

Caracas 2008

CARACTERIZACIÓN de SUELOS

J. C Santamarina

Georgia Tech

G. Narsilio

U. Melbourne



Breve Historia

Egipcios (2700 AC): fricción

Mesopotamia (2300 AC): contracción (shrinkage)

Arquímedes (287-212 AC): flotación, empuje hidrostático

Coulomb (1736-1806): fricción

Laplace - Bernoulli (s. XVIII): flujo

Darcy (1850's): permeabilidad

Rankine (1860's): manual Ing. Civil

Hertz (1880's): teoría de contactos

Reynold (1880's): dilatancia

Atterberg (1908): clasificación

Gouy y Chapman (1910's): capa doble

Terzaghi (1920's): consolidación, resistencia al corte, esfuerzos efectivos

Terzaghi (1925): "Erdbaumechanik"

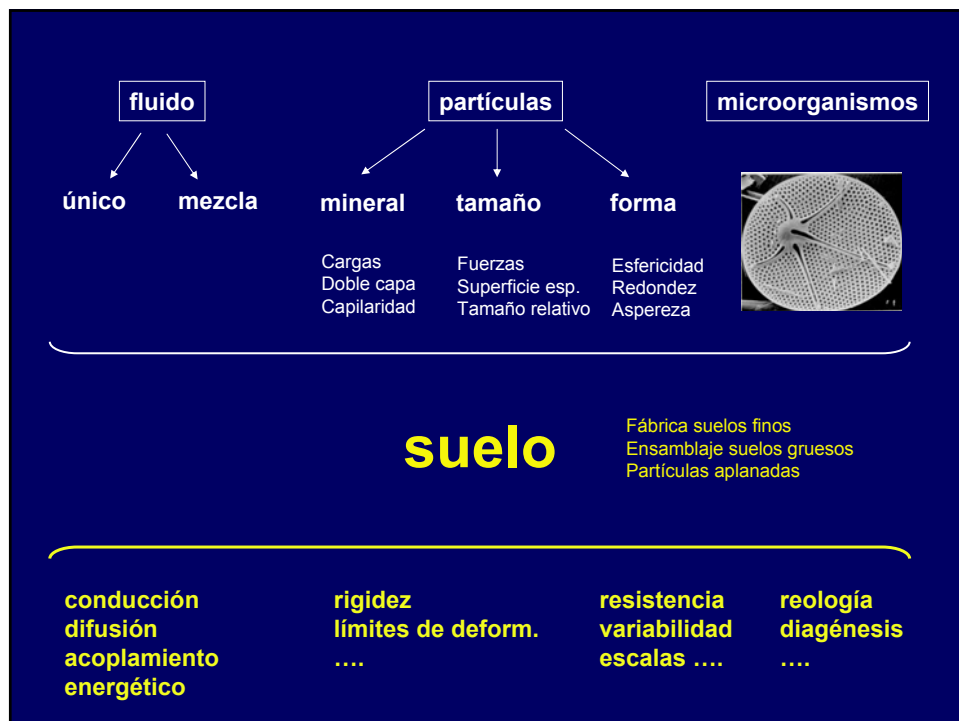
Goldschmidt (1926): origen de plasticidad en arcillas

"... **Coulomb ignoró la esencia granular de las arenas** ...

Tal metodología es útil como hipótesis de trabajo ... pero ... **es un obstáculo contra futuros adelantos.**

Hay que .. empezar de nuevo partiendo de la observación elemental que **las arenas consisten de granos individuales**"

Terzaghi (1920)

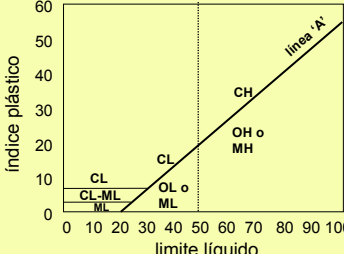


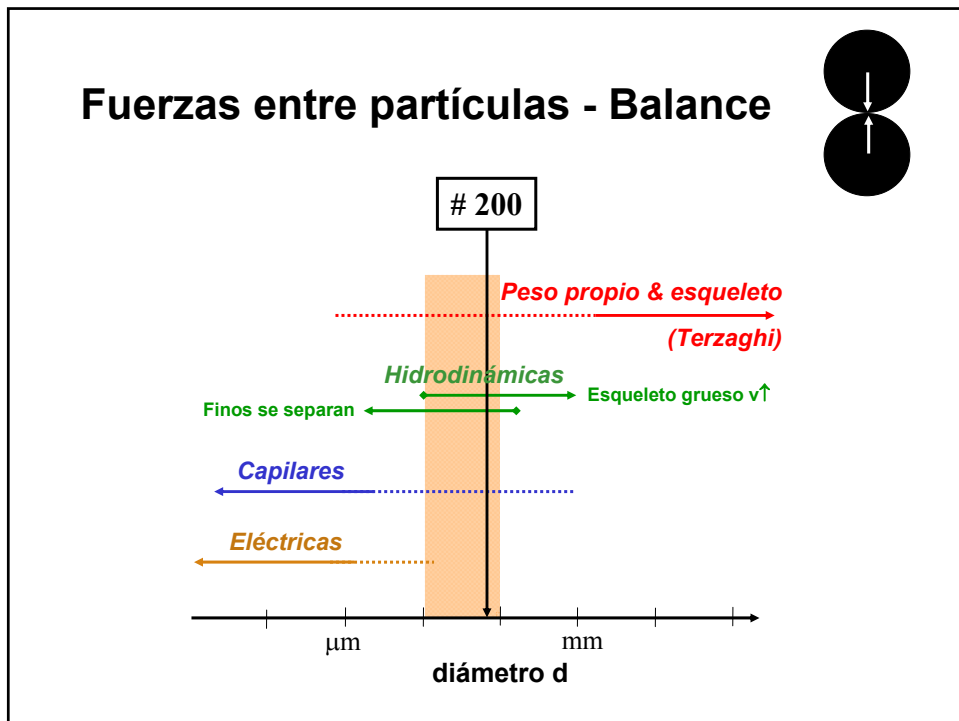
1920's :

Clasificación de suelos

(entendimiento fundamental 1990's)

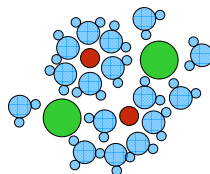
GRUESO	Grava:	< 5% finos	$C_u > 4, 1 \leq C_c \leq 3$	GW
			de lo contrario ...	GP
		> 12% finos	Debajo línea 'A'	GM
			Encima línea 'A'	GC
	> 50% retenido tamiz #4	< 5% finos	$C_u > 6, 1 \leq C_c \leq 3$	SW
			de lo contrario ...	SP
		> 12% finos	Debajo línea 'A'	SM
			Encima línea 'A'	SC
FINO	LL < 50			ML
	CL			
	OL			
	MH			
	CH			
	OH			
< 50% retenido tamiz #200	LL > 50			

GRUESO > 50% retenido tamiz #200	Grava: > 50% retenido tamiz #4	< 5% finos	$C_u > 4, 1 \leq C_c \leq 3$	GW	
			de lo contrario ...	GP	
		> 12% finos	Debajo línea 'A'	GM	
			Encima línea 'A'	GC	
	Arena: < 50% retenido tamiz #4	< 5% finos	$C_u > 6, 1 \leq C_c \leq 3$	SW	
			de lo contrario ...	SP	
		> 12% finos	Debajo línea 'A'	SM	
			Encima línea 'A'	SC	
FINO < 50% retenido tamiz #200	LL < 50				ML
					CL
					OL
					MH
	LL > 50				CH
					OH



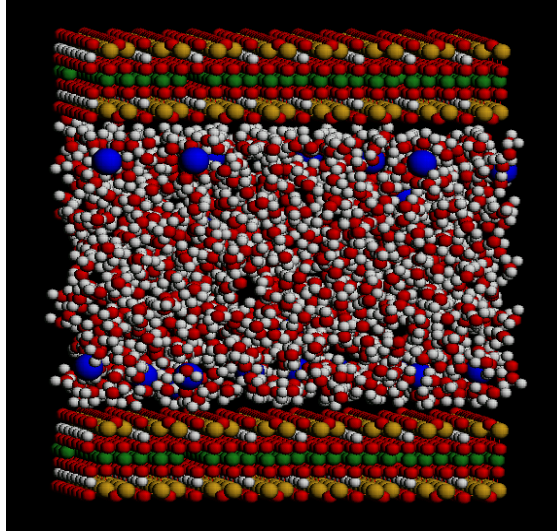
GRUESO <

Agua  + sal =



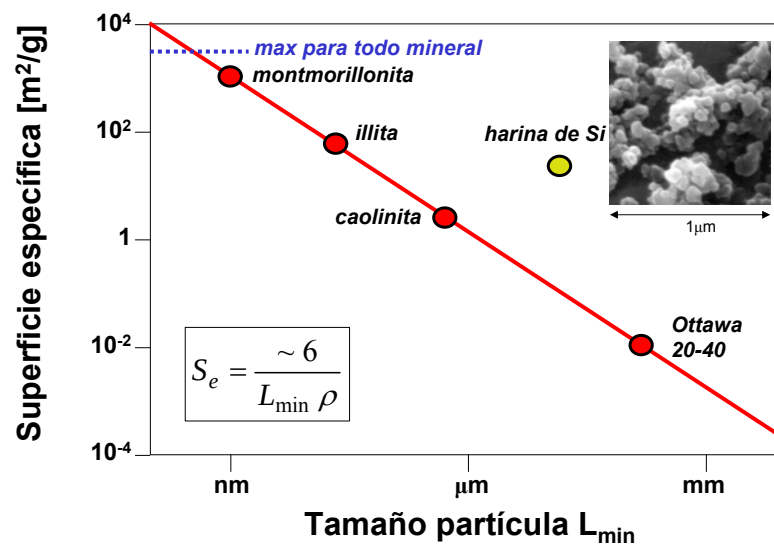
Suelo húmedo = mineral + fluido intersticial

Laponite
1200 H₂O
24 Na⁺



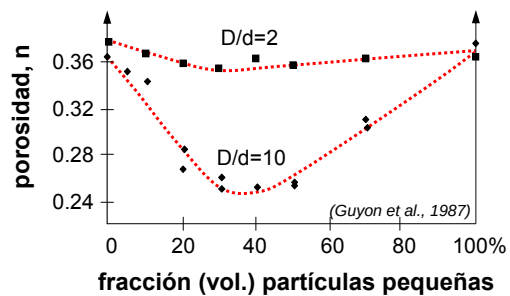
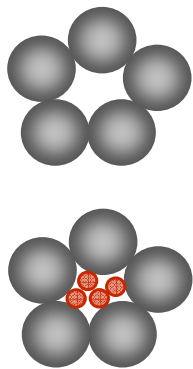
N. Skipper (UCL)

Tamaño y superficie

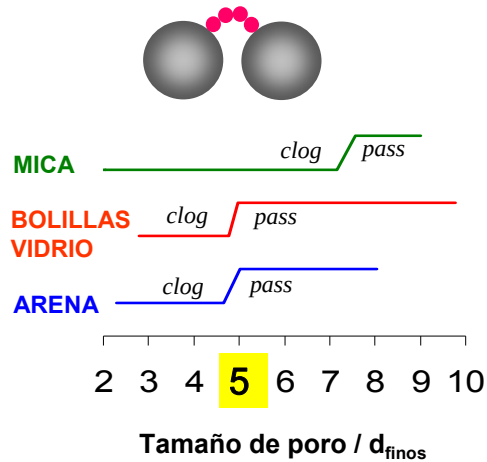
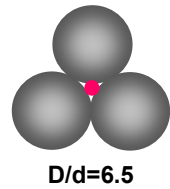
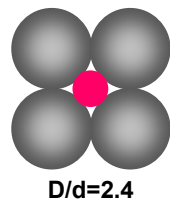


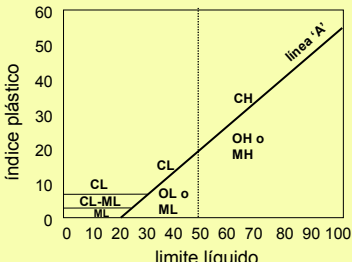
GRUESO > 50% retenido tamiz #200	Grava: > 50% retenido tamiz #4	< 5% finos	$C_u > 4, 1 \leq C_c \leq 3$	GW
			de lo contrario ...	GP
		> 12% finos	Debajo línea 'A'	GM
			Encima línea 'A'	GC
	Arena: < 50% retenido tamiz #4	< 5% finos	$C_u > 6, 1 \leq C_c \leq 3$	SW
			de lo contrario ...	SP
> 12% finos		Debajo línea 'A'	SM	
		Encima línea 'A'	SC	
FINO < 50% retenido tamiz #200	LL < 50			ML
				CL
				OL
				MH
				CH
				OH
LL > 50				

Partículas gruesas: tamaño relativo



Filtros – “Puentes”



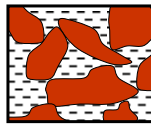
GRUESO	Grava:	< 5% finos	$C_u > 4, 1 \leq C_c \leq 3$	GW	
			de lo contrario ...	GP	
		> 12% finos	Debajo línea 'A'	GM	
			Encima línea 'A'	GC	
	> 50% retenido tamiz #200	Arena:	< 5% finos	$C_u > 6, 1 \leq C_c \leq 3$	SW
				de lo contrario ...	SP
< 50% retenido tamiz #4		> 12% finos	Debajo línea 'A'	SM	
		> 12% finos	Encima línea 'A'	SC	
FINO	LL<50		ML		
	CL				
	OL				
	MH				
	CH				
	OH				
	LL>50				

Estructura

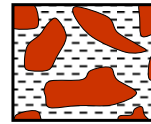
finos <5%



finos ~10-15%



finos >10-15%



GRUESO	Grava:	< 5% finos	Cu>4, 1≤Cc≤3	GW	Empaquetado
			de lo contrario ...	GP	
		> 12% finos	Debajo línea 'A'	GM	Finos en poros
			Encima línea 'A'	GC	
	Arena:	< 5% finos	Cu>6, 1≤Cc≤3	SW	Empaquetado
			de lo contrario ...	SP	
		> 12% finos	Debajo línea 'A'	SM	Finos en poros
			Encima línea 'A'	SC	
	FINO	Baja Plasticidad		ML	Fábrica
				CL	
				OL	
				MH	
				CH	
				OH	

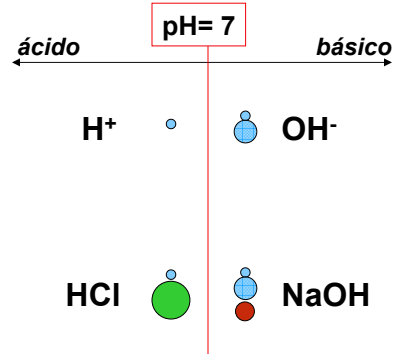
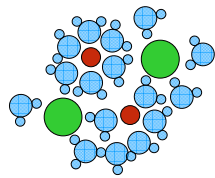
Información adicional para caracterización

**pH y concentración
iónica**

énfasis: suelos de grano fino

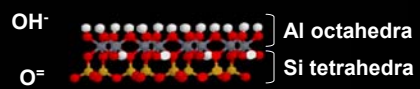
Agua

Concentración
iónica

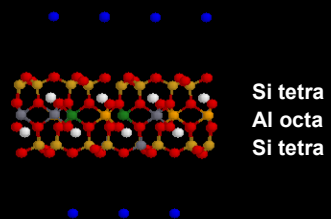


Minerales

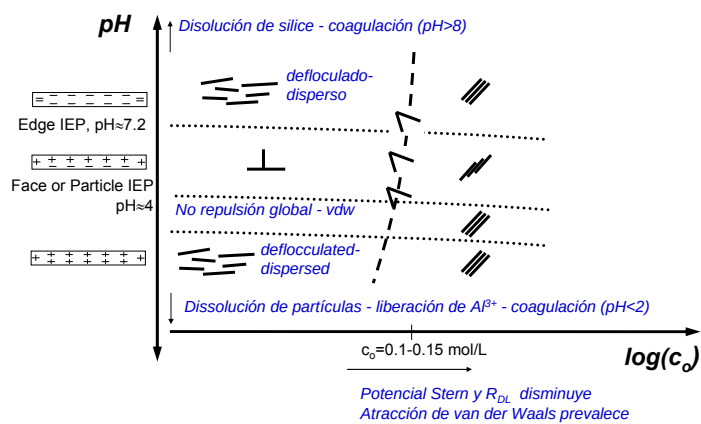
caolinita



montmorillonita



Mapa de fábrica - Caolinita



pH

concentración iónica

Simples indicadores



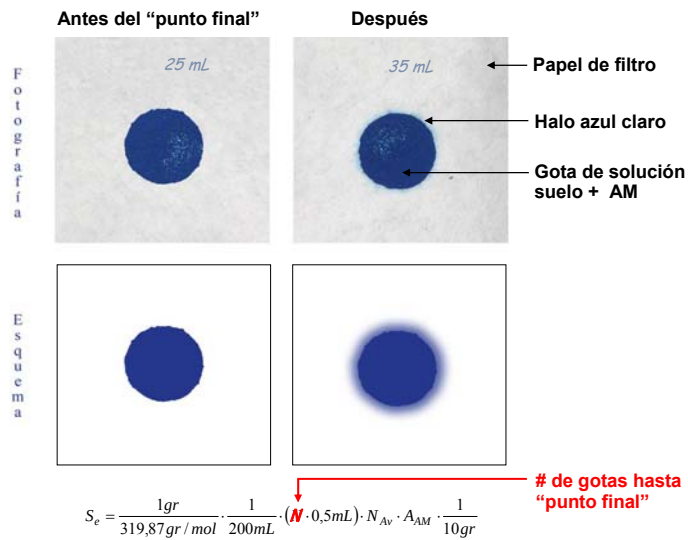
Refractómetro



Superficie específica

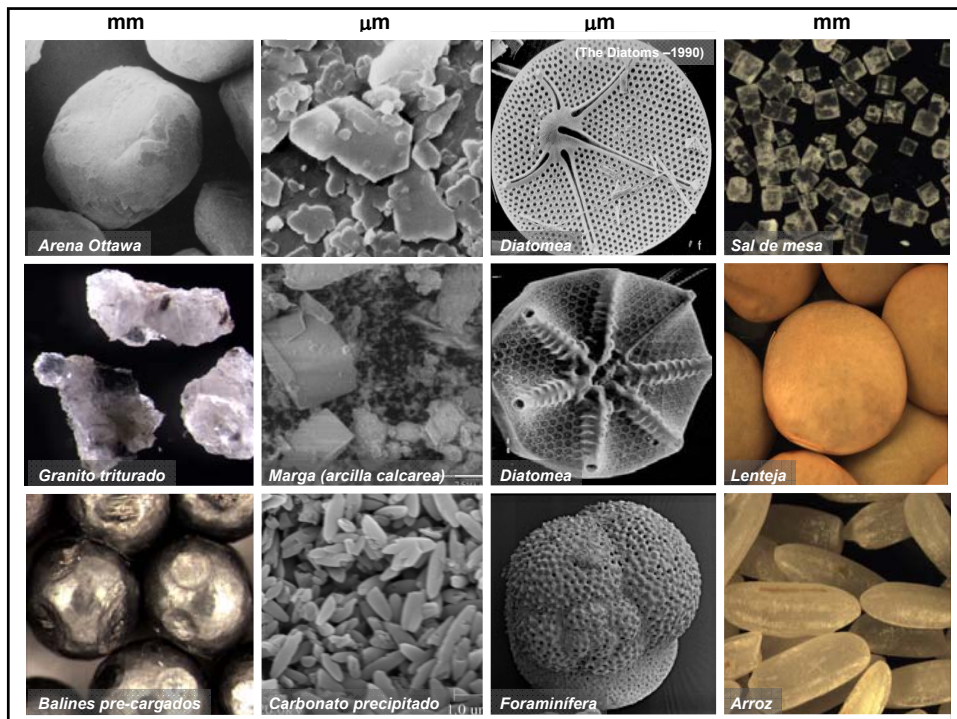
énfasis: suelos de grano fino

Absorción de azul de metileno

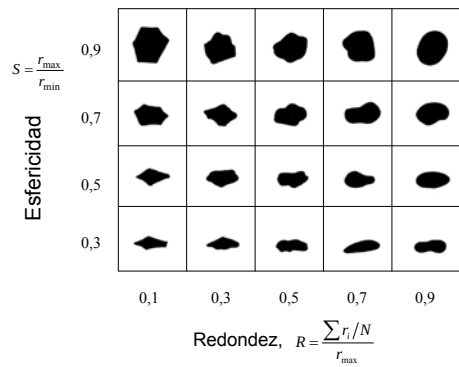


Forma de las partículas

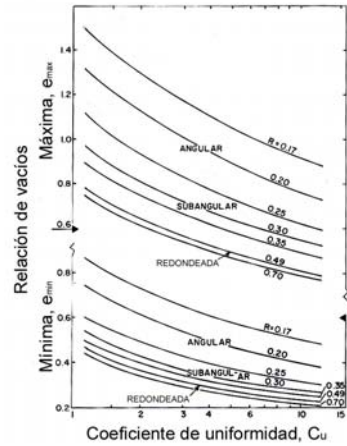
énfasis: suelos de grano grueso



Tamaño relativo “y” forma



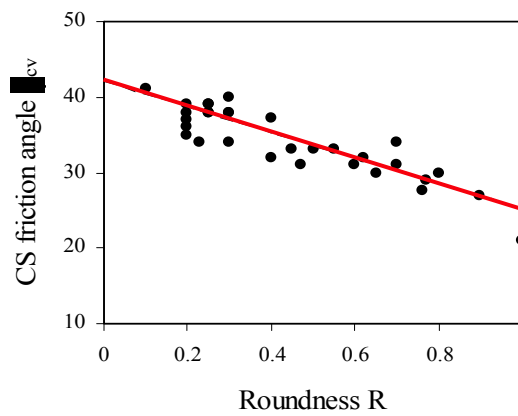
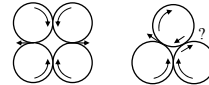
(Krumbein y Sloss 1963)



(Youd, 1973; véase también Maeda, 2001)

Angulo de fricción a volumen constante

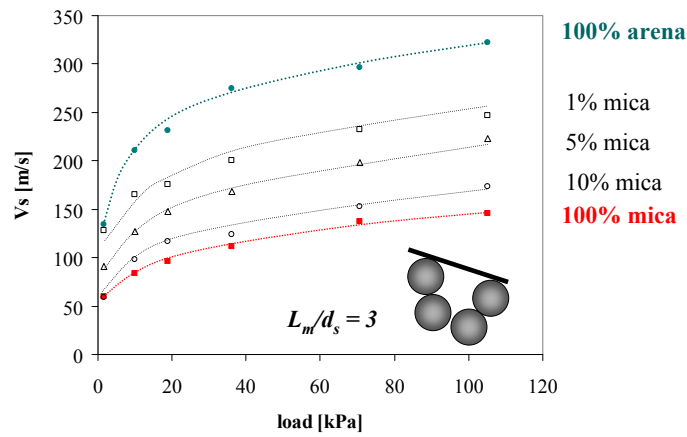
rotational frustration ($e \uparrow$)
 vs. chain collapse ($e \downarrow$)



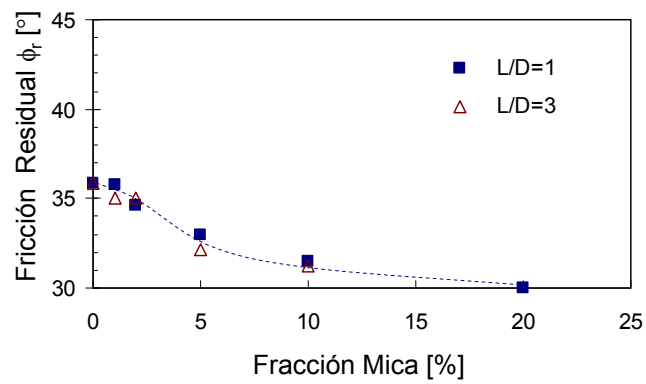
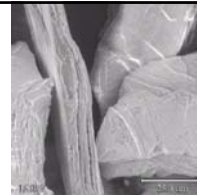
$$\phi_{cv} = 42 - 17 \cdot R$$

(56 natural and crushed sands)

Partículas aplanadas: Mica



Efectos en resistencia



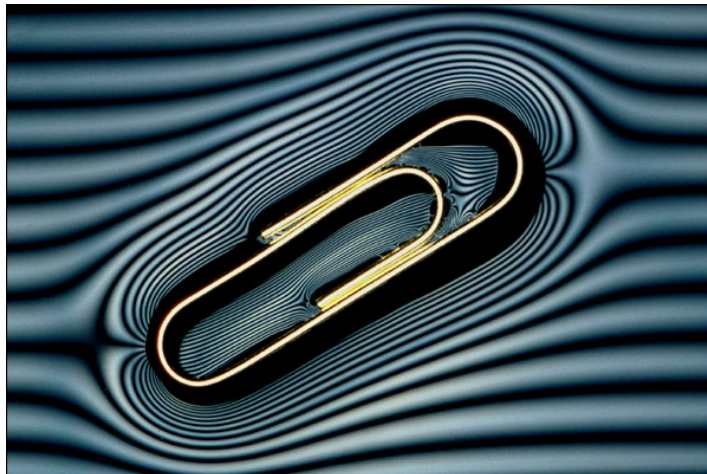
GRUESO	> 50% retenido tamiz #200	Grava:	< 5% finos	$Cu > 4, 1 \leq Cc \leq 3$	GW	Forma	
				de lo contrario ...	GP		
			> 50% retenido tamiz #4	> 12% finos	Debajo línea 'A'	GM	Se, c, pH
					Encima línea 'A'	GC	
		Arena:	< 5% finos	$Cu > 6, 1 \leq Cc \leq 3$	SW	Forma	
				de lo contrario ...	SP		
	< 50% retenido tamiz #4		> 12% finos	Debajo línea 'A'	SM	Se, c, pH	
				Encima línea 'A'	SC		
	Tamiz #200						
	FINO	< 50% retenido tamiz #200	Baja Plasticidad		ML		Se, c, pH
CL							
Alta Plasticidad			OL				
			MH				
			CH				
			OH				
LL & LP							

La historia continúa...

1960's (+):

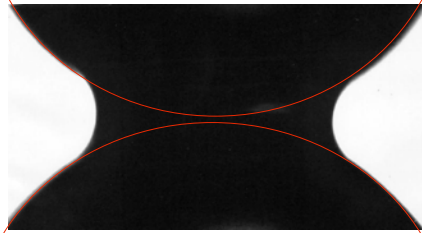
Suelos no saturados

Fuerza capilar



BBC News In pictures Visions of Science.jpg

Fuerza capilar

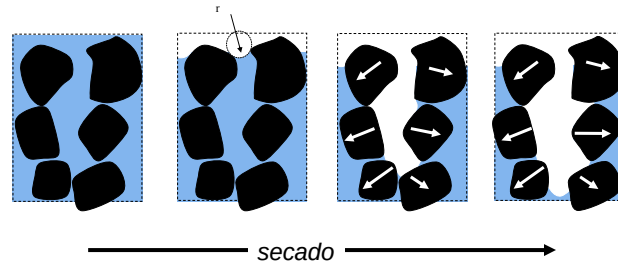


BBC News In pictures Visions of Science.jpg



1 mm

Des-saturación → Invasión de aire





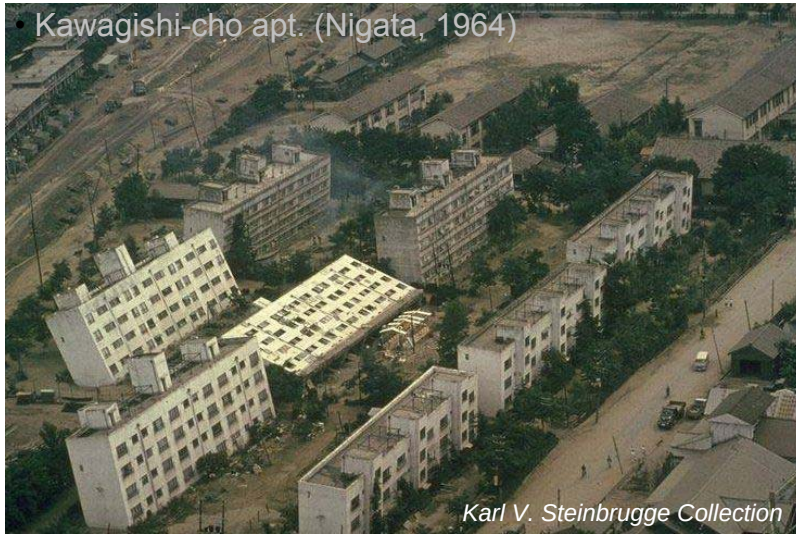
1960's (+):

Estado Crítico

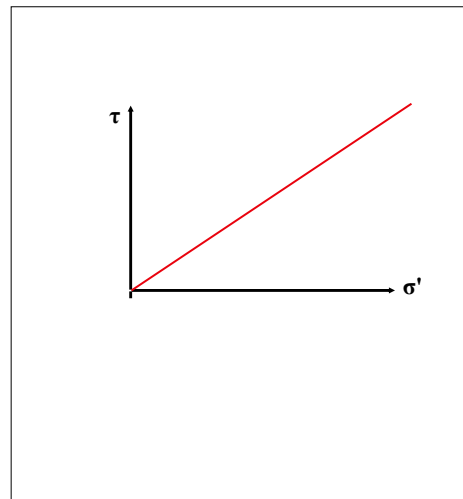
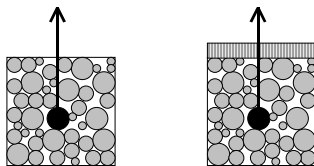
*Procedimiento simplificado
p/ suelos arenosos*

1960's: Cargas no-drenadas - Licuefacción

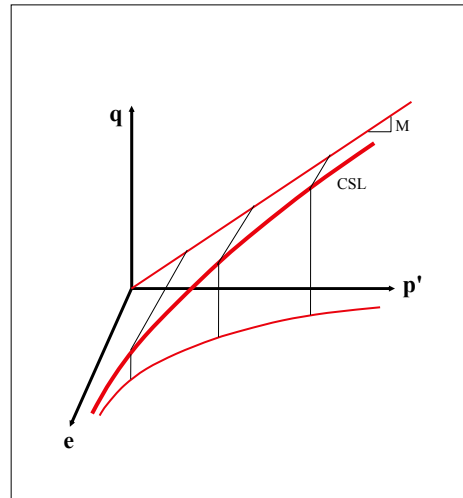
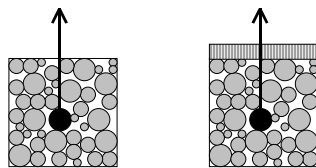
- Kawagishi-cho apt. (Nigata, 1964)



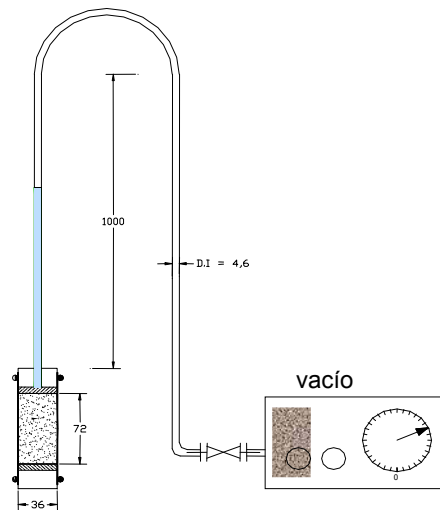
1940's: Grandes deformaciones



1940's: Grandes deformaciones

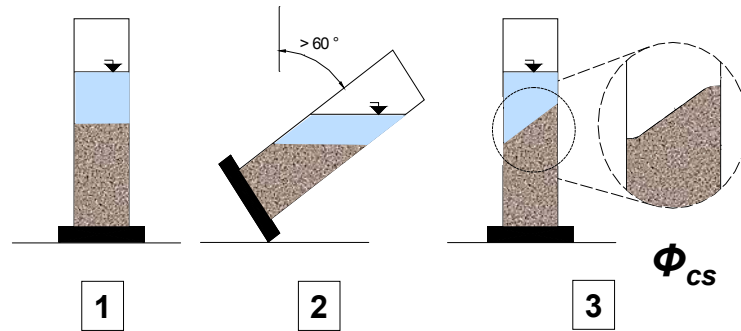


Determinación de e_{cs} vs. σ'_{v0}



© Fondriest Environmental, Inc.

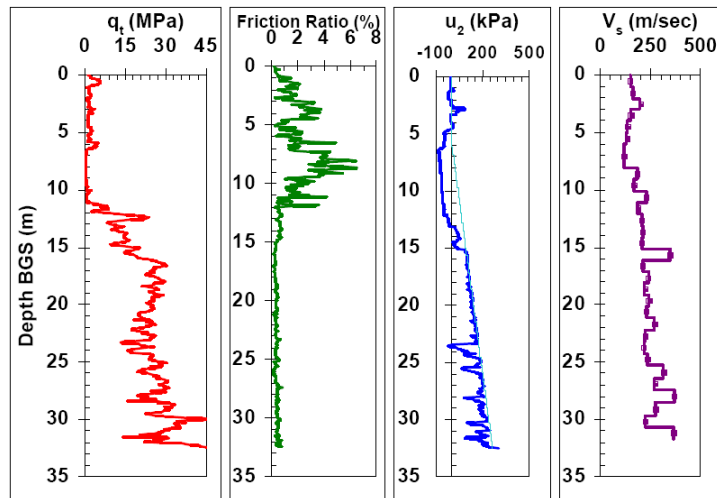
Determinación de ϕ_{cs}



1990's (+):

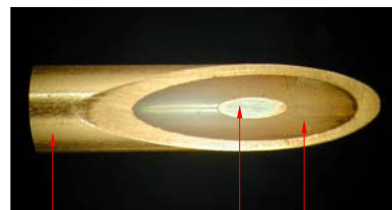
Variabilidad espacial de las muestras

Variabilidad espacial - Campo



(Schneider and Mayne, 2000)

Sonda eléctrica



Vista superior

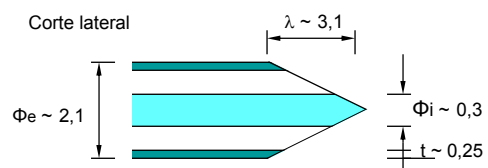


Conductor externo

Conductor interno

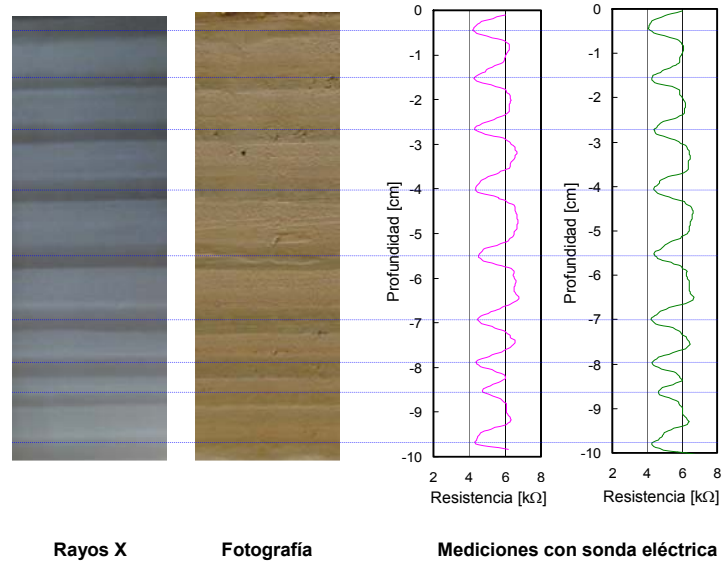
Material dieléctrico

Corte lateral

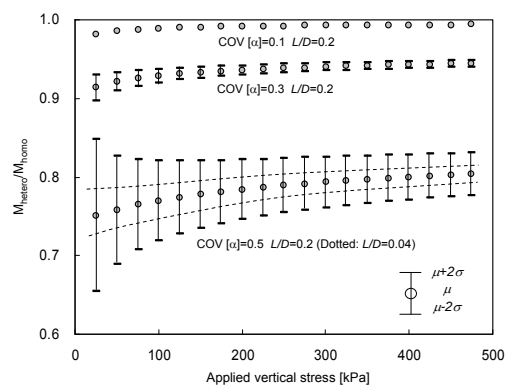


Dimensiones en mm.

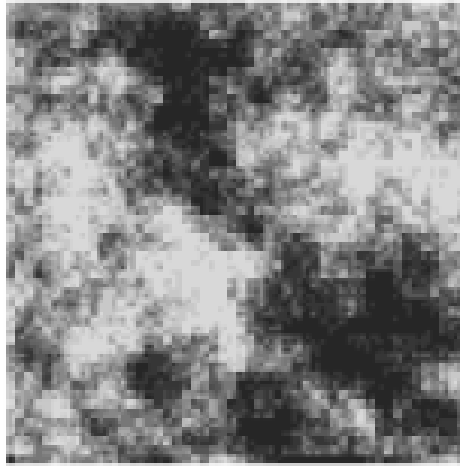
Arcilla estratificada



Módulo de compresión



Corte no drenado – Suelo contractivo

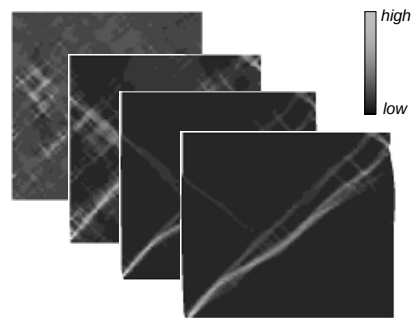
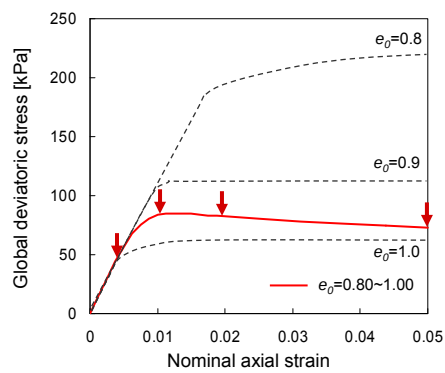


$e_o=0.80\sim 1.00$ & $L/D=0.1$

distribucion de e_o

FEM – Modified Cam-Clay – Correlated random e_o -field

Corte no drenado – Suelo contractivo



Shear strain distribution

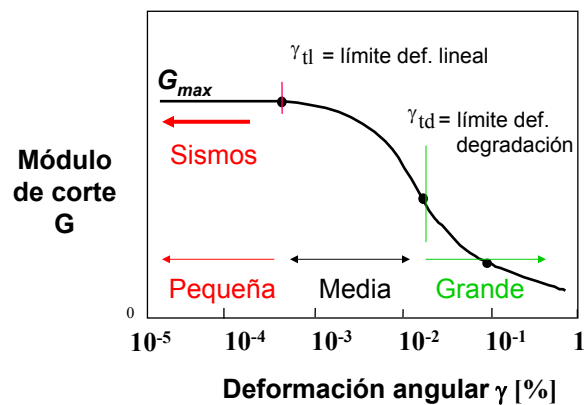
FEM – Modified Cam-Clay – Correlated random e_o -field

1990's (+):

Módulo de corte máximo G_{max} (V_s)

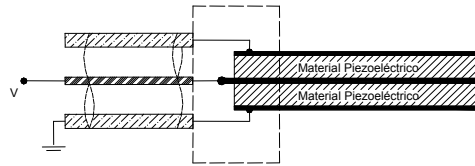
Degradación del módulo

$$G_{max} = V_s^2 \rho$$

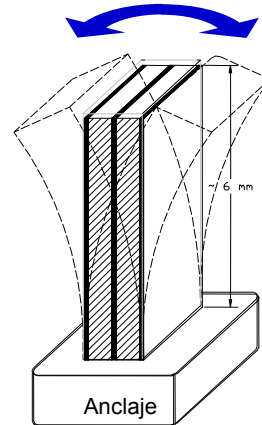
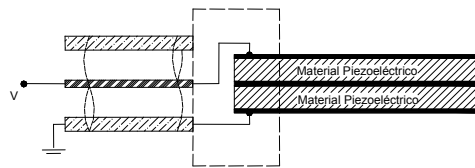


Laboratorio: “Bender elements ”

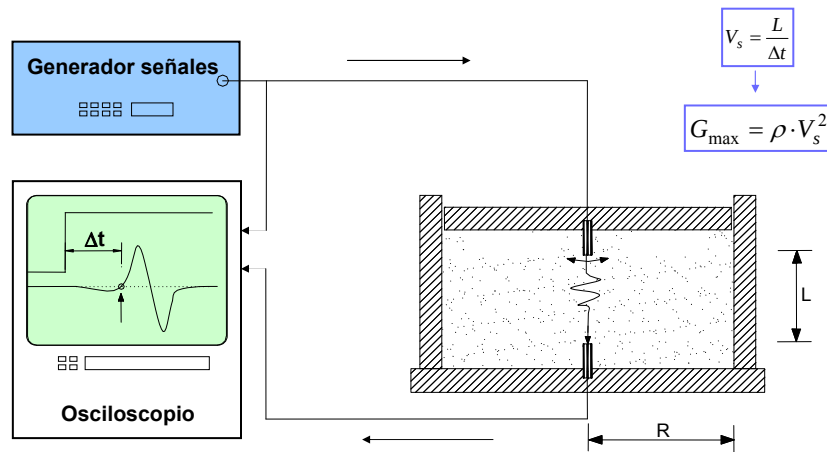
Configuración en paralelo



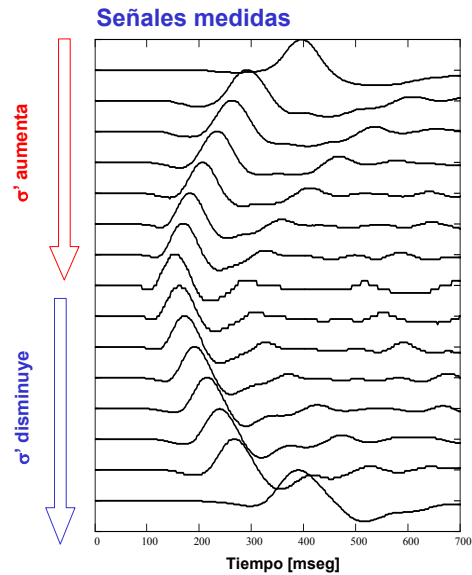
Configuración en serie



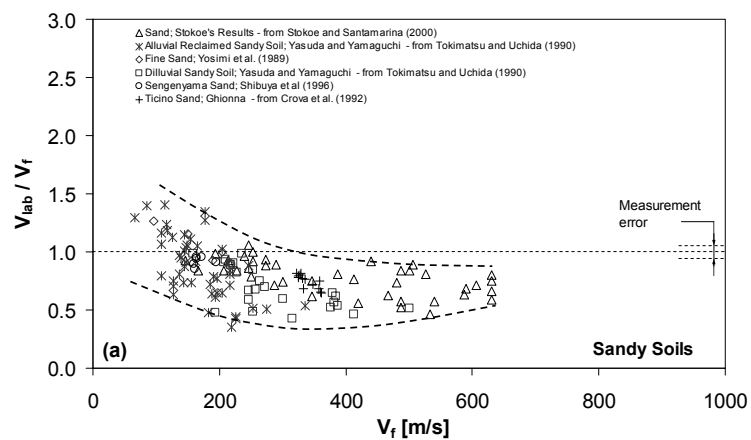
Montaje en odómetro o celda triaxial



Señales - Ejemplo: odómetro



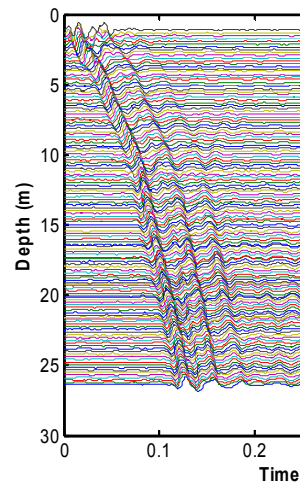
$G_{\max}$: Laboratorio vs. campo - **Arena**



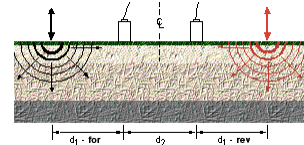
Medición de Campo



JS Lee

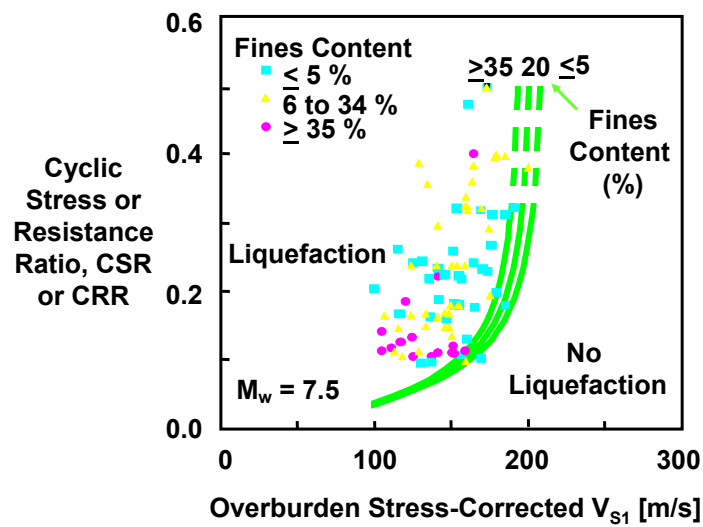


P. Mayne



Rix, Stokoe

Resistencia a la licuación en base a V_s



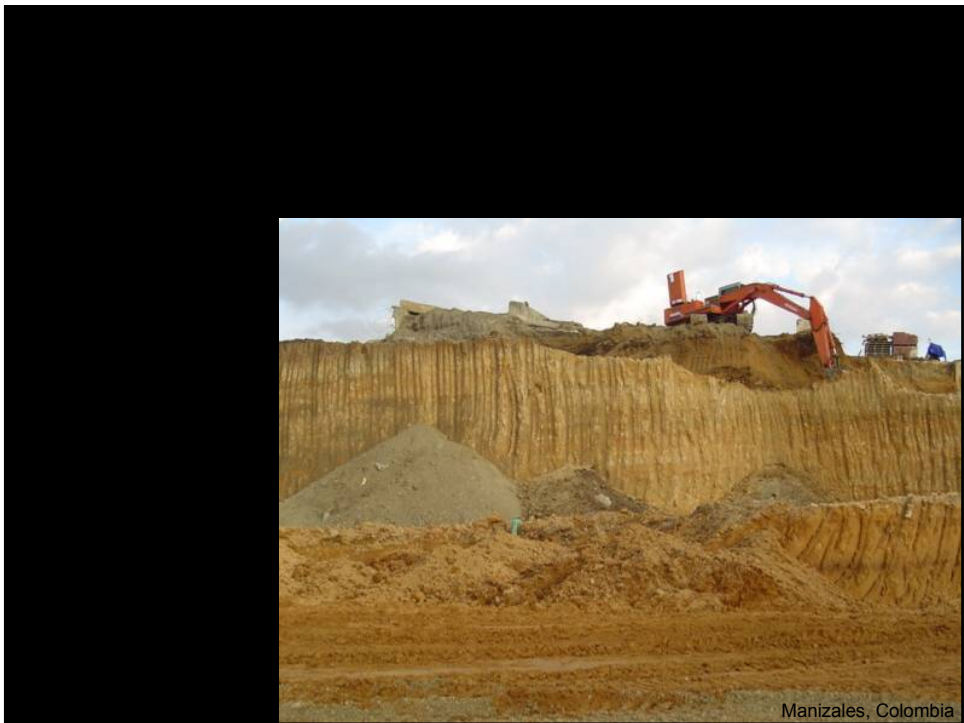
(Andrews and Stokoe 1999)

en continua revisión (2008):

Importancia de la historia de formación



Mount St. Helens – May 18, 1980 - USGS



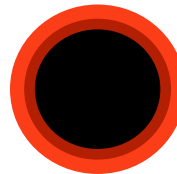
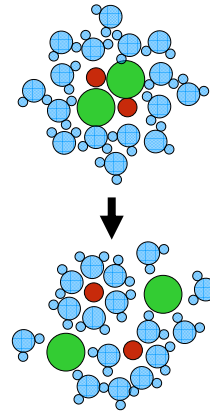
Evolución

Agua → disolución

Tiempo: concentración
difusión o advección
superficie del grano (S_s)

Presión-solución-precipitación

Disolución-lavado-reprecipitación



Ensayo

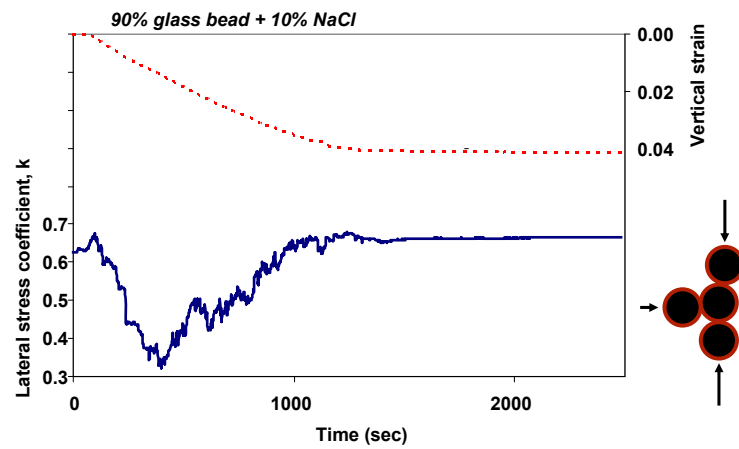


Materiales: arena + sal de mesa

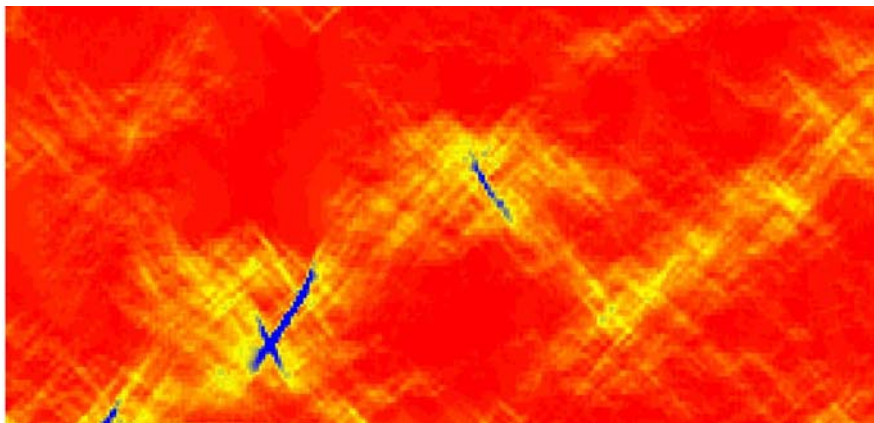
Mezcla: mezcla homogénea

Procedimiento: decrecimiento gradual de la concentración

Resultados



Disolución: Elementos Finitos FEM



Suelos de cenizas volcanicas: fallas en corte



**Resumen
y
Conclusiones**

Los suelos están constituidos por partículas.

Clasificación unificada de suelos: muy robusta... pero incompleta

Cambio fundamental en comportamiento: 10-100 μm (tamiz #200)

Partículas gruesas: tamaño, C_u , **forma**. Cuidado: **mica**

Partículas finas: LL, LP, **Se, c, pH**

Ensayos simples muy informativos

Baja deformación unitaria: Rigidez

V_s (lab + *in situ*) – cementación...?

Alta deformación unitaria: Resistencia al corte

Determinar **parámetros del estado crítico**.

Determinar **relación de vacíos *in situ* e_0**

Precaución: localización, variabilidad, anisotropía

Otros:

Variabilidad: **CPT, Sonda eléctrica**

Saturación parcial

Historia de formación

Velocidad de deformación

Que se viene ... 2000's ?

Entendimiento mejorado del comportamiento de suelos

Bio-geo-química

Nuevas herramientas p/ laboratorio y campo

Geofísica geotécnica

Diseño óptimo con retro-alimentación

Suelos diseñados



Gracias !