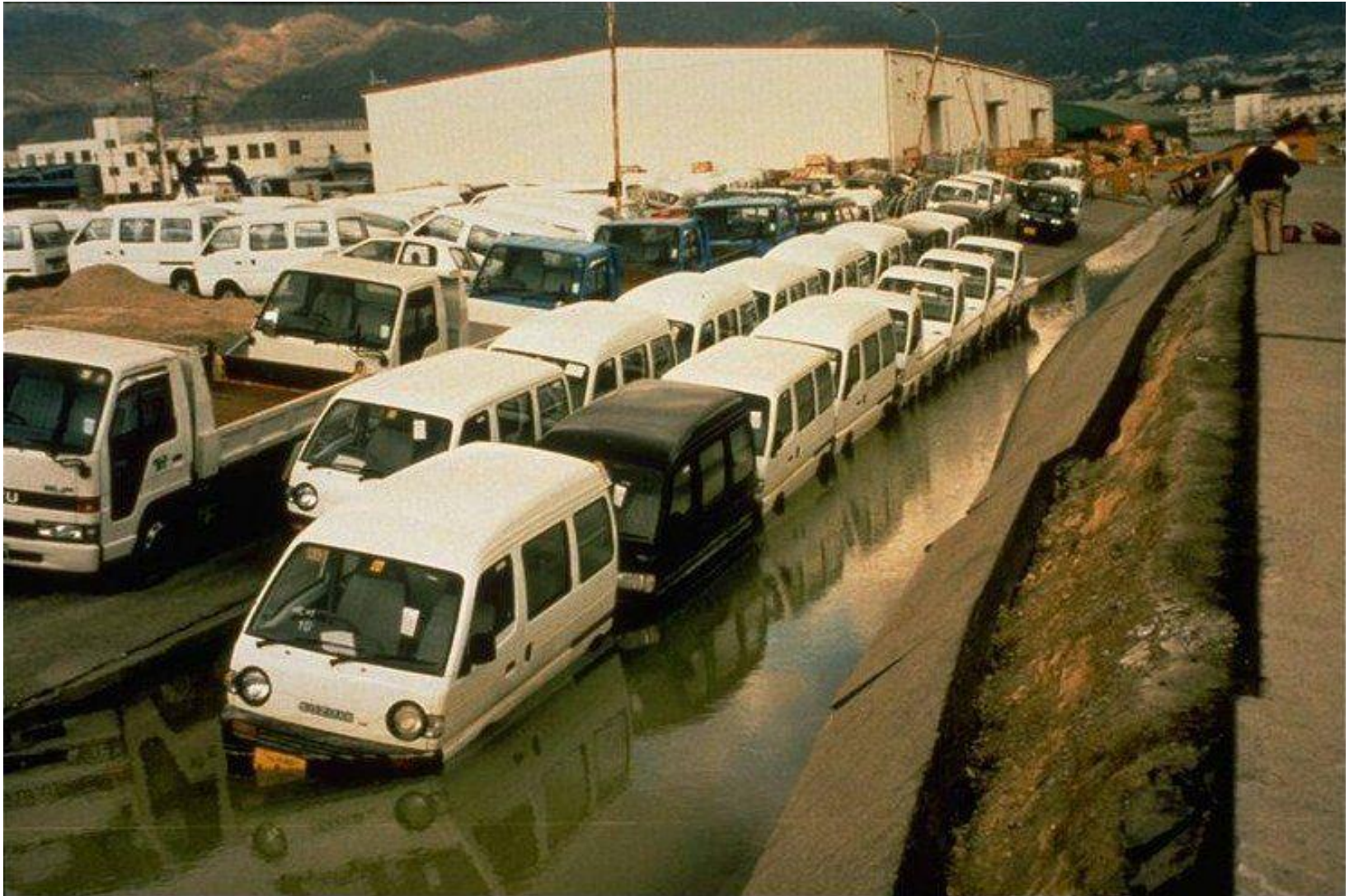
CIMENTACIONES PARA MAQUINAS

EJEMPLOS



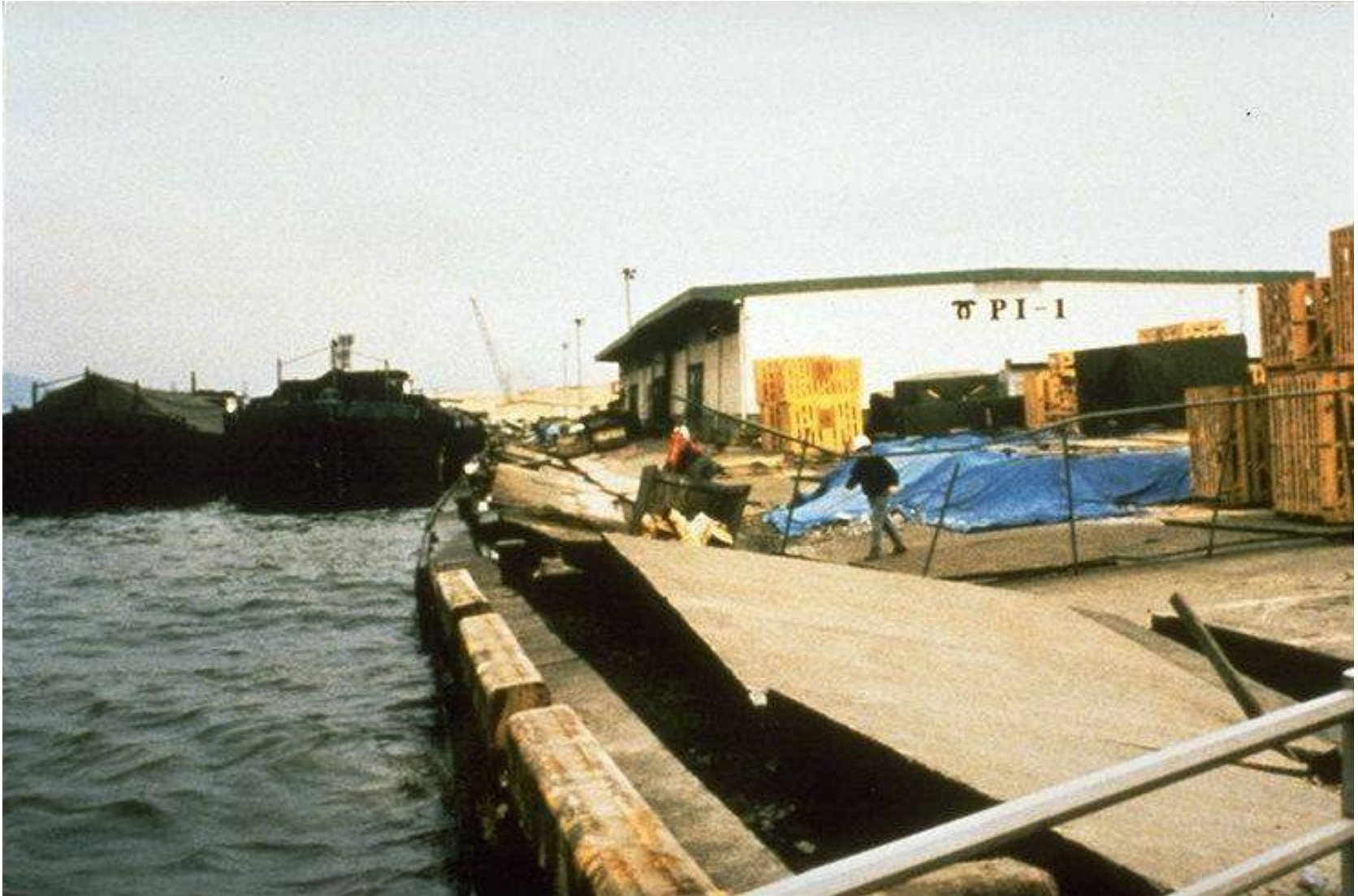
CIMENTACIONES PARA MAQUINAS

EJEMPLOS



CIMENTACIONES PARA MAQUINAS

EJEMPLOS





CIMENTACIONES PARA MAQUINAS

LICUACION

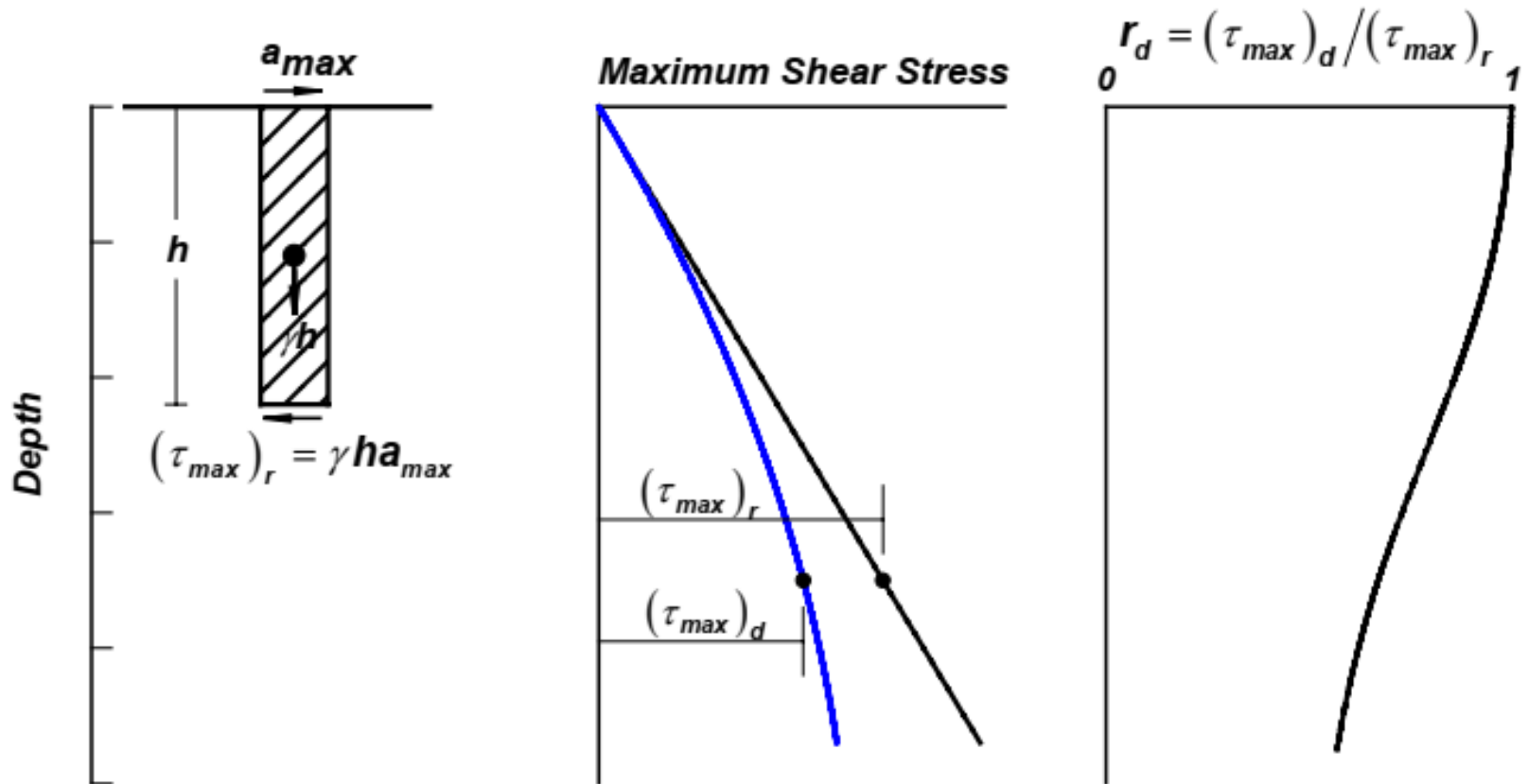
CARACTERÍSTICAS DEL FENÓMENO.

- 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)



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

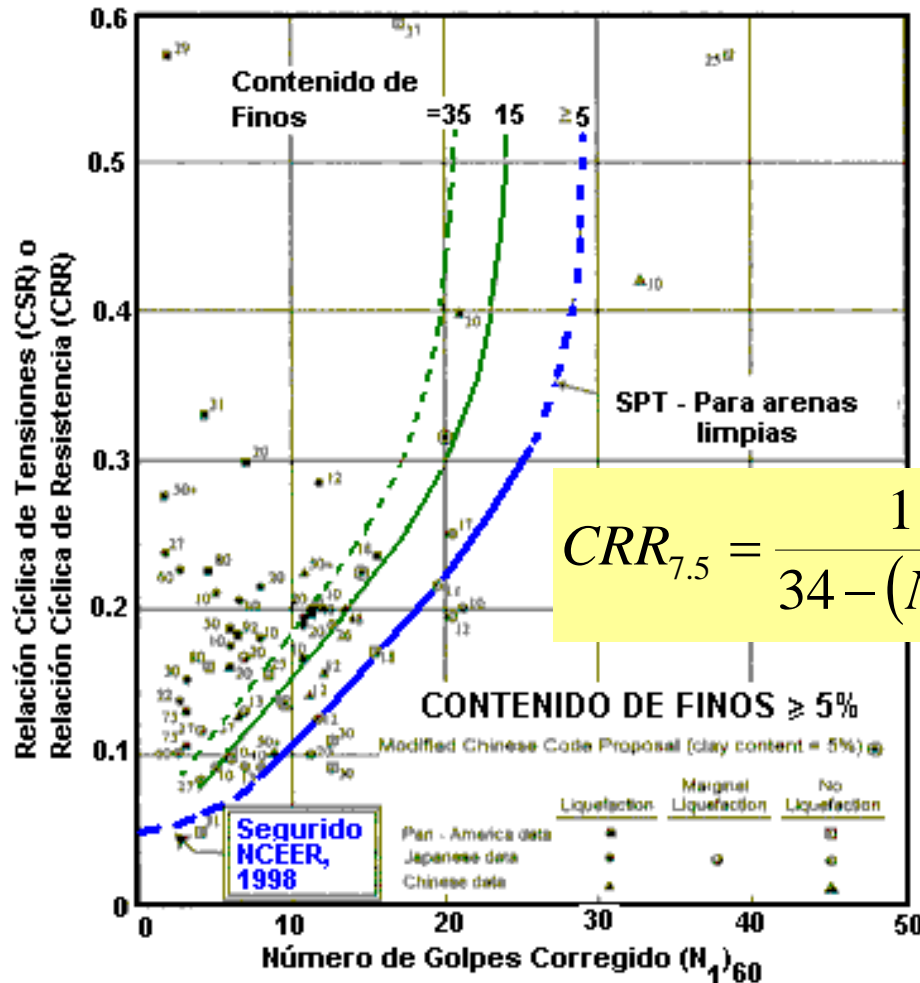


CIMENTACIONES PARA MAQUINAS

RELACION DE RESISTENCIAS CICLICAS (CRR)

ENSAYO SPT

Función numérica
(Rauch, 1998)



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

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

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



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 FRICCIONALES.
- CONFINAMIENTO EFECTIVO REDUCIDO EN RELACION CON LAS SOLICITACIONES APLICADAS.