

*Departamento de Ingeniería del
Terreno, Cartográfica y Geofísica*
**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE
CATALUNYA**



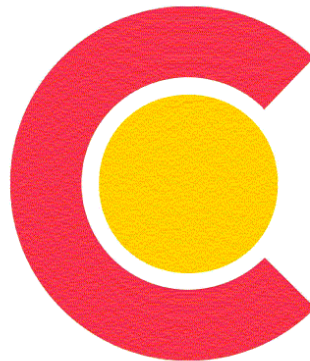
*Instituto de Investigaciones
Antisísmicas "Ing Aldo Bruschi"*
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE
SAN JUAN**



Laboratorio de Geotecnia
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE
CÓRDOBA**

Geotecnia e Ingeniería Sísmica aplicadas a la Minería

San Juan, Argentina, 16 de Octubre de 2007



**AGENCIA
ESPAÑOLA DE
COOPERACIÓN
INTERNACIONAL**



EVALUACION DE LA SEGURIDAD SISMICA DE PRESAS DE MATERIALES SUELTOS

Francisco Zabala



INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ANTISISMICAS.
Universidad Nacional de San Juan-Argentina

Formas en que un terremoto puede afectar a una presa de materiales sueltos. (Seed, 1981)

- 1) Rotura o pérdida de resguardo debido a movimientos tectónicos diferenciales.
- 2) Sobrepasso por olas o deslizamientos en el vaso.
- 3) Deslizamiento de taludes o de toda la presa sobre su fundación.
- 4) Tubificación a través de grietas.
- 5) Pérdida de resguardo por deformaciones.
- 6) Falla de vertedero u obras de descarga.

Presa Lower San Fernando, terremoto de San Fernando, 1971, $M = 6.5$, $I = X$



FOTO: Steinbrugge Collection, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley

Presa Lower San Fernando, terremoto de San Fernando, 1971, $M = 6.5$, $I = X$. Deslizamiento del talud de aguas arriba.



FOTO: Steinbrugge Collection, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley

The Mochikoshi tailings dams

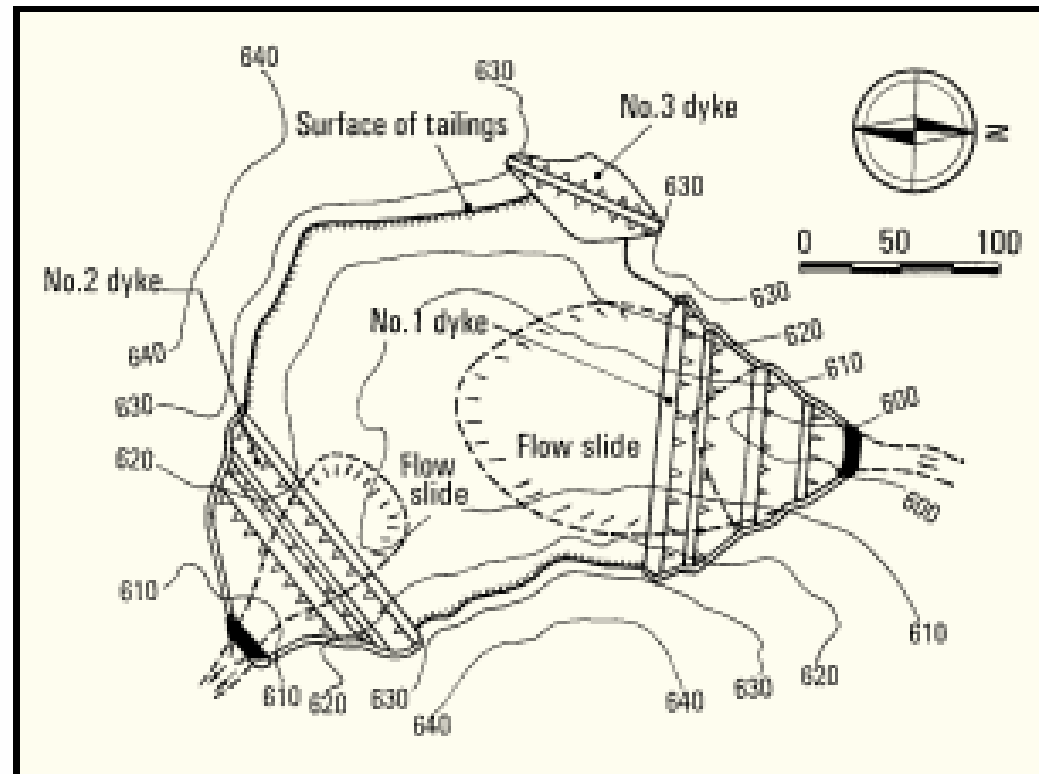


Fig. 2. Plan of the Mochikoshi tailings dams [Okusa and Anma, 1980^{1,2}], showing the flow slides during failure.

Terremoto de Izu-Ohshima-Kinkai 1978
Ishihara [1984] (0.15 to 0.25 *g.*)

The Mochikoshi tailings dams

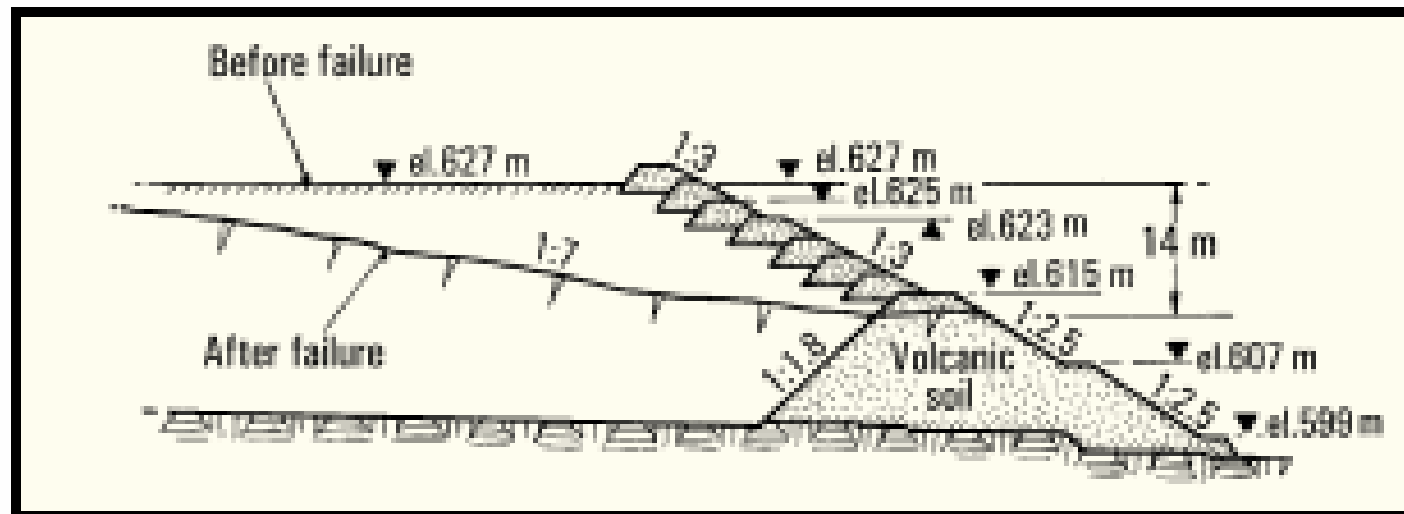


Fig. 3. Cross-section of Mochikoshi Dam No. 1 [Ishihara, 1984¹⁰].

Tapo Canyon tailings dam



Terremoto de
Northridge 1994

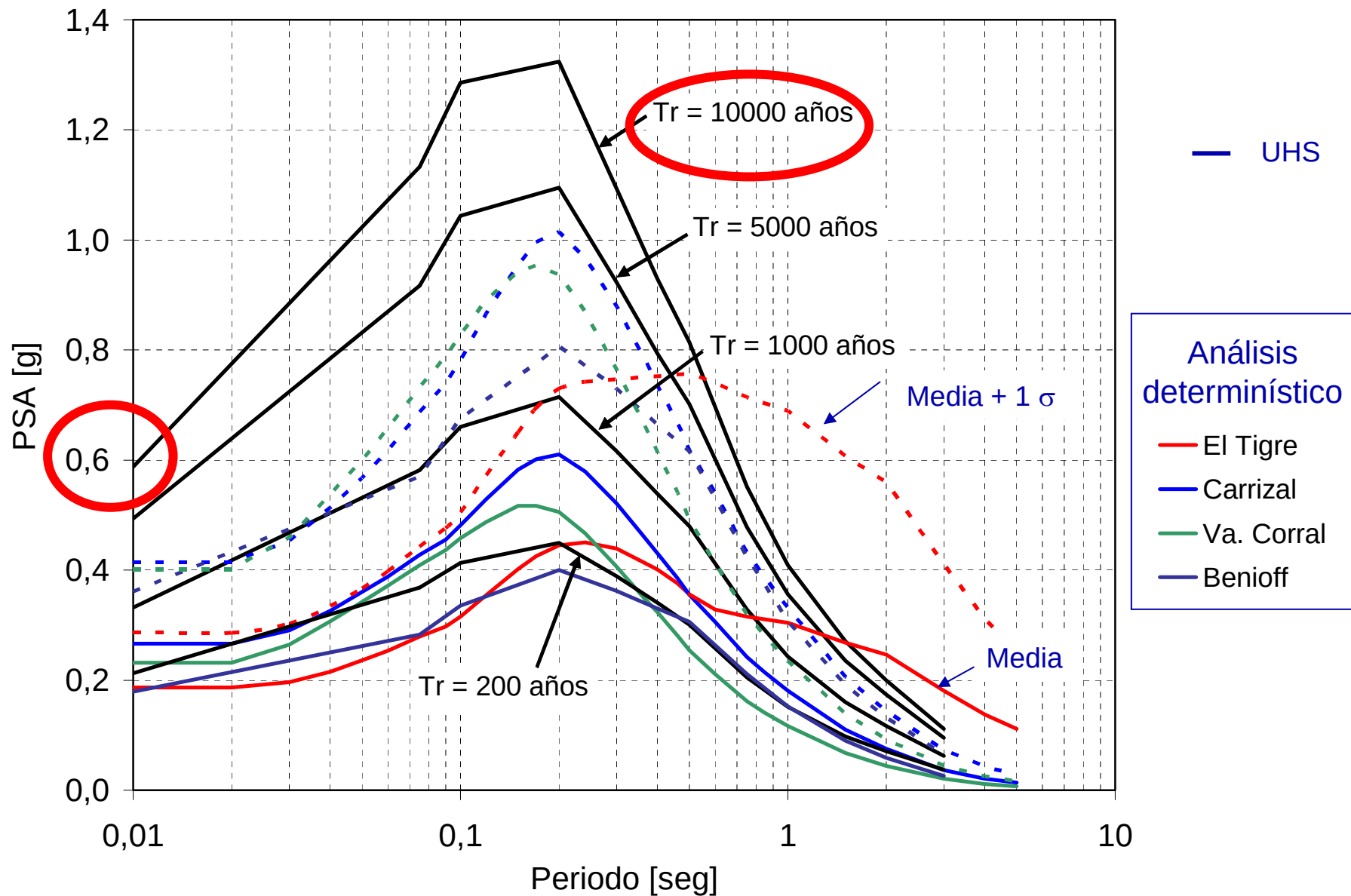
AMENAZA SÍSMICA.

- Terremotos de verificación.
 - Operación. (OBE)
 - Verificación de seguridad. (MDE-SEE)
- Efectos de área epicentral.
 - Tipo de falla.
 - Bloque ascendente.
 - Directividad.

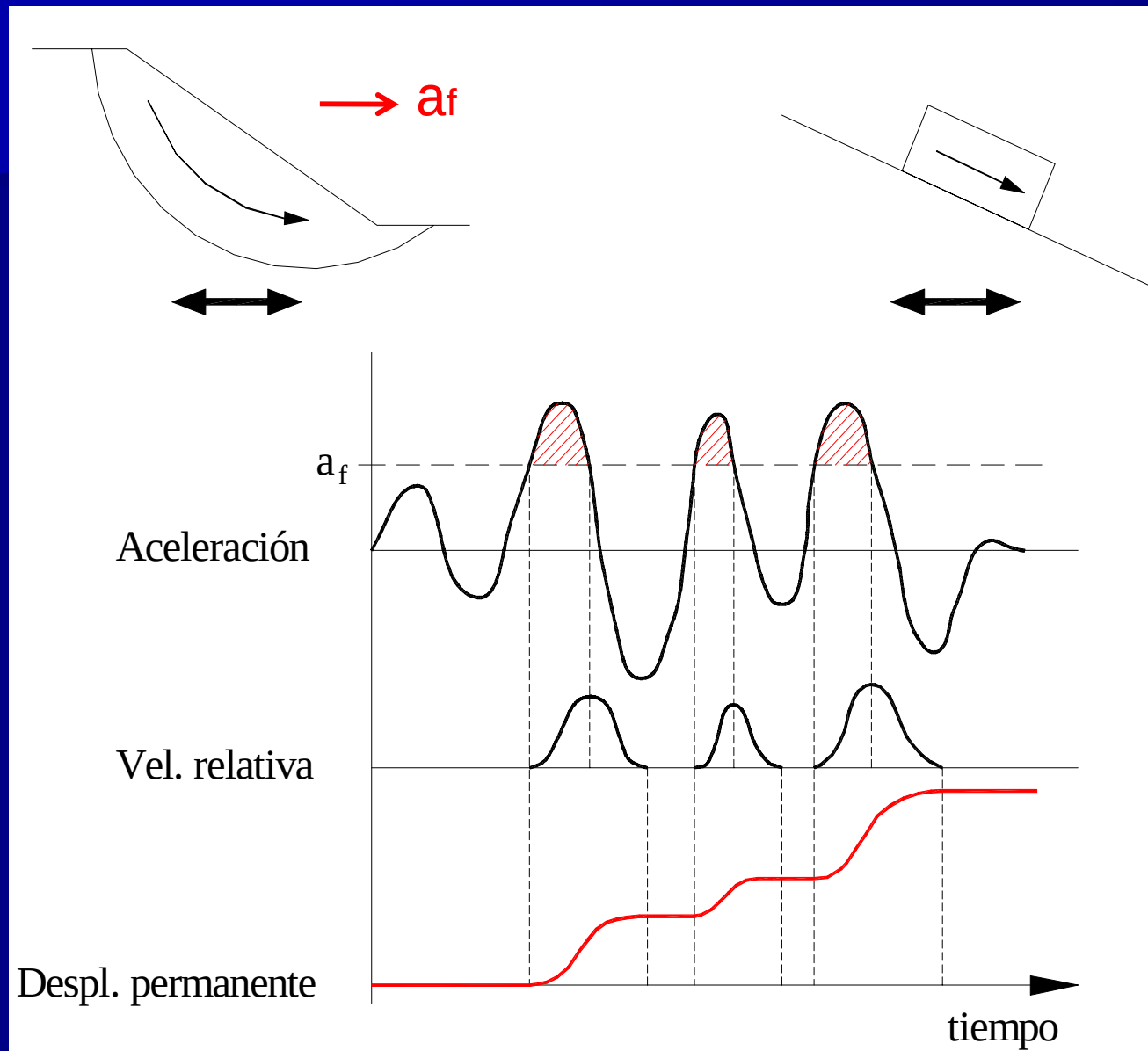
Criterios de verificación sísmica para las obras del Proyecto Casposo

Tipo de Obra	Probabilidad de excedencia	Periodo de retorno	Objetivo de diseño	Designación del movimiento sísmico de diseño
NO CRÍTICA	1% en 10 años	1000 años	Seguridad de vida de las personas que trabajan en el proyecto	TMD ₁₀₀₀
CRÍTICA	1% en 100	10000 años	Seguridad pública. Seguridad de vida y bienes de la población. Se aceptan daños, sin colapso, que no provoquen escapes incontrolados de agua, sólidos o sustancias contaminantes.	TMD ₁₀₀₀₀

Análisis probabilístico. Espectros de amenaza uniforme (UHS)



¿ Cuando un talud falla bajo acción sísmica ?



Método de
Newmark
(1965)

DAÑOS EN PRESAS DE TIERRA. TERREMOTO DE BHUJ (2001) $M_w=7.6$

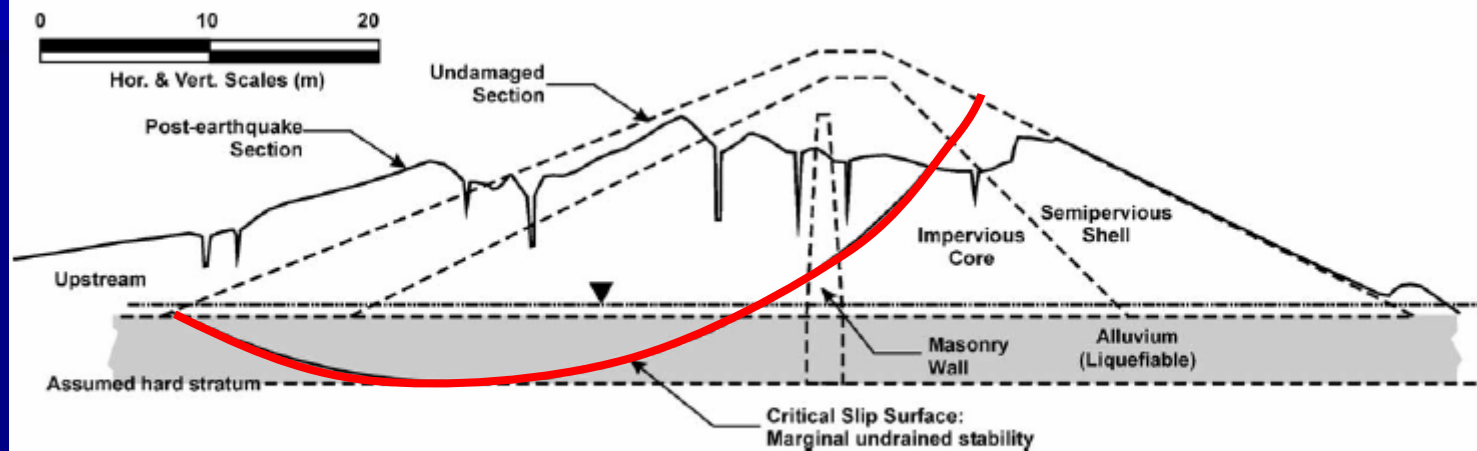


Fig. 2. Cross-section of Chang Dam.

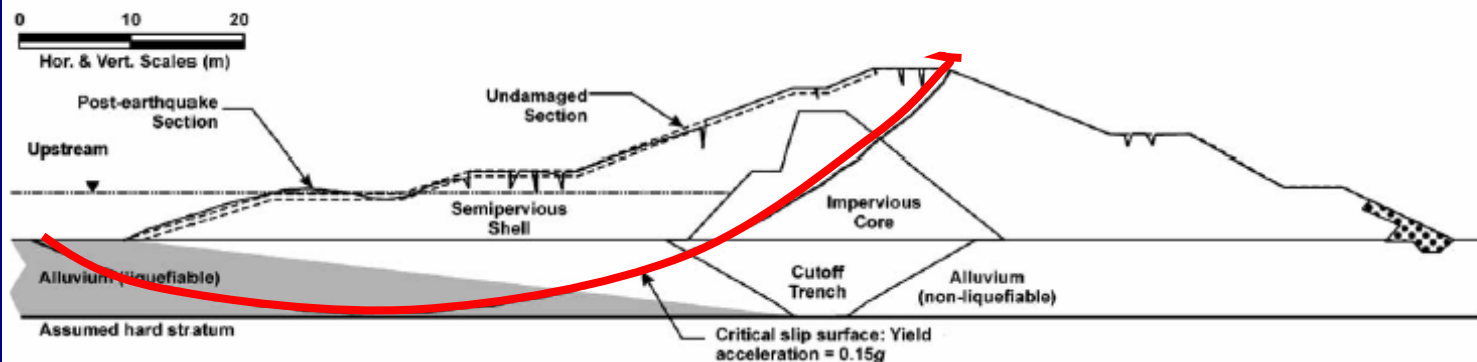


Fig. 4. Cross-section of Tapar Dam.

Singh 2005

PUNTOS CLAVE DEL ANÁLISIS DE SEGURIDAD

- Determinación de la posibilidad de licuación en el cuerpo de la presa ó su fundación.
- Análisis de estabilidad post-terremoto considerando resistencias del material licuado.
- Estimación de deformaciones.

LICUACIÓN DE MATERIALES SATURADOS

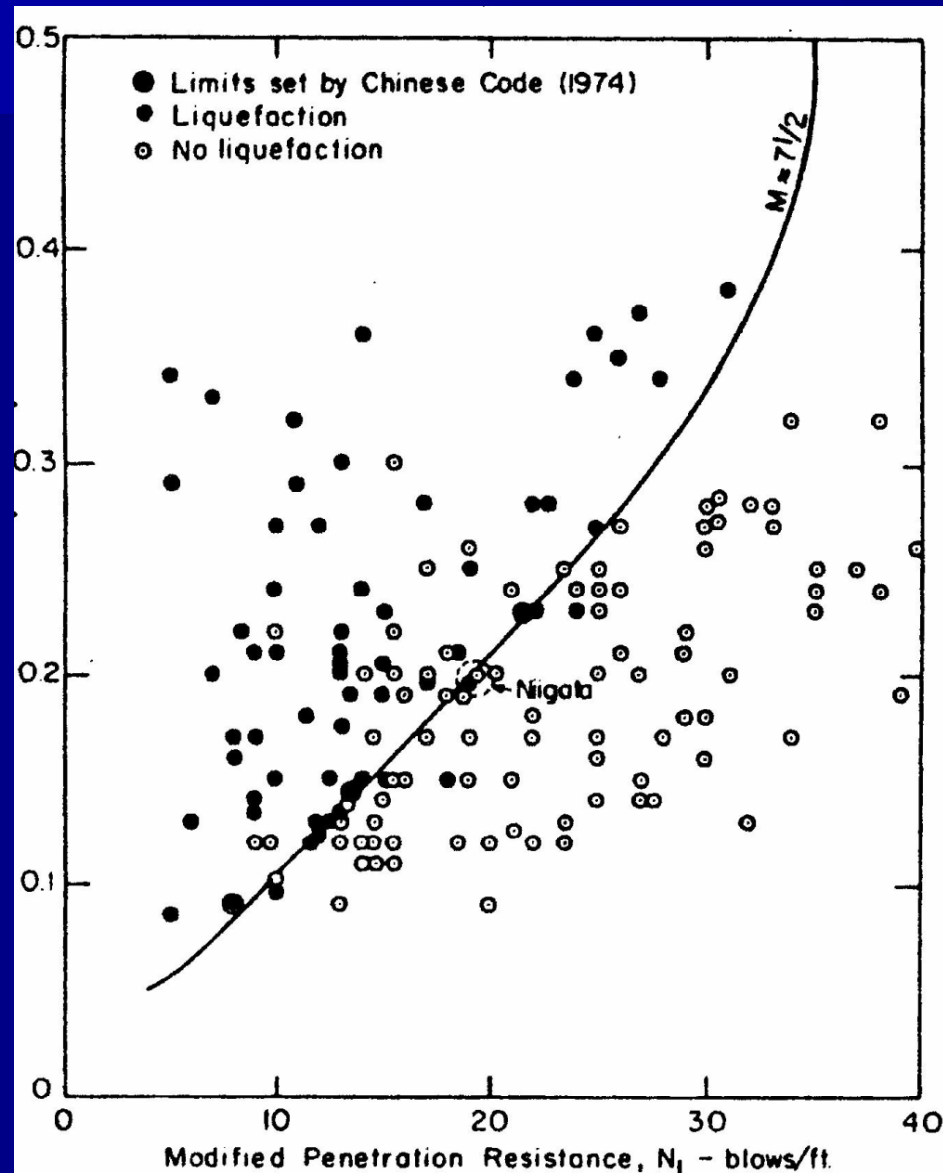
- ¿ Se disparará la licuación ($r_u = u/p' = 100\%$) en zonas significativas de la presa ó de su fundación cuando actúe el terremoto de verificación?
- ¿ Si esto sucede podría ocurrir una falla de flujo ?
- ¿ Serán las deformaciones y desplazamientos asociados tolerables?

Resistencia cíclica en función de la Resistencia a la Penetración. (Seed y otros, 1985)

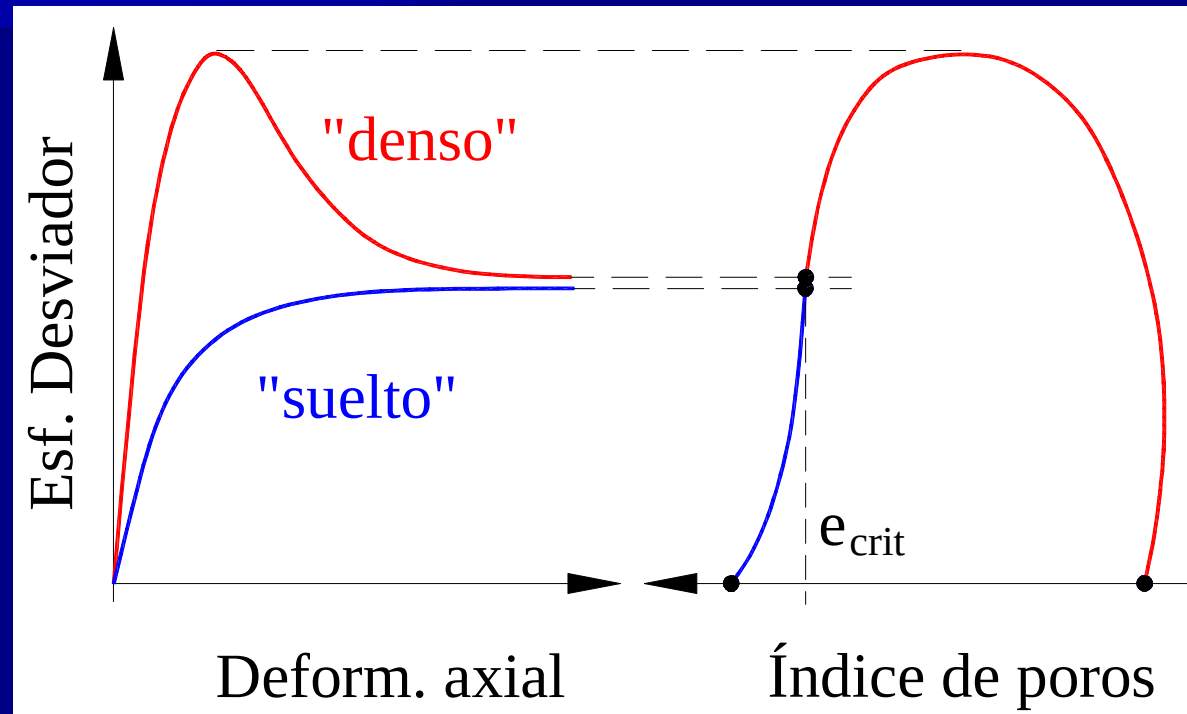
$$CSR = \frac{\tau_c}{\sigma_v}$$

ó

$$CRR = \frac{\tau_l}{\sigma_v}$$



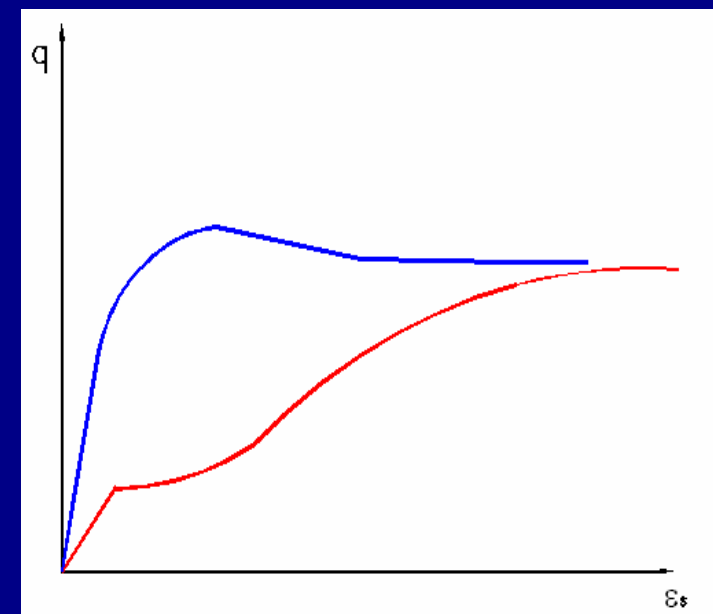
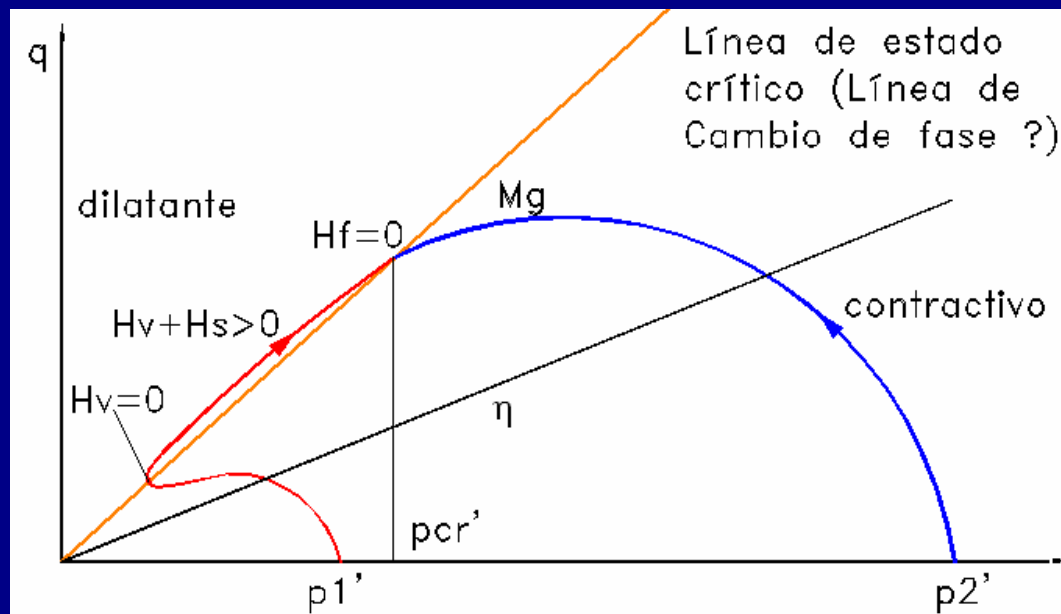
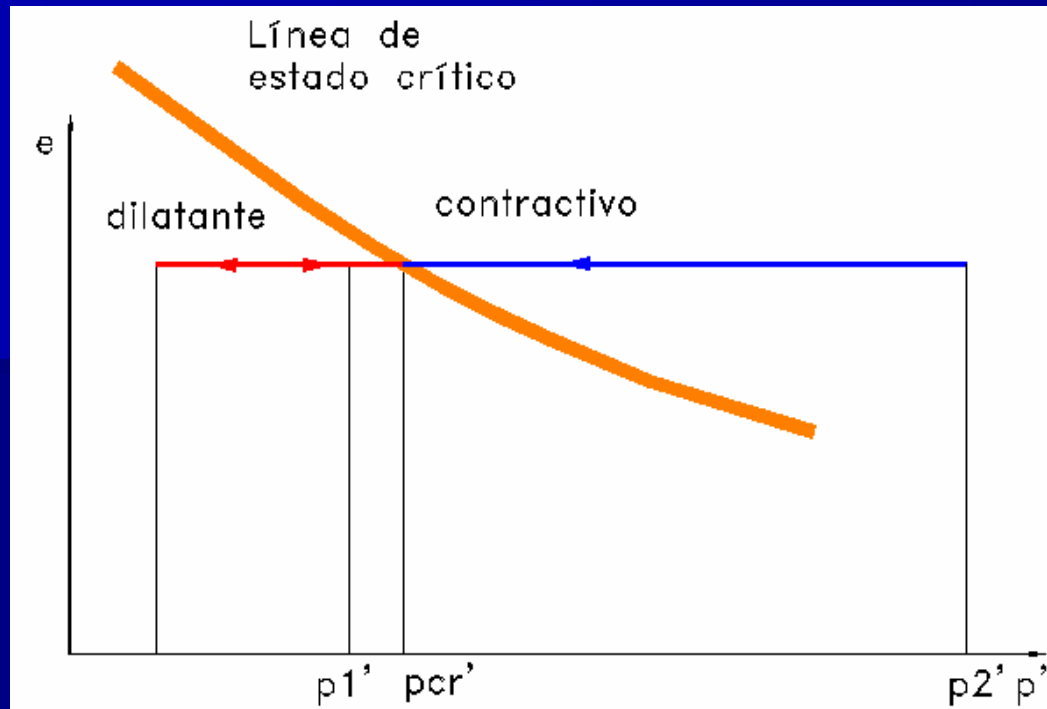
Materiales “granulares” en condiciones drenadas



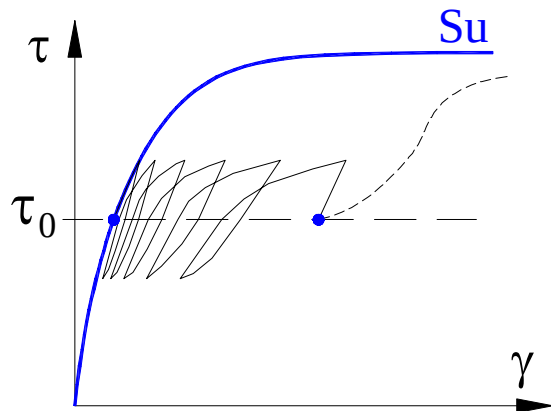
$$e_{crit} = f(p')$$

CARGA MONOTÓNICA
Ensayo Triaxial
(Casagrande, 1936)

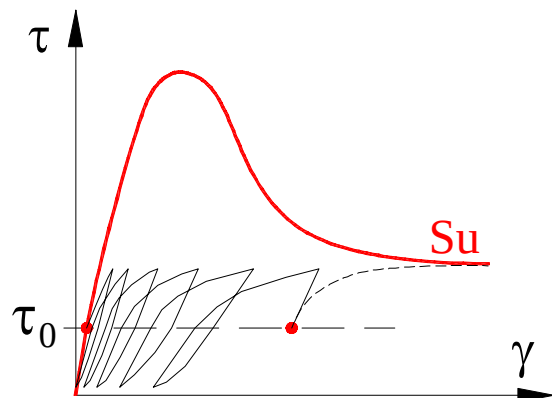
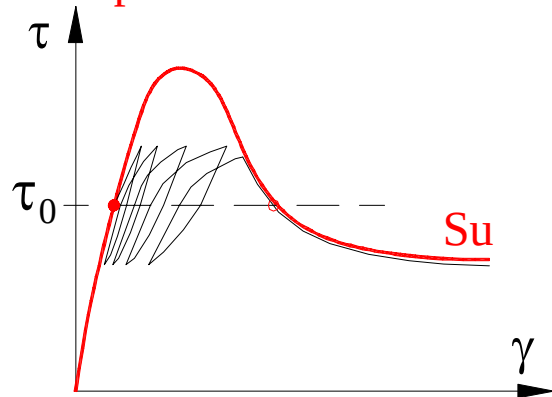
Materiales granulares en condiciones no-drenadas



Comportamiento "dilatante"



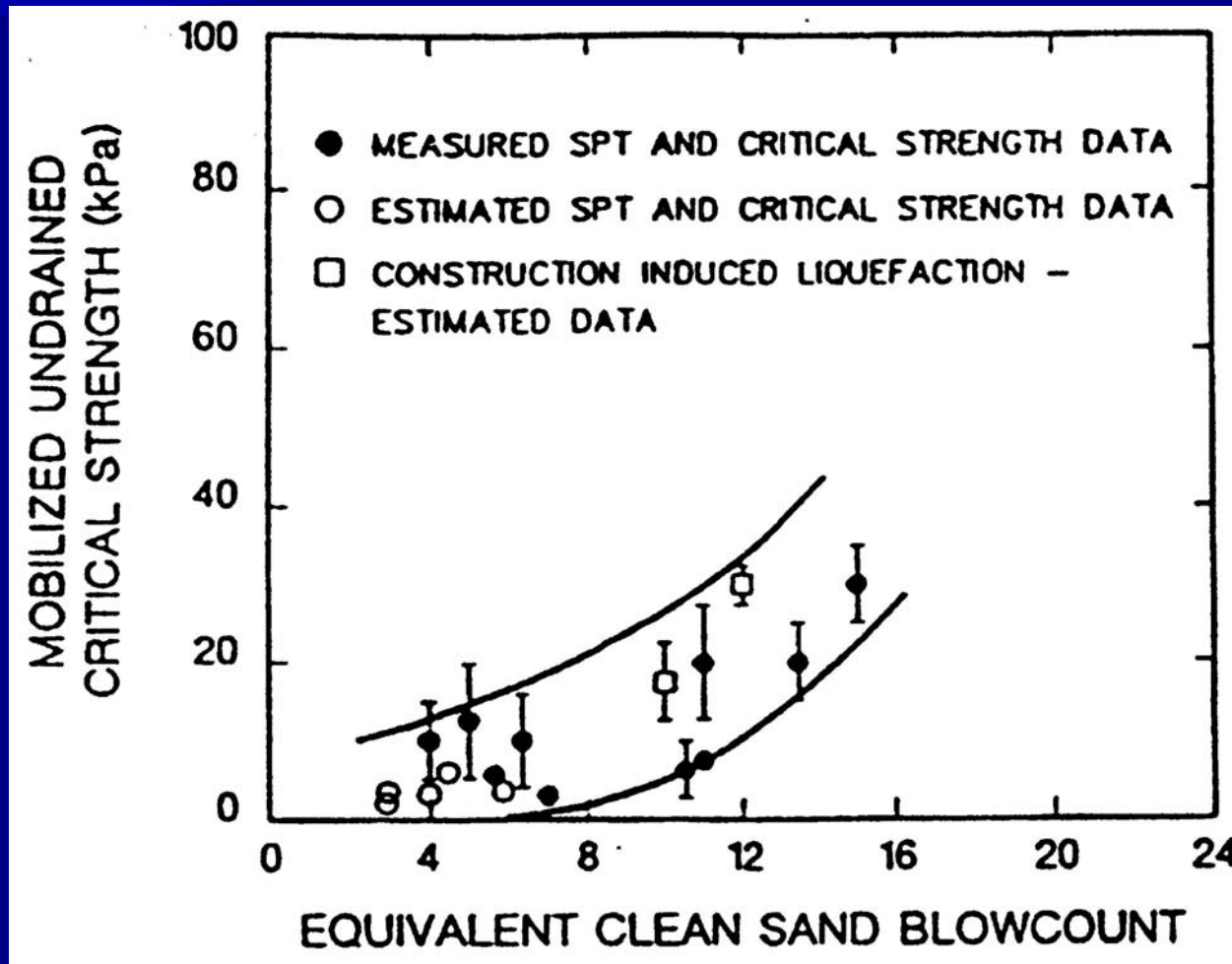
Comportamiento "contractivo"



S_u = resistencia residual (estado crítico) = $f(e, \dots p')$

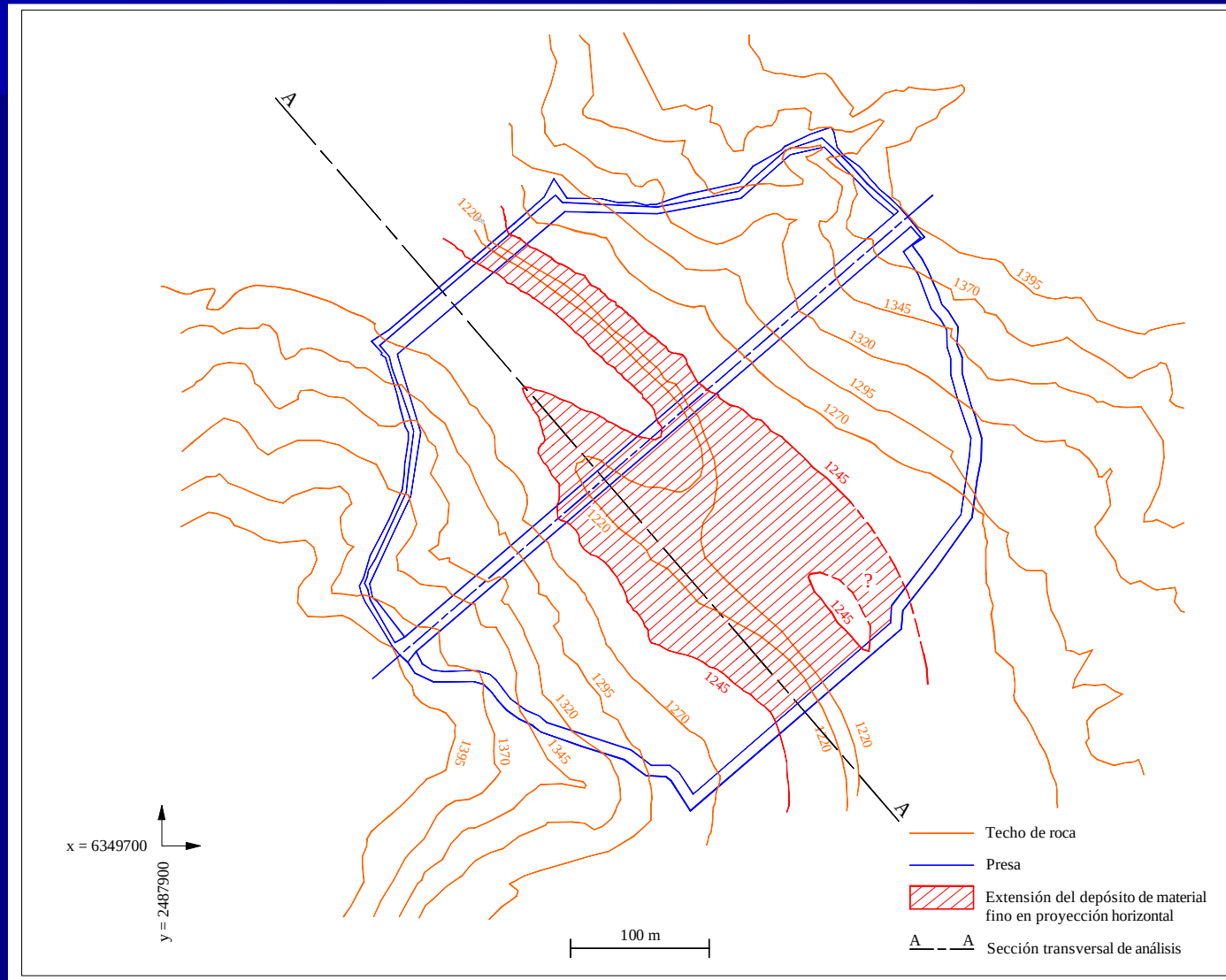
DILATANTE	$\tau_0 < S_u$	} $\Rightarrow$ MOVILIDAD CÍCLICA - Deformaciones - Agrietamiento
CONTRACTIVO	$\tau_0 < S_u$	
		$\tau_0 > S_u$
	$\tau_0 = 0$	$\Rightarrow$ Volcanes de arena

Evaluación de la resistencia residual. (Seed y Harder 1990; Kramer, 1996)

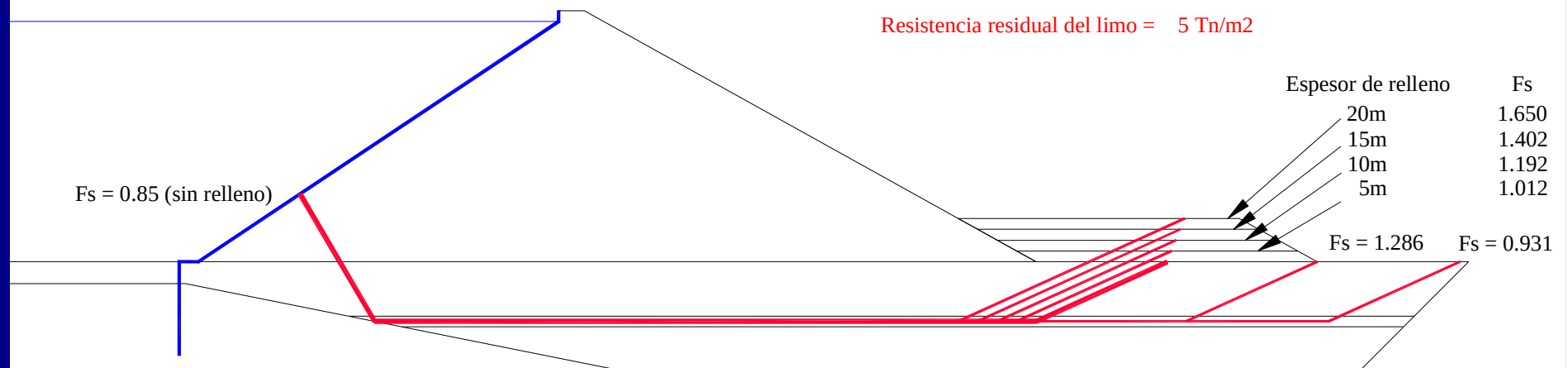


PRESA POTRERILLOS :

Material fino en proyección horizontal



PRESA POTRERILLOS- REMEDIACION.



DEFORMACIONES POST-TERREMOTO

- Pérdida de resguardo.
 - Sobrepasso.
- Deformación y agrietamiento.
 - Órganos de estanqueidad.
 - Erosión interna.

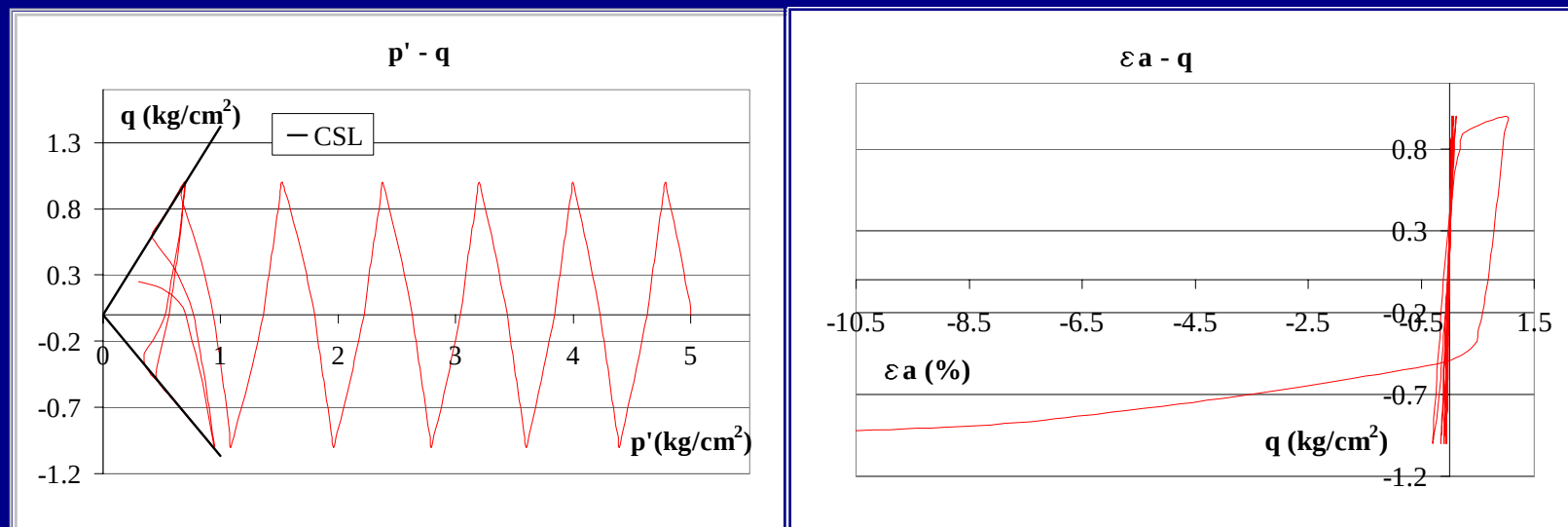
Análisis no-lineal inelástico acoplado deformación – flujo en tensiones efectivas.

- DIANA-SWANDYNE
- DYNAFLOW
- FLAC (Itasca)
- GEFDYN (EDF, Coine et Bellier)
- CICLYC
- OPENSEES. (Peer)
- GEOSIS (Instituto Investigaciones Antisísmicas)

ANALISIS DINAMICO NO-LINEAL CON EL METODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS

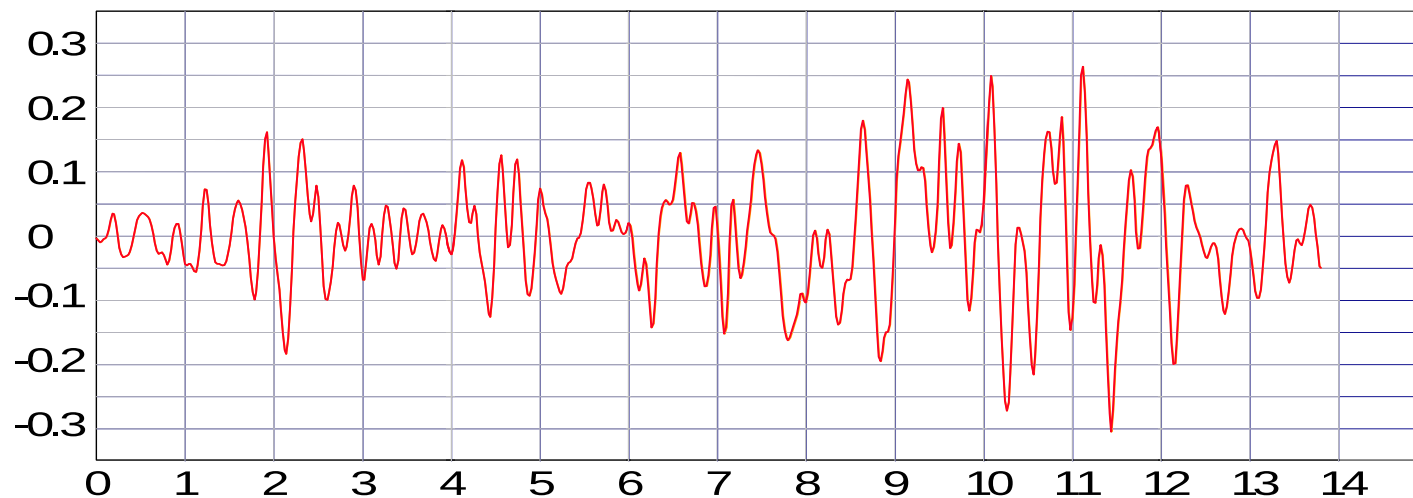
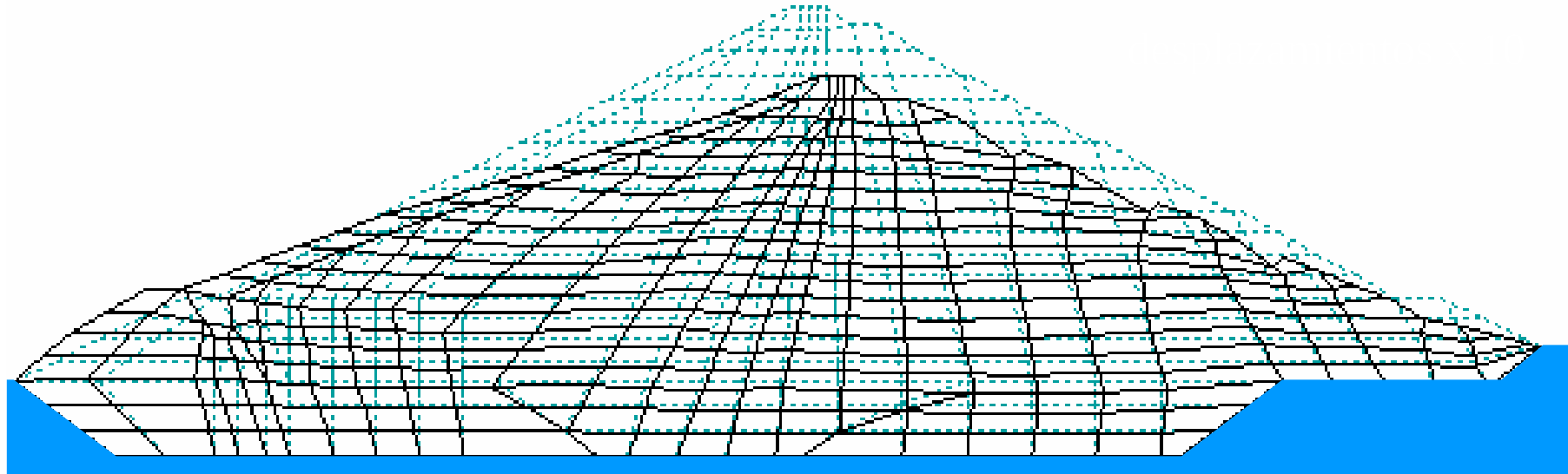
PROGRAMA GEOSIS

- Analisis acoplado hidromecánico no-lineal en tensiones efectivas. (u-p)
- Modelo de plasticidad generalizada .



Programa GEOSIS: Modelo de la Presa Los Reyunos

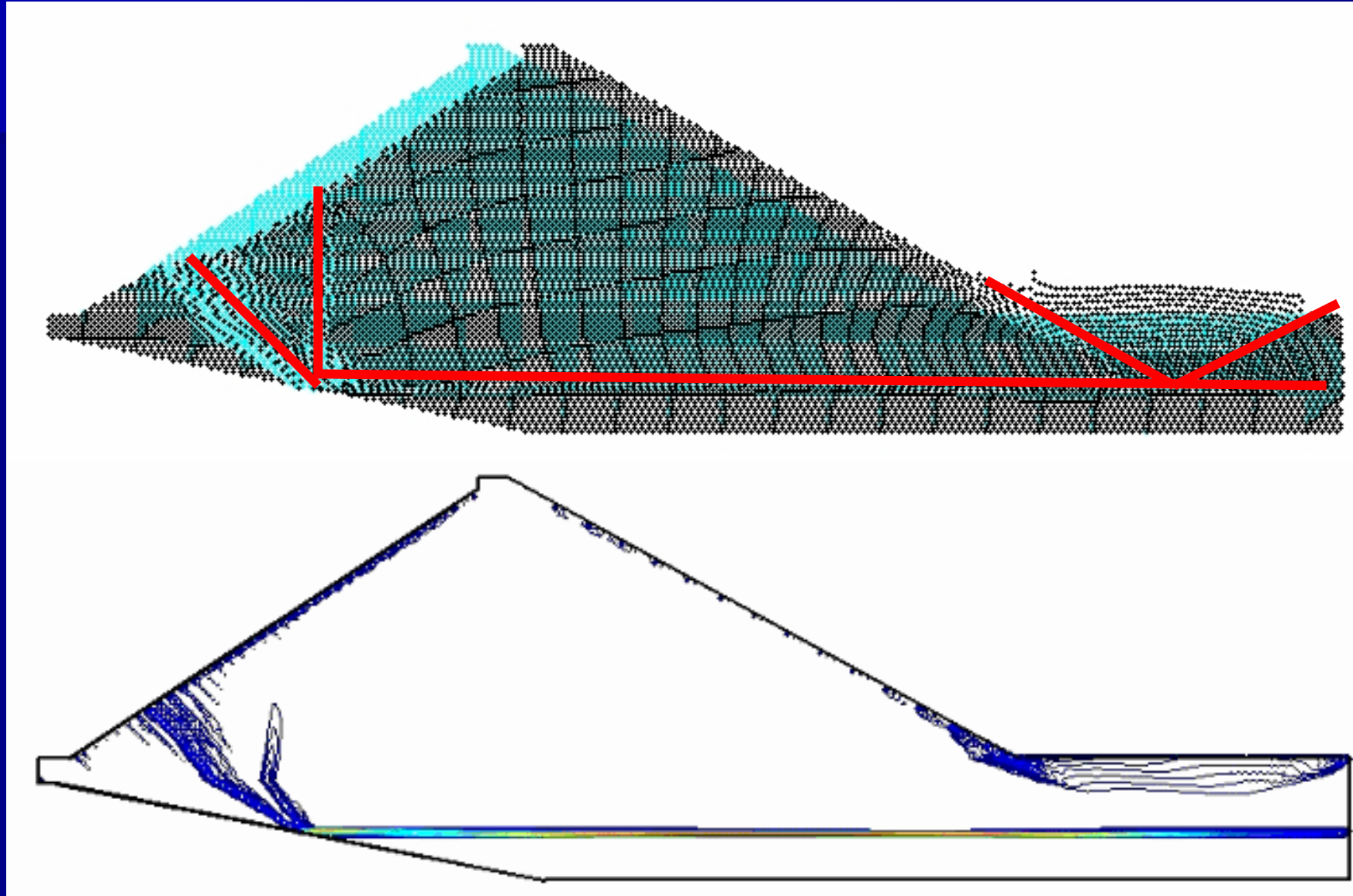
Deformaciones permanentes producidas por el terremoto de verificación



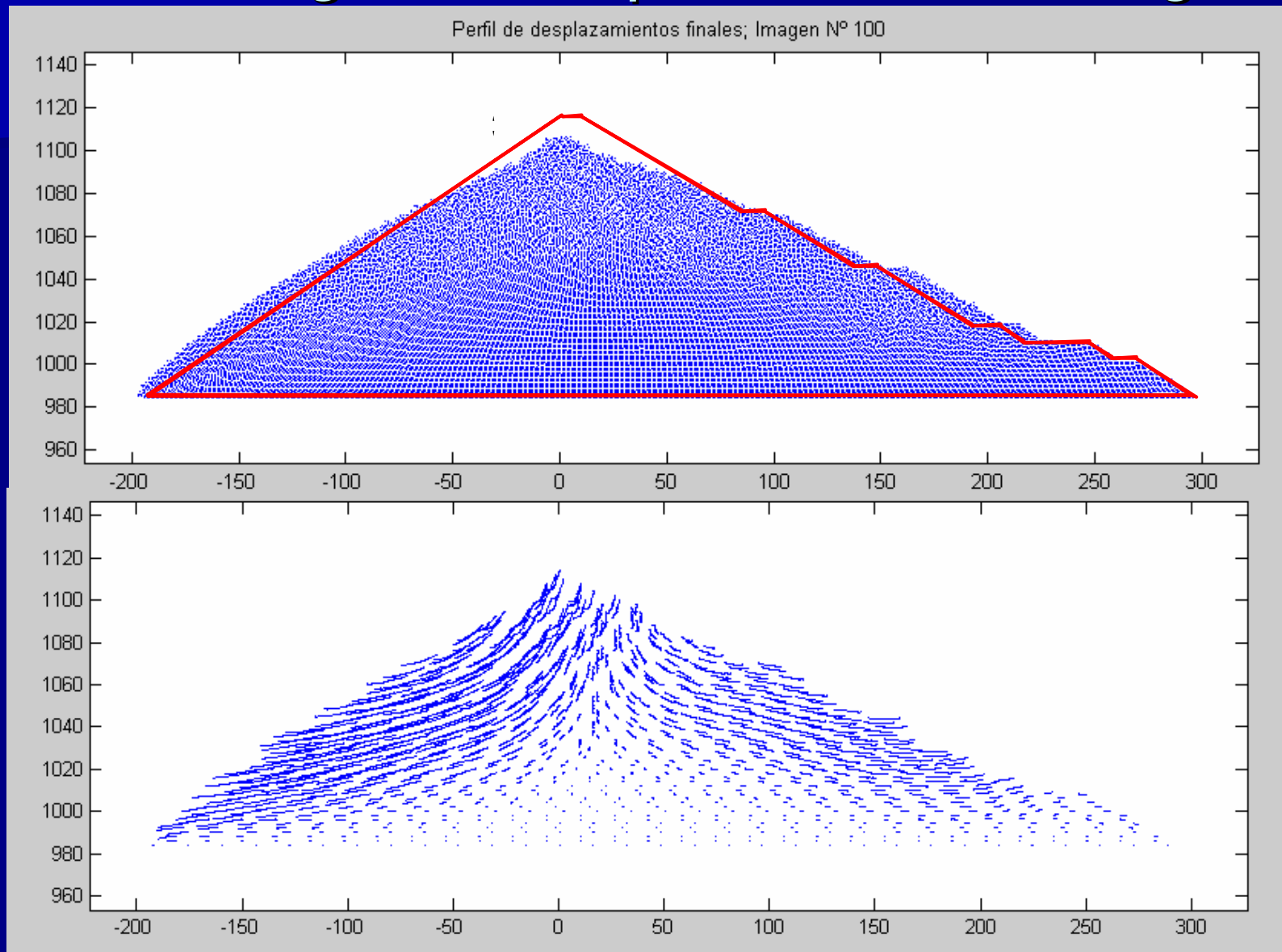
TIEMPO (seg)

Análisis utilizando el Método del Punto Material

Localización de deformaciones



Modelación de grandes desplazamientos. Presa de grava con pantalla de hormigón.



Comentarios finales.

- El conocimiento de la amenaza sísmica ha aumentado rápidamente en los últimos años a partir de registros instrumentales de terremotos recientes.
- En el pasado se ha subvalorado la amenaza sísmica para presas ubicadas en áreas epicentrales.
- La posibilidad de licuación-movilidad cíclica de materiales de la presa ó de su fundación es el factor más importante en la evaluación de seguridad sísmica.

Comentarios finales.

- Las mayores dificultades se presentan en la evaluación de la resistencia de materiales licuados y en la estimación de deformaciones permanentes
- Existen métodos de análisis muy difundidos e instalados en la práctica que inducen a errores en un sentido u otro.
- La modelación matemática es un ejercicio irrelevante si no se basa en el conocimiento profundo de los materiales y en un adecuado modelo conceptual del comportamiento de la estructura bajo cargas estáticas y dinámicas.

MUCHAS GRACIAS !!!