

Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua-Managua

*A la Libertad por la Universidad !!*



# INGENIERIA GEOLÓGICA I

---

## MECÁNICA DE SUELOS

Doctor Tupak Obando R., Geólogo  
Dctorado en Geología y Gestión Ambiental  
Celular: 84402511  
Website: <http://blogs.monografias.com/>

Managua, Marzo -2010

# **Fundamentos de Mecánica de Suelos**

**Definición de suelo en Ingeniería Geológica**

**Composición del suelo**

**Descripción y clasificación de suelos**

**Propiedades físicas de los suelos**

**Granulometría**

**Plasticidad**

**Clasificación de suelos**

**Principios mecánicos de deformación en suelos**

**Esfuerzo en un punto de la masa de suelo**

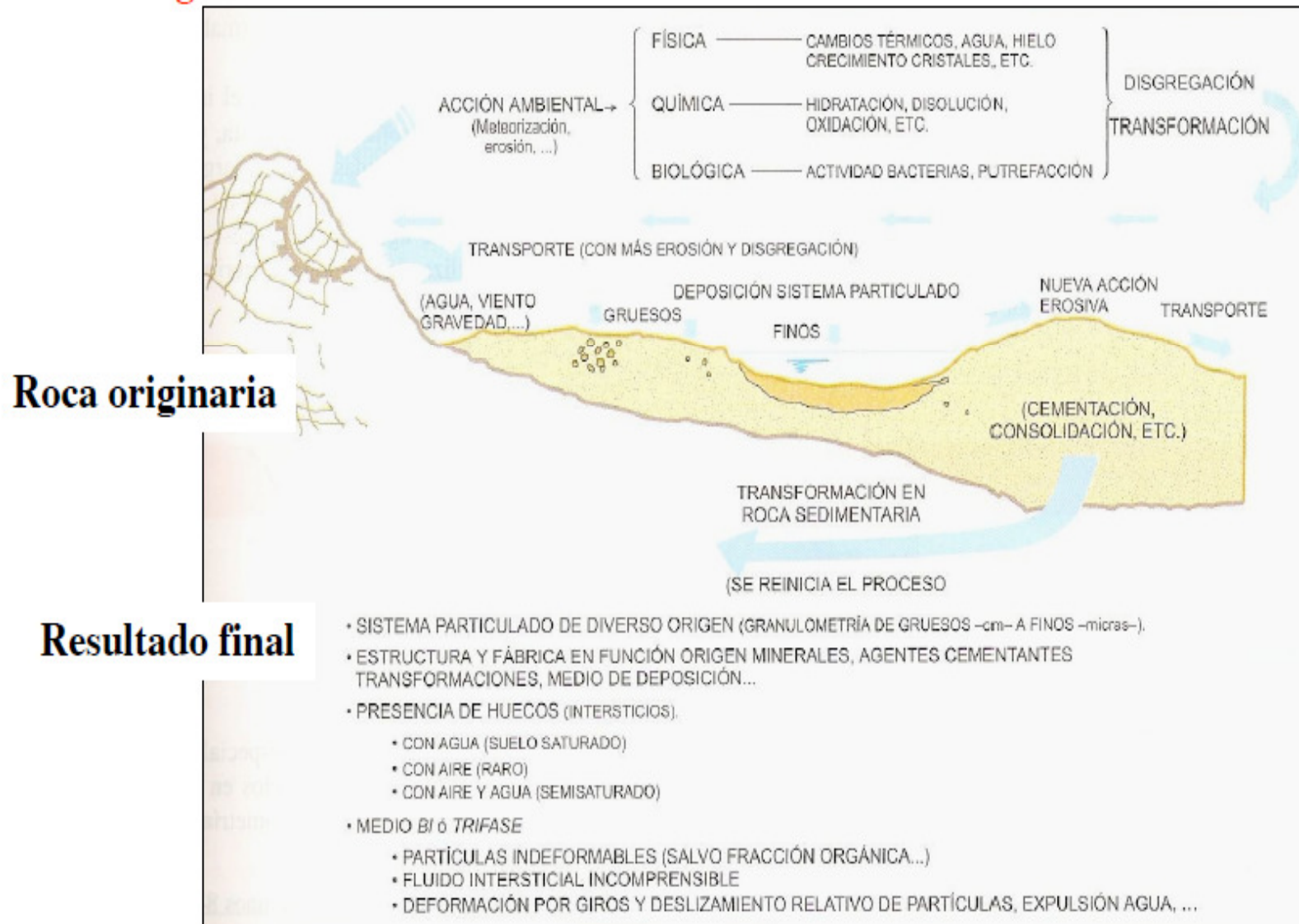
**Principio del esfuerzo efectivo**

**Consolidación**

**Resistencia al corte de un suelo**

# Definición de suelo en Ingeniería Geológica

**Suelo: agregado natural de partículas (granos minerales) que se hallan unidas por fuerzas débiles de contacto, y que pueden ser separados por medios mecánicos de poca energía o por agitación en agua.**



## Composición del suelo

El suelo es un sistema multifase (bitfase o trifase)

**Fase sólida** (partículas consideradas indeformables):

- partículas procedentes de rocas
- materia orgánica

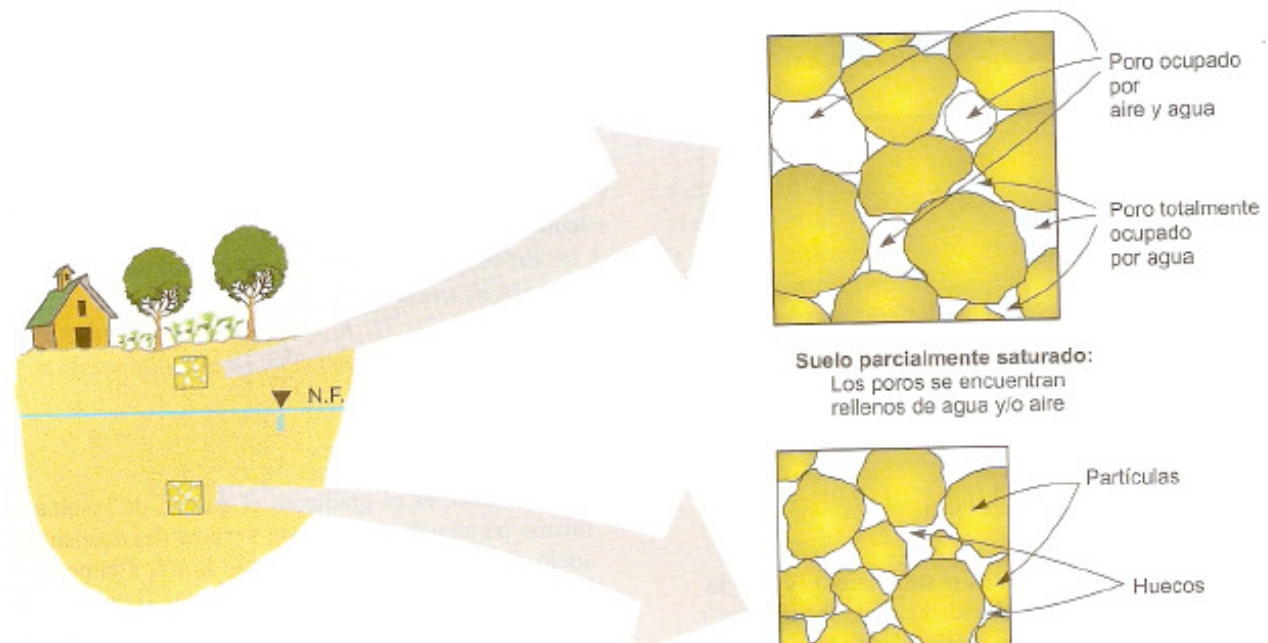
**Huecos o poros:**

**Fase líquida:** Agua

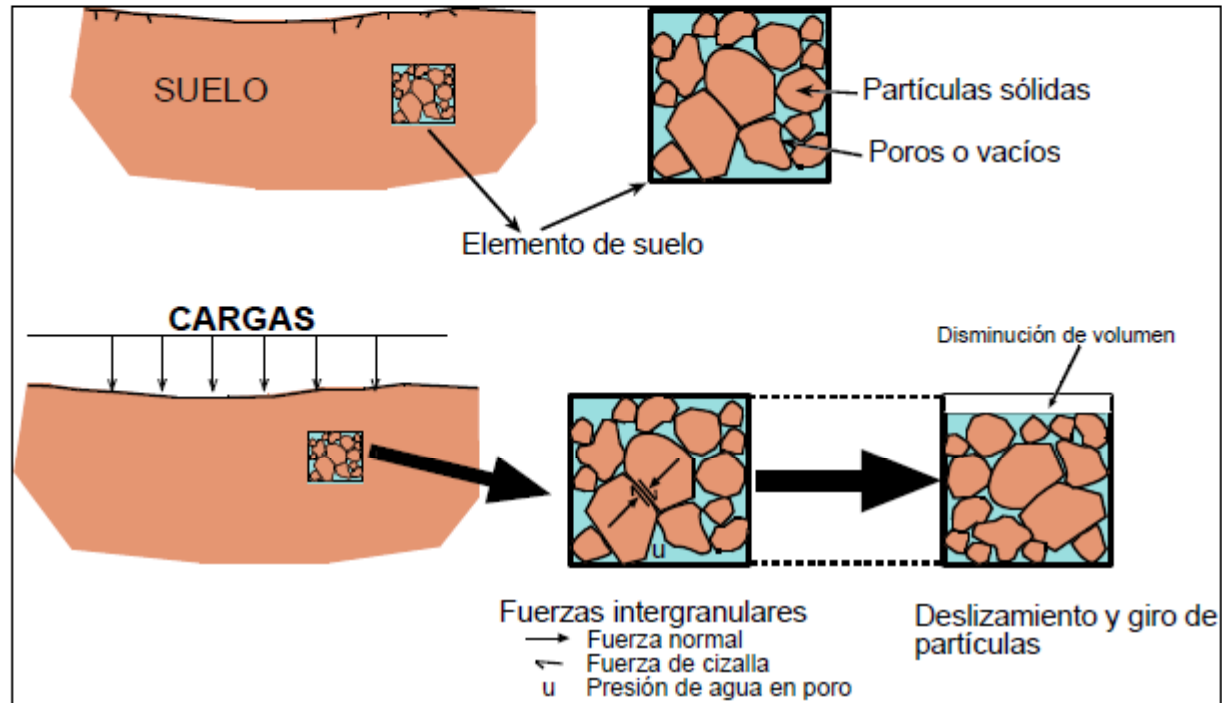
**Fase gaseosa:** Aire

**Suelos saturados**

**Suelos semisaturados**



## 2.2.- Composición del suelo



En los suelos hay que analizar:

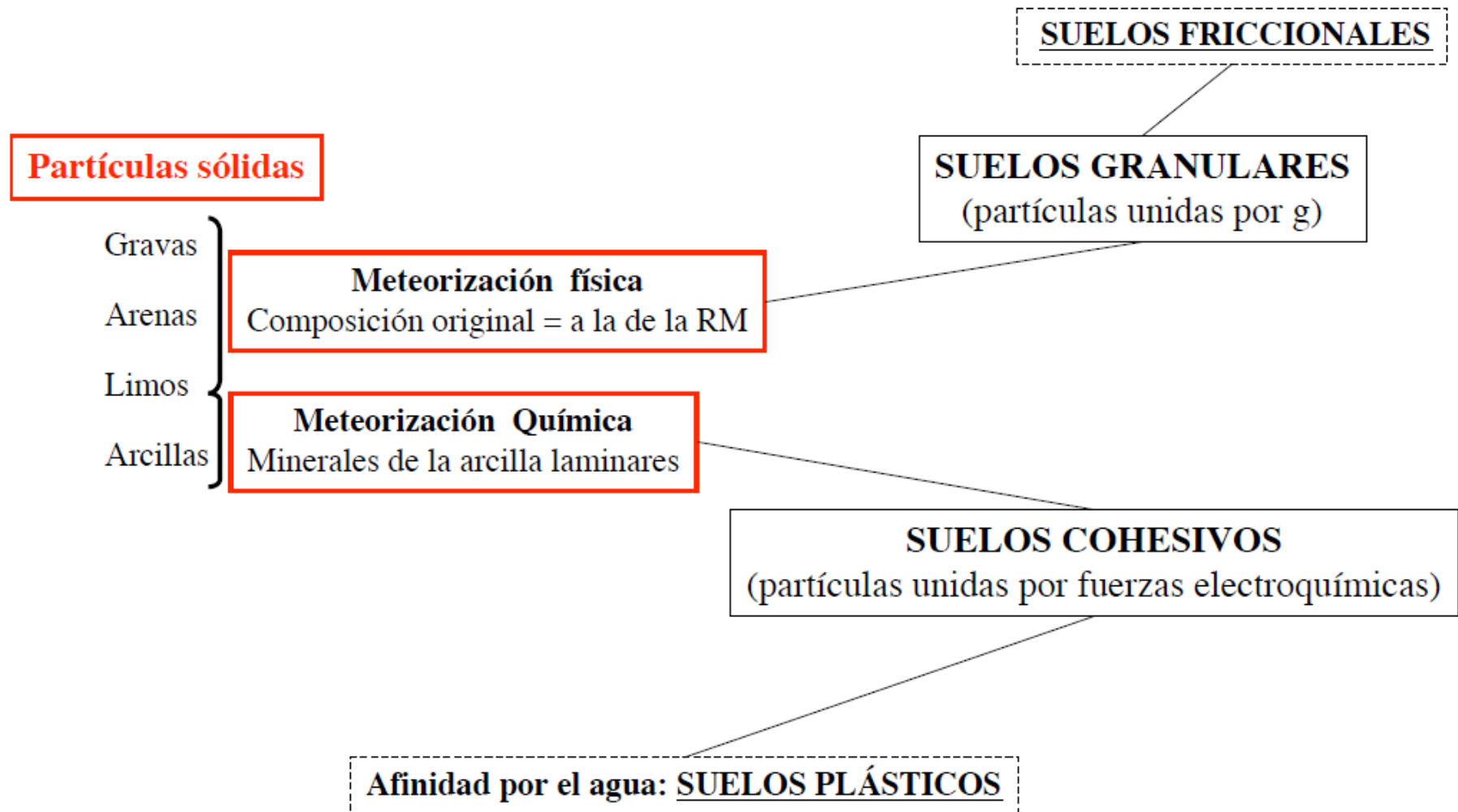
**Deformabilidad y rotura**

**Flujo y consolidación**

## Composición del suelo Partículas procedentes de rocas



**Composicion del suelo**  
**Partículas procedentes de rocas**



# Descripción y clasificación de suelos

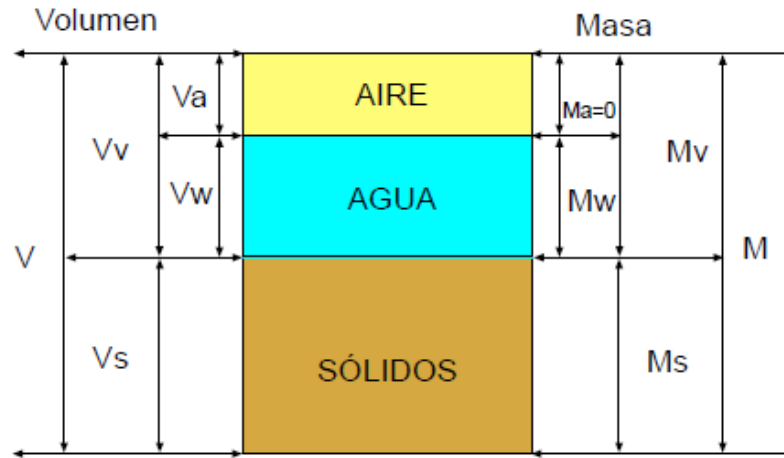
## Propiedades físicas de los suelos

$V$  = volumen total del elemento de suelo  
 $V_s$  = volumen de sólidos  
 $V_v$  = volumen de vacíos o poros  
 $V_w$  = volumen de agua intersticial

$V_a$  = volumen de aire en los poros

$M$  = masa total del elemento de suelo  
 $M_s$  = masa de sólidos  
 $M_v$  = masa de vacíos  
 $M_w$  = masa de agua intersticial  
 $M_a$  = masa de aire en los poros (despreciable)

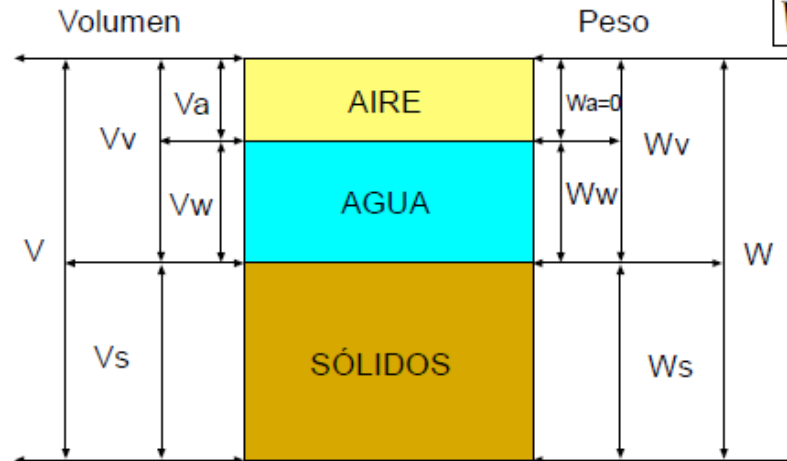
$W$  = peso total del elemento de suelo  
 $W_s$  = peso de sólidos  
 $W_v$  = peso de vacíos  
 $W_w$  = peso de agua intersticial  
 $W_a$  = peso de aire en los poros (despreciable)



$$V = V_s + V_v = V_s + V_w + V_a$$

$$M = M_s + M_v = M_s + M_w$$

$$W = W_s + W_v = W_s + W_w$$





## Descripción y clasificación de suelos

### Propiedades físicas de los suelos

#### Humedad y grado de saturación

(adimensionales)

Humedad

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100 = \frac{M_w}{M_s} \times 100$$

Grado de saturación

$$S = \frac{V_w}{V_v} \times 100$$

Suelos saturados



S = 100%

## Descripción y clasificación de suelos

### Propiedades físicas de los suelos

#### Peso específico y densidad del suelo

Densidad del suelo  $\rho = \frac{M}{V}$

Peso específico del suelo  $\gamma = \rho \cdot g$   $\gamma = \frac{W}{V} \rightarrow 15-21 \text{ kN/m}^3$   
 $g=9.81 \text{ m/s}^2$

Peso específico seco  $\gamma_d = \frac{W_s}{V} \rightarrow 6-12 \text{ kN/m}^3$  Densidad seca  $\rho_d = \frac{M_s}{V}$

Peso específico de sólidos  $\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \rightarrow 13-19 \text{ kN/m}^3$

Peso específico del suelo saturado  $\gamma_{sat} = \frac{W_{sat}}{V} \rightarrow 16-21 \text{ kN/m}^3$

## Descripción y clasificación de suelos

### Propiedades físicas de los suelos

#### Peso específico de partículas o gravedad específica de sólidos $G_s$

$$G_s = \frac{M_s}{V_s \rho_w} = \frac{W_s}{V_s \gamma_w} = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$$

$$\gamma_w = 9.81 \text{ kN/m}^3$$

La mayor parte de los suelos reales tienen valores de  $G_s$  comprendidos entre  $2.60 < G_s < 2.80$ .

Los suelos altamente orgánicos pueden tener valores de  $G_s < 2$  y suelos con alto contenido en minerales pesados pueden tomar valores de  $G_s > 3$ .

## Descripción y clasificación de suelos

### ... Propiedades físicas de los suelos

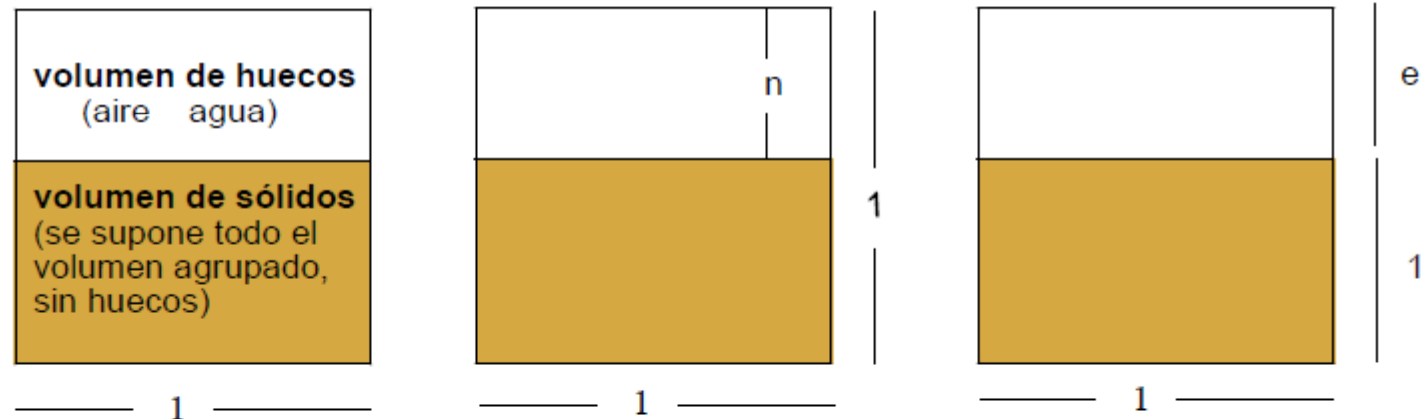
#### Relación de vacíos o índice de huecos y porosidad (adimensionales)

Índice de huecos o relación de vacíos

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

Porosidad

$$n = \frac{V_v}{V}$$



$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{V_v}{V - V_v} = \frac{\frac{V_v}{V}}{1 - \frac{V_v}{V}} = \frac{n}{1 - n}$$

$$n = \frac{e}{1 + e}$$

## Ecuaciones derivadas

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + w}$$

$$\gamma_d = \frac{G_s \gamma_w}{1 + w G_s / S}$$

$$W_s = \frac{W}{1 + w}$$

$$M_s = \frac{M}{1 + w}$$

$$e = \frac{G_s \gamma_w}{\gamma_d} - 1$$

$$w = S \left[ \frac{\gamma_w}{\gamma_d} - \frac{1}{G_s} \right] \times 100\%$$

## Descripción y clasificación de suelos

### 3.2 Granulometría

#### *Normas Técnicas*

*UNE (933/2 o 103 101) – Europea (ISO)*

*NLT (104/72) - CEDEX*

*ASTM (D-422-63) – Americana*

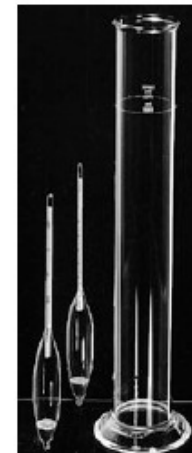
*DIN – Alemana (18035-5)*

**Tamizado**  
**Ø >0.075 mm**



**Sedimentación (Hidrómetro)**

**UNE 103 102**



## Descripción y clasificación de suelos

### 3.2 Granulometría

	<b>BRITÁNICO</b> <sub>1</sub>	<b>AASHTO</b> <sub>2</sub>	<b>ASTM</b> <sub>3</sub>	<b>SUCS</b> <sub>4</sub>
	$\phi$ (mm)	$\phi$ (mm)	$\phi$ (mm)	$\phi$ (mm)
Grava	60 – 2	75 – 2	> 2	75 – 4,75
Arena	2 – 0,06	2 – 0,05	2 – 0,075	4,75 – 0,075
Limo	0,06 – 0,002	0,05 – 0,002	0,075 – 0,005	< 0,075 FINOS
Arcilla	< 0,002	< 0,002	< 0,005	

- 4: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos
- 3: American Society for Testing and Materials
- 2: American Association of State Highway and Transportation Officials
- 1: B S – 5930: 1981

## Descripción y clasificación de suelos

### 3.2 Granulometría

**Gravas**

**$\varnothing = 8-10$  cm y  $2$  mm.**

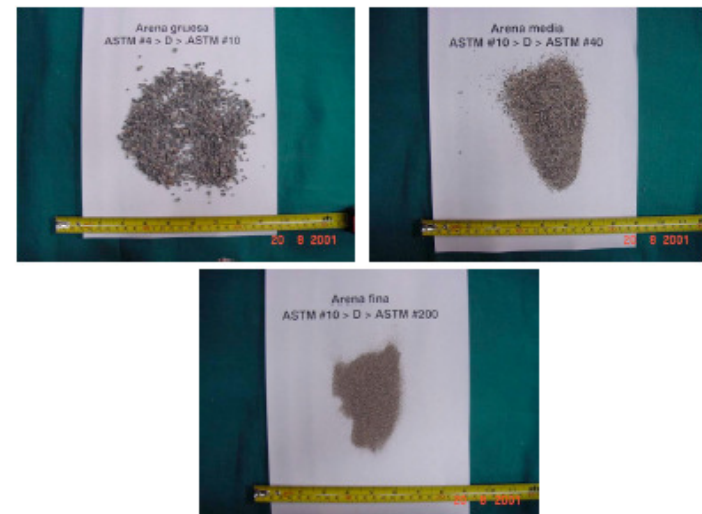
**No retienen agua y grandes huecos  
entre partículas**



**Arenas**

**$\varnothing = 2$  mm y  $0.06$  mm**

**Observables a simple vista.  
Se separan del agua con facilidad**



**Limos**

**$\varnothing = 0.06$  mm y  $0.002$  mm**

**Arcillas**

**$\varnothing \leq 0.002$  mm.**

**Retienen agua con mayor facilidad  
que los tamaños anteriores**



## Granulometría

$\varnothing > 2 \text{ mm}$   
 $0.075 \text{ mm} > \varnothing > 2 \text{ mm}$

### Tamaño de los tamices



ASTM	ISO	UNE	ABERTURA REAL (mm)	SUCS
4"	100	100	100	<b>GRAVAS</b>
3"	75	80	75	
2 1/2"	63	63	63.5	
2"	50	50	50.8	
1 1/2"	37.5	40	37.5	
1"	25	25	25	
_"	19	20	19	
_"	12.5	12.5	12.7	
_"	6.3	6.3	6.35	
Nº 4	4.75	5	4.75	
<b>Nº 10</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	
Nº 16	1.18	1.25	1.18	
Nº 40	0.425	0.40	0.425	
Nº 80	0.18	0.16	0.18	
<b>Nº 200</b>	<b>0.075</b>	<b>0.08</b>	<b>0.075</b>	<b>FINOS</b>

## Descripción y clasificación de suelos Granulometría

### Coefficiente Uniformidad

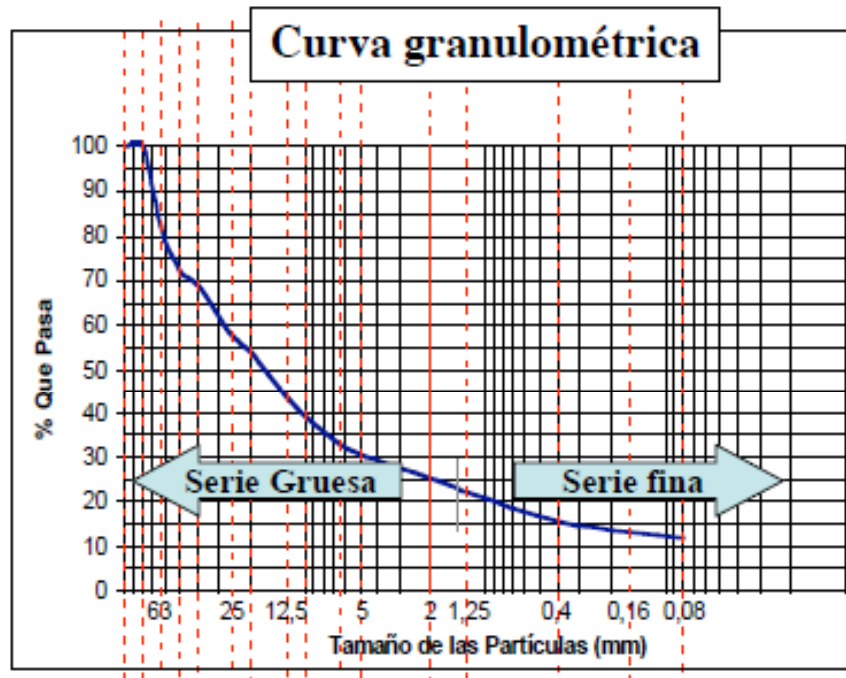
$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$Cu < 5$ . Mal graduado. Granulometría uniforme  
 $5 < Cu < 20$ . Granulometría poco uniforme  
 $Cu > 20$ . Suelo bien Graduado.

### Coefficiente Curvatura

$$Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} * D_{10}}$$

Un suelo bien graduado  $1 < Cc < 3$



### % FINOS

% de arcillas y limos que contiene el suelo  
 $\varnothing < 0.075$  mm  
 Información de la retención de agua

## Plasticidad

Una característica importante de los suelos finos es su plasticidad. Esta describe la respuesta de un suelo en función de su contenido en agua y depende también de la composición mineralógica de las arcillas

**Límites de Atterberg** (fracción de suelo que pasa por el tamiz n° 40 – ASTM (0.4 mm))



**Cuchara de Casagrande**

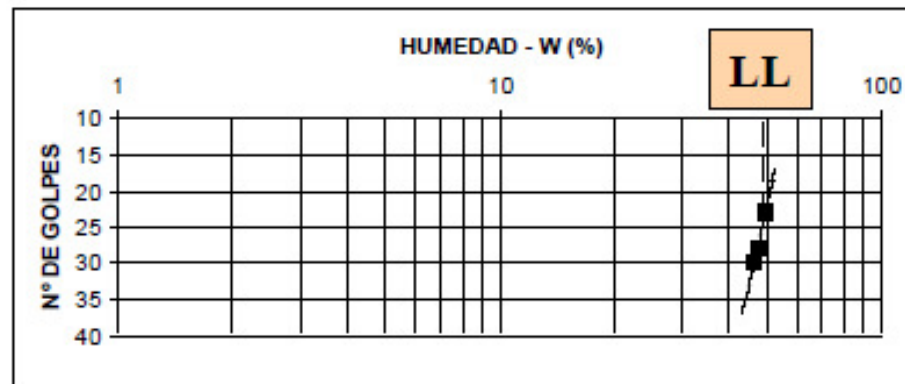
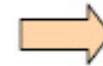
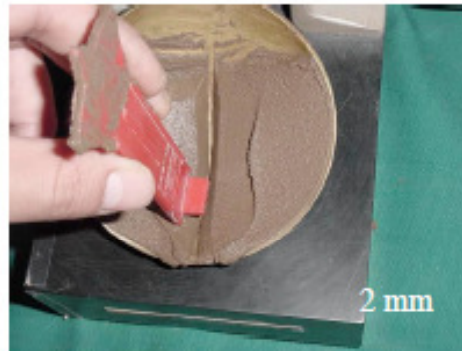
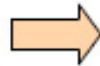


# Plasticidad

## Cálculo del LL

### Cuchara de Casagrande

LL (UNE 103 103:94) - Unión de la canaladura 12 mm a 25 golpes



## Plasticidad

### Cálculo del LP

**LP** (UNE 103 104: 93) - canutillos 3 mm



## Plasticidad

### Cálculo de Límite de retracción

LR (Ws) : Humedad del suelo en el momento en el que deja de contraerse al perder humedad

$$W_s = \frac{\gamma_w}{\gamma_d} - \frac{1}{G_s}$$

## Plasticidad

**Índice de Plasticidad (Ip)** : rango de humedades en las que el suelo se comporta de forma plástica

$$I_p = LL - LP$$

**Índice de Consistencia (Ic)** : consistencia del suelo

$$I_c = \frac{LL - w}{I_p}$$

$I_c < 0.25$	Suelo pastoso
$0.25 < I_c < 0.5$	Suelo blando
$0.5 < I_c < 0.75$	Suelo consistente
$0.75 < I_c < 1$	Suelo semiduro
$I_c > 1$	Suelo duro

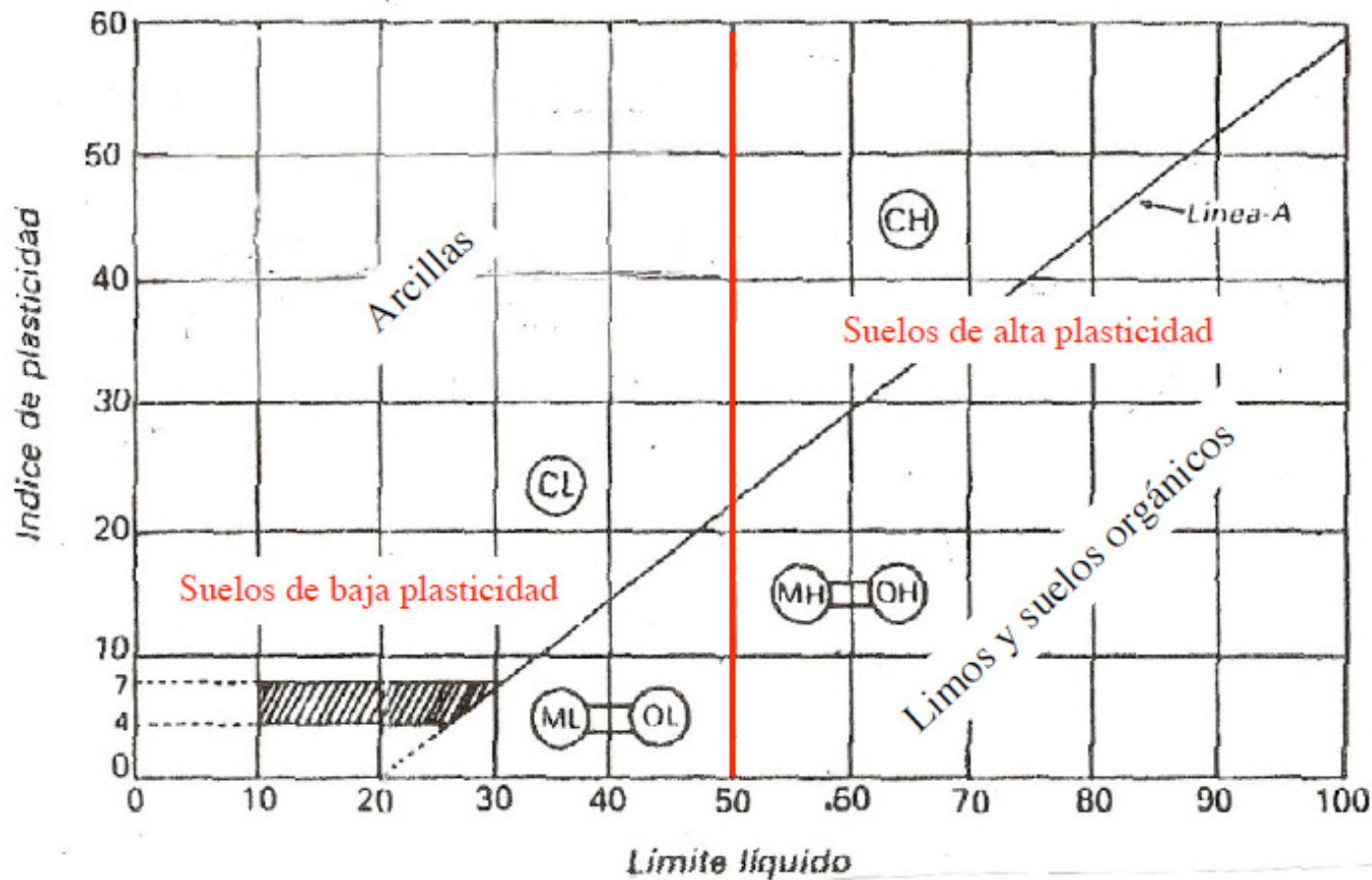
**Índice de Fluidéz (If)** - %: humedad que excede del LP.

$$I_f = \frac{w - LP}{I_p} * 100$$

$I_f = 100$	$LL = w$ . Suelo se comporta como un líquido
$0 < I_f < 100$	$LL < w < LP$ . Cuanto mayor sea If, más fluido
$I_f < 0$ .	Suelo sólido

## Plasticidad

### Carta de plasticidad de Casagrande



Línea A:  $IP = 0.73 (LL - 20)$

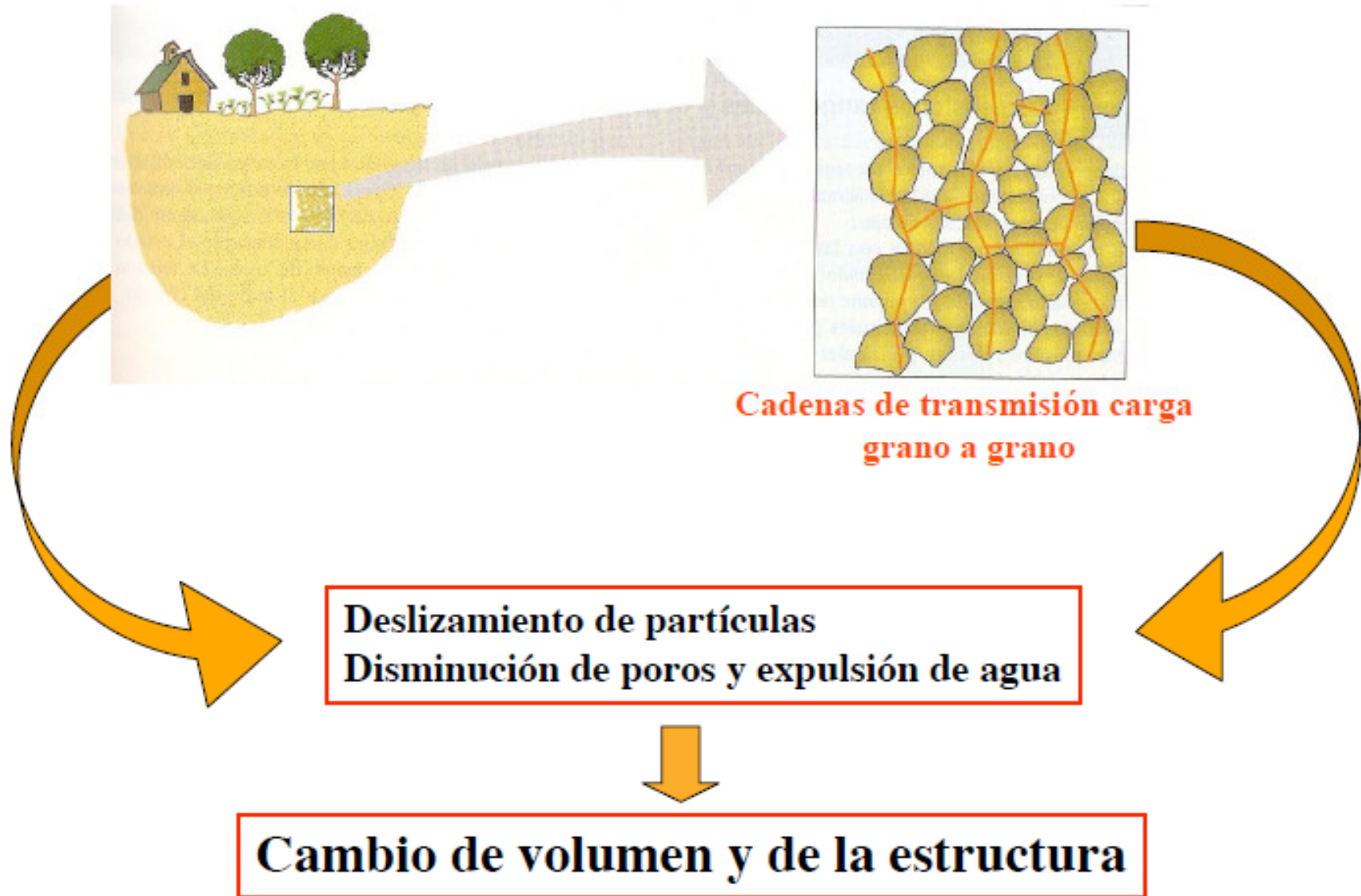


# Sistema USCS

DIVISION PRINCIPAL			SIMBOLO DEL GRUPO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACION					
SUELOS DE GRANOS GRUESOS 50% o más es retenido en el tamiz No. 200	GRAVAS 50% o más de la fracción gruesa es retenido en el tamiz No. 4	GRAVAS LIMPIAS	GW	Gravas bien gradadas y mezclas de arena y grava con pocos finos o sin finos	Clasificación basada en el porcentaje de finos Menos del 5% pasa por el tamiz No. 200 GW, GP, SW, SP Más del 12% pasa por el tamiz No. 200 GM, GC, SM, SC (5% a 12% pasa por el tamiz No. 200) Para clasificación de frontera se necesitan símbolos dobles	$C_u = D_{60}/D_{10}$ Mayor que 4	$C_z = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Entre 1 y 3			
			GP	Gravas y mezclas de gravas y arenas mal gradadas con pocos finos o sin finos		Si los criterios para GW no se cumplen				
		GRAVAS CON FINOS	GM	Gravas limosas, mezclas de grava - arena y limo		Limites de Atterberg localizados bajo la línea "A" o índice de plasticidad inferior a 4.	Si los límites de Atterberg se localizan en el área sombreada se debe clasificar utilizando símbolos dobles			
			GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava - arena y arcilla		Limites de Atterberg sobre la línea "A" e índice de plasticidad superior a 7.				
	ARENAS	ARENAS LIMPIAS	SW	Arenas y arenas gravosas bien gradadas con pocos finos o sin finos		$C_u = D_{60}/D_{10}$ Superior a 6	$C_z = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Entre 1 y 3			
			SP	Arenas y arenas gravosas mal gradadas con pocos finos o sin finos		Si no se cumplen los criterios para SW				
		ARENAS CON FINOS	SM	Arenas limosas, mezclas de arena limo		Limites de Atterberg localizados bajo la línea "A" o índice de plasticidad inferior a 4.	Para los límites de Atterberg localizados en el área sombreada se debe clasificar utilizando símbolos dobles.			
			SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla		Limites de Atterberg sobre la línea "A" e índice de plasticidad superior a 7.				
		SUELOS DE GRANOS FINOS 50% o más pasa por el tamiz No. 200	LIMOS Y ARCILLAS Limite líquido de 50% o inferior	ML		Limos inorgánicos, arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas	<p><b>GRAFICO DE PLASTICIDAD</b> Para la clasificación de los suelos finos y de la fracción fina de los suelos granulares</p> <p>Los límites de Atterberg situados en el área sombreada corresponden a la clasificación de frontera y requieren símbolos dobles</p> <p>Ecuación de la línea A. <math>IP = 0.73 (LL - 20)</math></p>			
				CL		Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, suelos sin mucha arcilla				
OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad									
LIMOS Y ARCILLAS Limite líquido superior a 50%	MH		Limos inorgánicos, arenas finas o limos micáceos o de diatomeas limos elásticos							
	CH		Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas grasas							
	OH		Arcillas orgánicas de plasticidad alta o media							
	PT		Turba, estiércol y otros suelos altamente orgánicos	Para la identificación visual y manual, véase ASTM norma D 2488						
Suelos altamente orgánicos			PT	Turba, estiércol y otros suelos altamente orgánicos						

Tamiz 200:  $\phi=0,08\text{mm}$   
 Tamiz 4:  $\phi=4,75\text{ mm}$

## Principios mecánicos de deformación en suelos



## Principios mecánicos de deformación en suelos

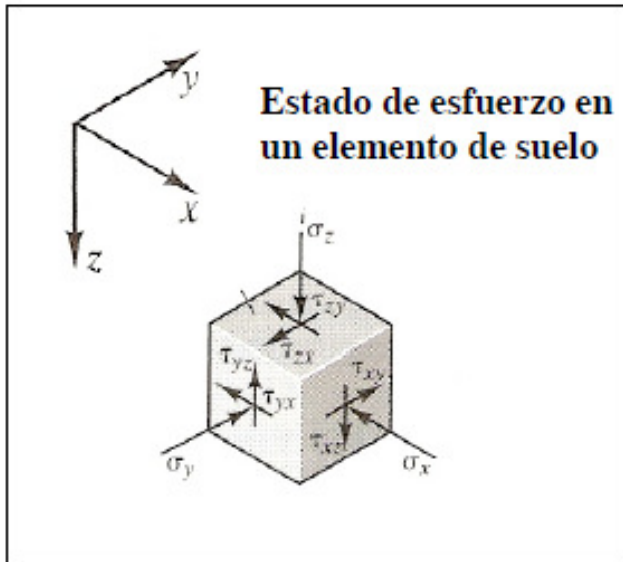
### Características básicas del comportamiento mecánico

**Estructura del suelo.** Condiciona determinadas cadenas de transmisión de carga

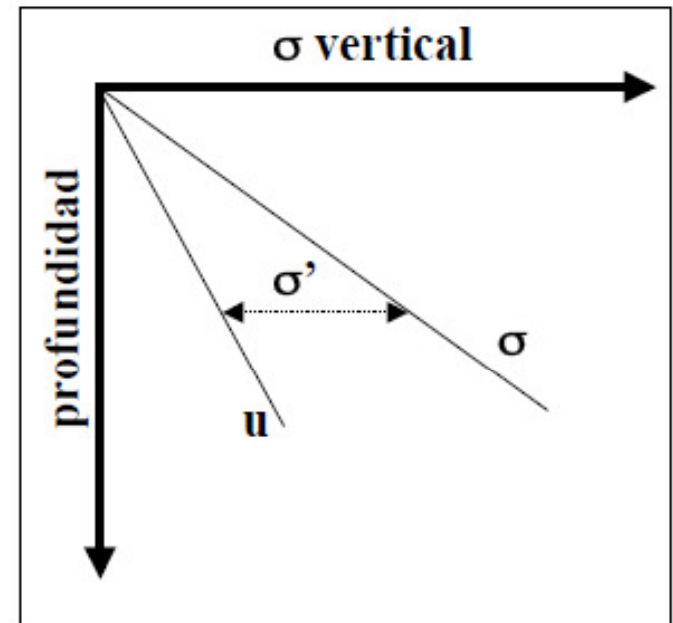
**Anisotropía.** La resistencia y deformabilidad depende de la dirección de aplicación del esfuerzo

**Historia tensional.** Al modificar el estado de esfuerzos se produce la reordenación de las partículas: nuevas cadenas de transmisión de carga

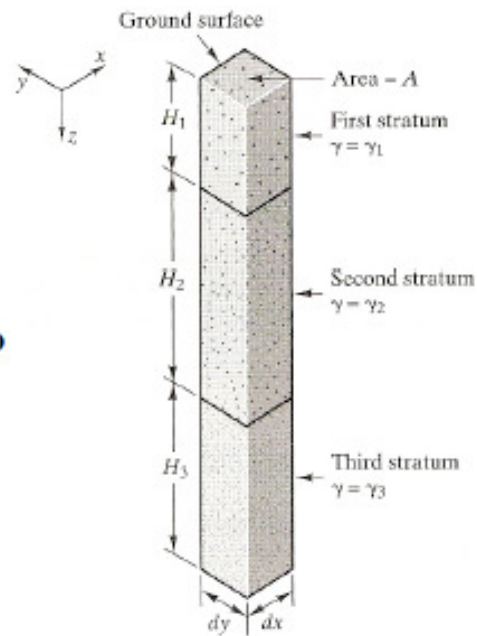
## Principios mecánicos de deformación en suelos



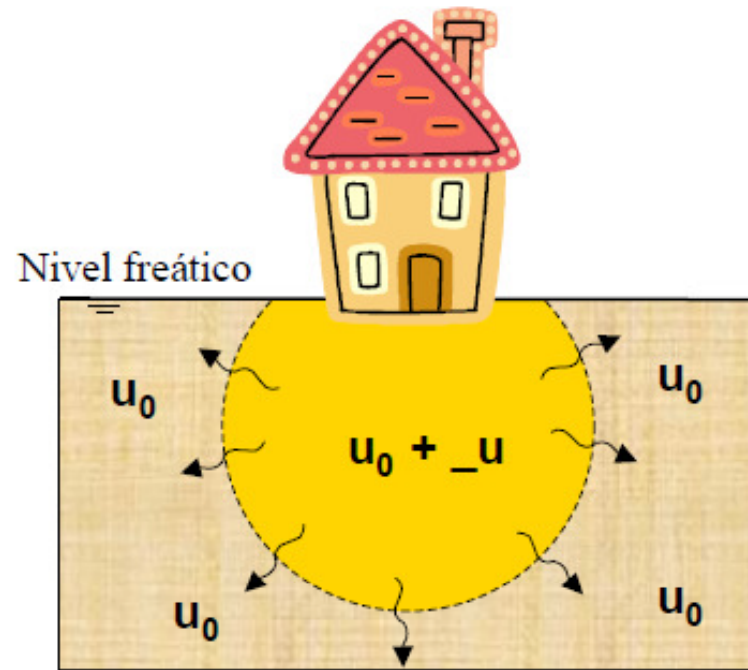
$$\sigma_v = \gamma H$$



**Esfuerzo vertical inducido por la gravedad en una columna de suelo**



## Principios mecánicos de deformación en suelos Principio de esfuerzo efectivo



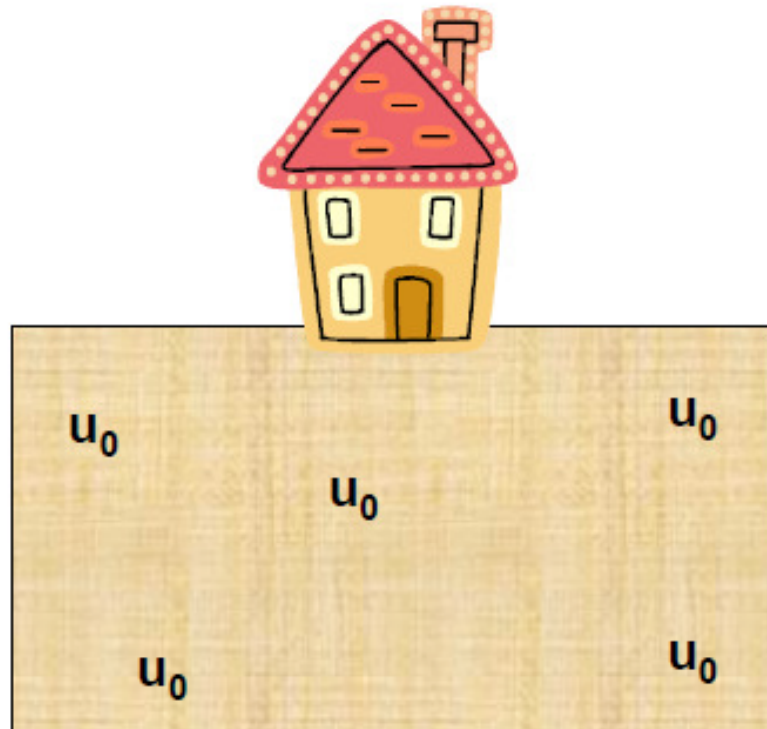
Anterior a la carga

$$\sigma = \sigma' + u$$

$$\sigma_0 + \Delta\sigma = (\sigma'_0 + \Delta\sigma') + (u_0 + \Delta u)$$

$$\Delta\sigma = \Delta\sigma' + \Delta u$$

Principios mecánicos de deformación en suelos Principio de esfuerzo efectivo



Transcurrido un cierto tiempo se alcanza el equilibrio

$$\Delta u = 0$$

$$\Delta \sigma = \Delta \sigma'$$

## Principios mecánicos de deformación en suelos

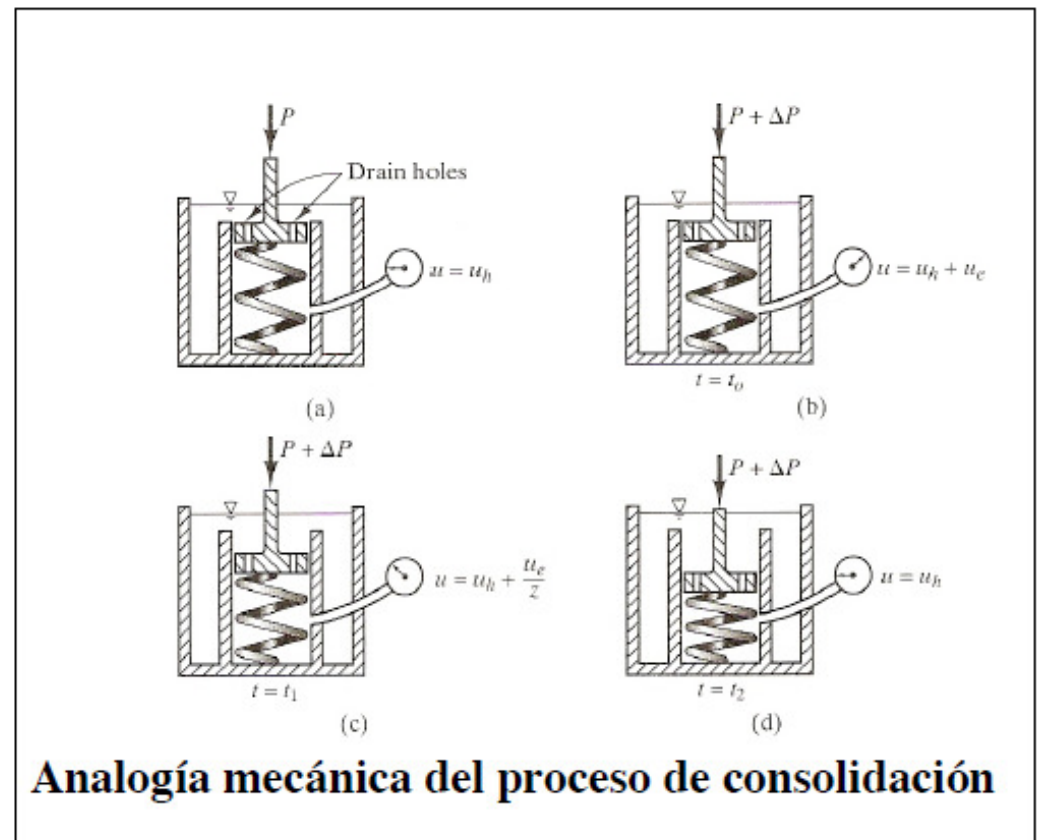
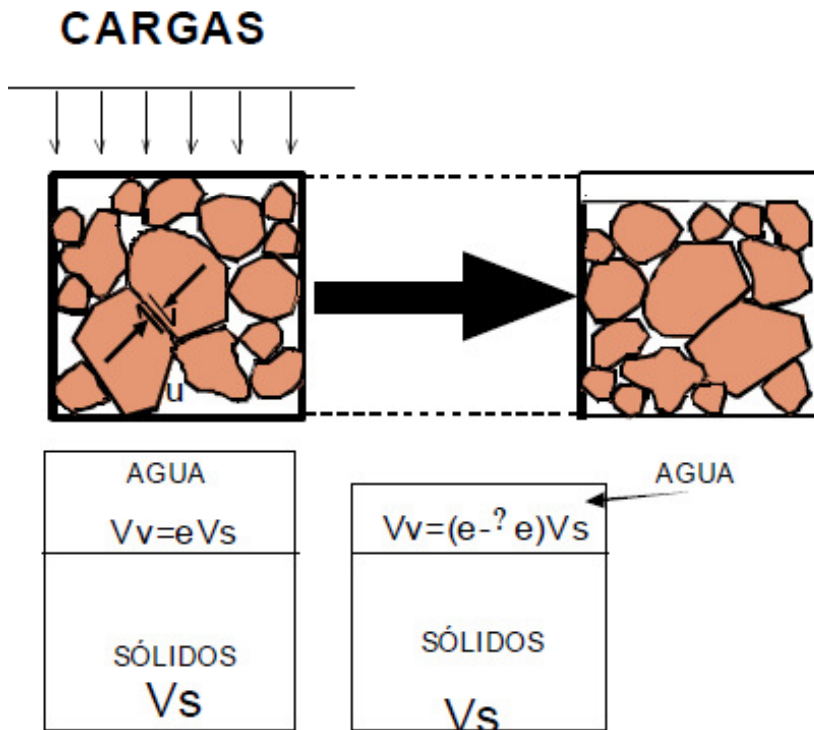
### Fases que tienen lugar al cargar un suelo saturado:

1. Incremento de esfuerzo ( $\Delta\sigma$ ) en las zonas próximas al punto de aplicación
2. Según Terzaghi un aumento de los esfuerzos implica un aumento de la presión efectiva ( $\Delta\sigma'_{inicial}$ ) más un aumento de la presión intersticial ( $\Delta u_{inicial}$ )
3. La aparición de un  $\Delta u_{inicial}$  produce una diferencia de altura piezométrica, lo que implica una circulación de agua.
4. A medida que progresa el flujo disminuye la  $\Delta u_{inicial}$  en el interior de la zona de influencia, aumentando en la misma medida  $\Delta\sigma'_{inicial}$ .
5. Cuando realmente desaparece la presión intersticial ( $\Delta u$ ) todo el incremento de carga se traducirá íntegramente en tensión efectiva ( $\Delta\sigma'$ ).

El proceso de disipación de presión intersticial por la aplicación de una carga es a lo que se denomina **CONSOLIDACIÓN** de un suelo. La velocidad de consolidación del suelo va a depender de su Permeabilidad (K), lo que puede implicar carga con o sin drenaje y de la Velocidad de aplicación de la carga.

# Principios mecánicos de deformación en suelos

## Principio de esfuerzo efectivo



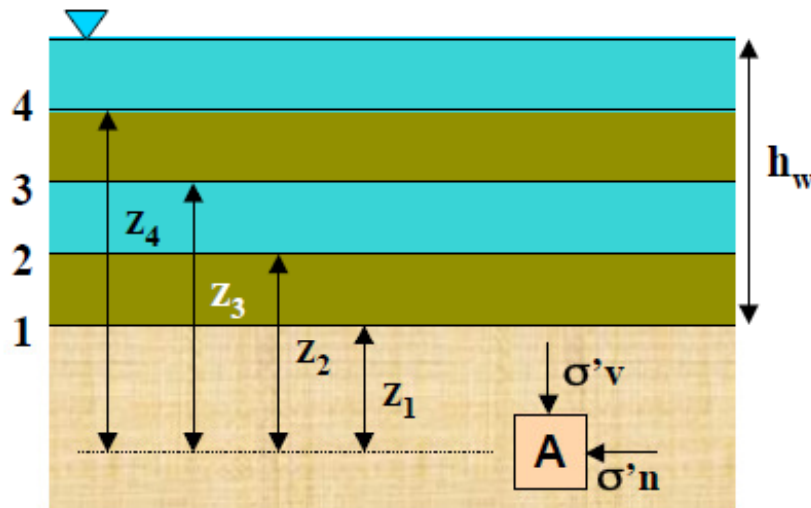
Carga con drenaje y sin drenaje



## Suelos normalmente consolidados y suelos sobreconsolidados

Las características tenso-deformationales de un suelo dependen de su **Historia Geológica**.

Ej: Depósito de un suelo en ambiente acuoso. Deformación lateral nula o unidimensional. Un  $\sigma_{princ}$  vert.

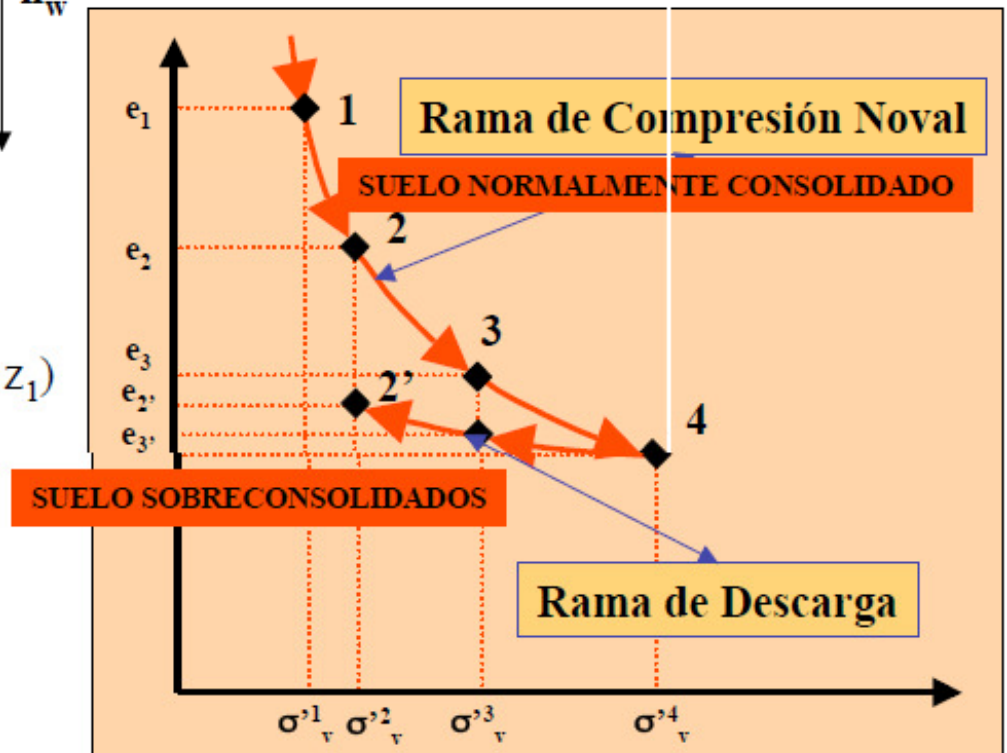


En el punto A:  $\sigma_{v(A)}^1 = (\gamma_w * h_w) + (\gamma_{sat} * z_1)$

$$u_{(A)} = \gamma_w * (h_w + z_1)$$

$$\sigma'_{v(A)}^1 = \sigma_{v(A)}^1 - u_{(A)}$$

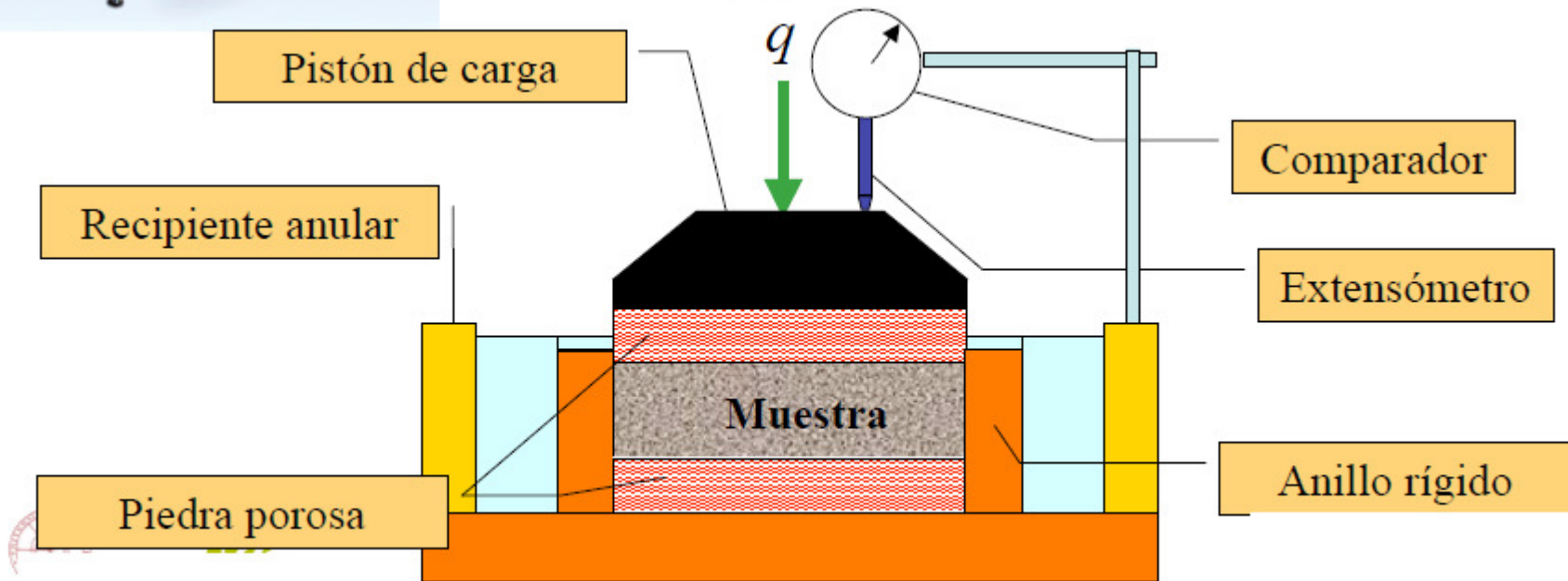
$$\sigma'_{v(A)}^1 = (\gamma_{sat} - \gamma_w) * z_1$$



## Ensayo edométrico




**Muestra:**  
Diámetro – 5 cm  
Altura – 2 cm  
Volumen – 39.269875 cm<sup>3</sup>



## ESCALONES DE CARGA

<b>Kp/cm<sup>2</sup></b>	<b>0,05</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>	<b>0,4</b>	<b>0,8</b>	<b>1,5</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>10</b>	<b>15</b>
<b>Kpa</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>40</b>	<b>80</b>	<b>150</b>	<b>300</b>	<b>600</b>	<b>1000</b>	<b>1500</b>
<b>Eq. Peso (Kg)</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>16</b>	<b>30</b>	<b>60</b>	<b>120</b>	<b>200</b>	<b>300</b>



**ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN  
EN EDÓMETRO (UNE 103405:94)**

**Muestra:**

**CARGA:** 3 Kp/cm<sup>2</sup>

**Dia/Días Totales:** 5 / 15

**Wo:** 19,786 %

**ñs:** 1,429 gr/cm<sup>3</sup>

**G:** 2,500

**Ho:** 20 mm

**eo:** 0,7103

**Hora Inicio:** 9:00:00

**Fecha:** 25/10/2005

TIEMPO	HORA	DIAL (0.01 mm)	?H	e
10"	9:00:10	22,5	0,225	0,691054524
15"	9:00:15	22,6	0,226	0,690969009
30"	9:00:30	22,75	0,2275	0,690840737
45"	9:00:45	22,85	0,2285	0,690755222
1'	9:01:00	22,95	0,2295	0,690669707
2'	9:02:00	23	0,23	0,69062695
3'	9:03:00	23,1	0,231	0,690541435
5'	9:05:00	23,3	0,233	0,690370406
7'	9:07:00	23,5	0,235	0,690199376
10'	9:10:00	23,6	0,236	0,690113862
15'	9:15:00	23,7	0,237	0,690028347
20'	9:20:00	23,9	0,239	0,689857317
30'	9:30:00	24	0,24	0,689771802
45'	9:45:00	24,05	0,2405	0,689729045
1 H	10:00:00	24,1	0,241	0,689686288
2 H	11:00:00	24,25	0,2425	0,689588016
3 H	12:00:00	24,5	0,245	0,689344229
5 H	14:00:00	24,75	0,2475	0,689130442
7 H	16:00:00	25	0,25	0,688916655
24 H	9:00:00	25,25	0,2525	0,688702868

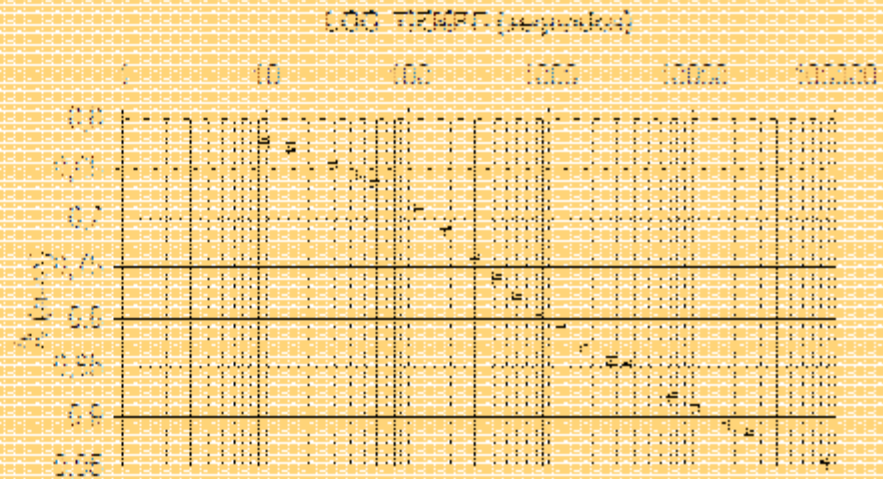
$e = e_o - ?H/Ho (1+e_o)$

$e_o = (G/\_d) - 1$

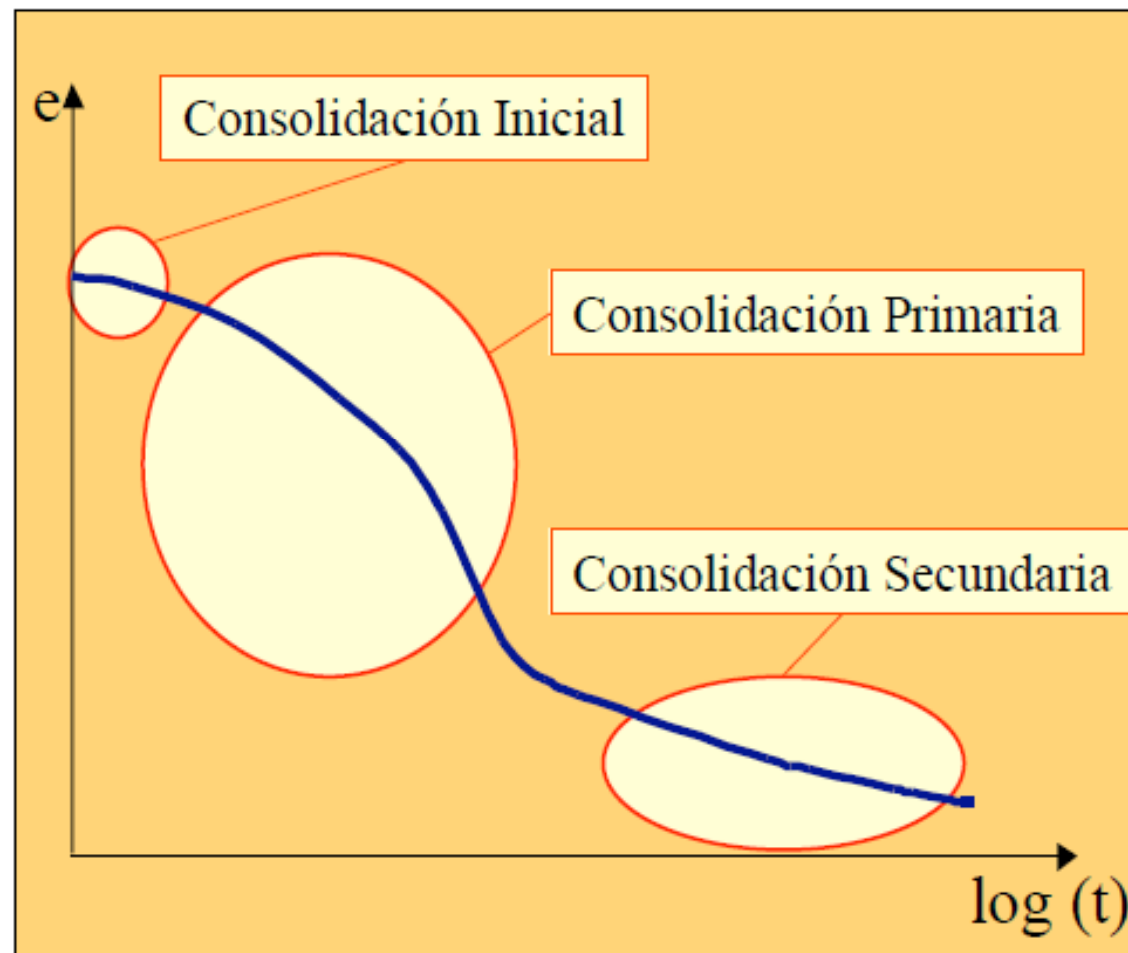
$$e_o = (G/\_d) - 1$$

$$e = e_o - \Delta H/Ho (1+e_o)$$

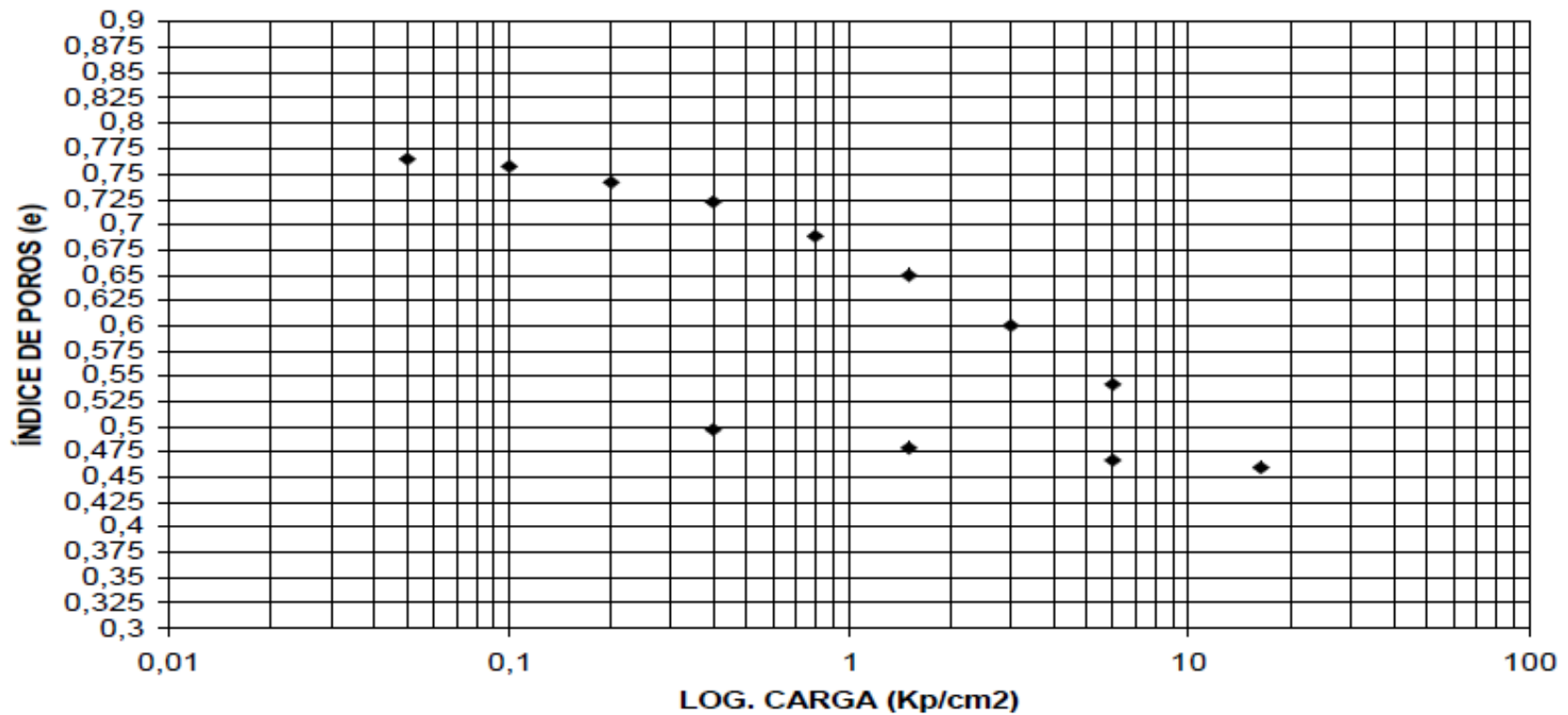
### CURVA DE CONSOLIDACIÓN



- **Consolidación Inicial:** Reducción de vacíos por eliminación del aire.
- **Consolidación Primaria:** Reducción de vacíos por eliminación de agua.
- **Consolidación Secundaria:** Reacomodamiento de las partículas sólidas



## CURVA EDOMÉTRICA



**Índice de Compresión ( $C_c$ ):**

*Pendiente Rama Compresión Noval*

$$C_c = \frac{e_{inicial} - e_{final}}{\log\left(\frac{\sigma'_{final}}{\sigma'_{inicial}}\right)}$$

**Índice de Entumecimiento ( $C_s$ ):**

*Pendiente de la Rama de Descarga*

$$C_s = \frac{e_{final} - e_{inicial}}{\log\left(\frac{\sigma'_{inicial}}{\sigma'_{final}}\right)}$$

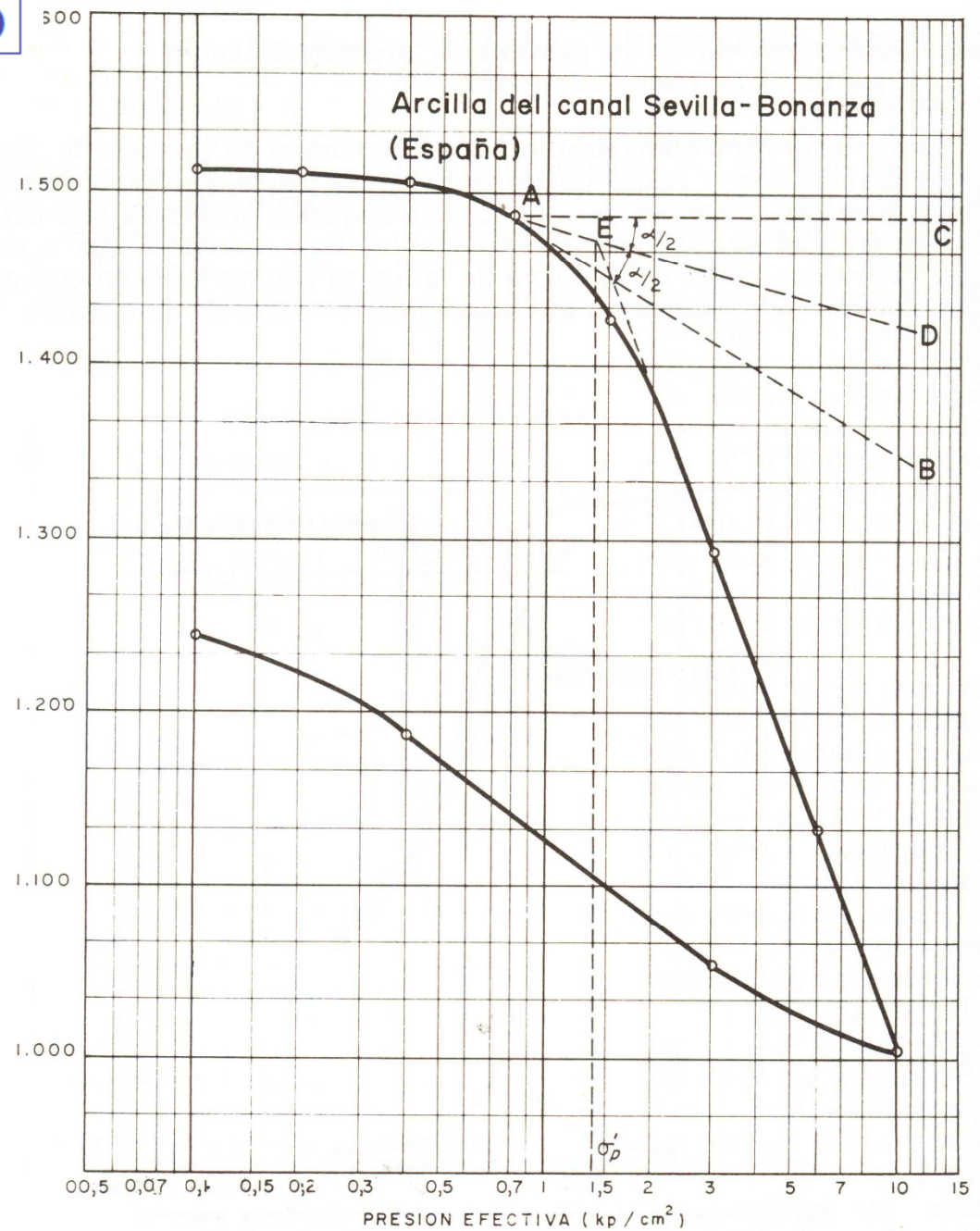
## Cálculo Presión de Preconsolidación ( $\sigma'_p$ )

### Método de Casagrande

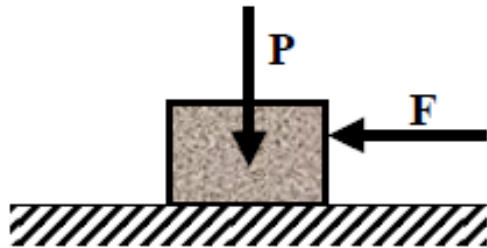
A – Punto de máxima curvatura

Si  $\sigma'_p = \sigma'_0$ : suelo normalmente consolidado

Si  $\sigma'_p > \sigma'_0$ : suelo preconsolidado



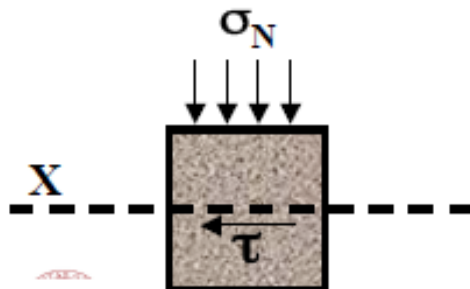
## RESISTENCIA AL CORTE DE UN SUELO



$$F = P \cdot \mu$$

$P$  – Fuerza normal.  
 $F$  – Fuerza de fricción.  
 $\mu$  – Coeficiente de fricción.

*La fuerza necesaria para producir un deslizamiento es directamente proporcional a la fuerza normal, mediante un factor de proporcionalidad denominado coeficiente de fricción.*



Dada una masa de suelo y un plano potencialmente de falla (X), el Esfuerzo de corte que puede resistir la masa de suelo por unidad de área es proporcional al esfuerzo normal sobre dicho plano.

$$\tau = \sigma_n \cdot \mu$$

$$\tau = \sigma_n \cdot \mu$$

Si  $\sigma = 0$  ; entonces  $\tau = 0$

Esto no ocurre en la naturaleza, existen suelos dónde no se tienen esfuerzos normales ( $\sigma$ ), pero sobre el plano de corte si existe una cierta resistencia a la cizalla.

Si  $\sigma = 0$ , entonces  $\tau = c$  ---- **Cohesión**

$$\tau = c + \sigma_n \cdot \mu$$

**CRITERIO DE COULOMB**

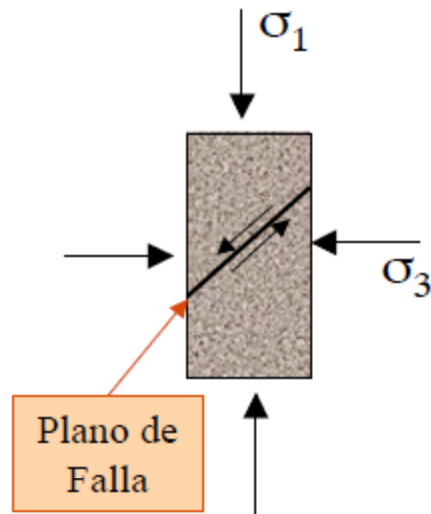
$$\tau = c' + (\sigma_n - u) * \mu$$

Por lo tanto, la **resistencia al corte** de un suelo depende:

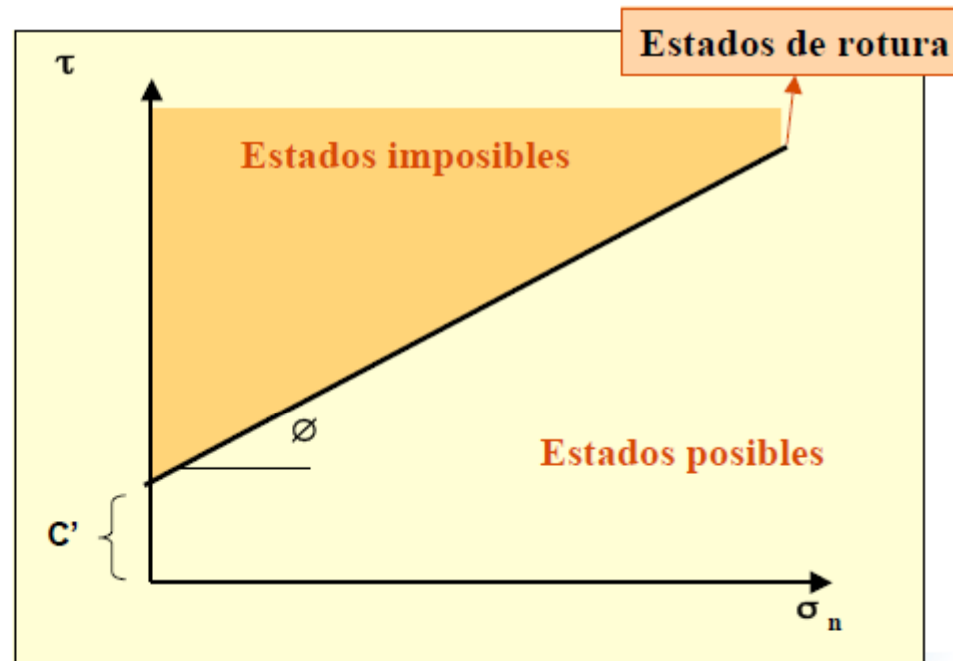
- Naturaleza
- Estructura
- Nivel de deformación
- Estado tensional
- Presión de fluidos

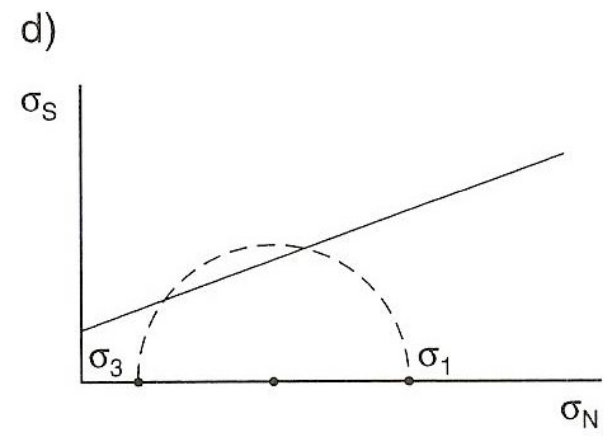
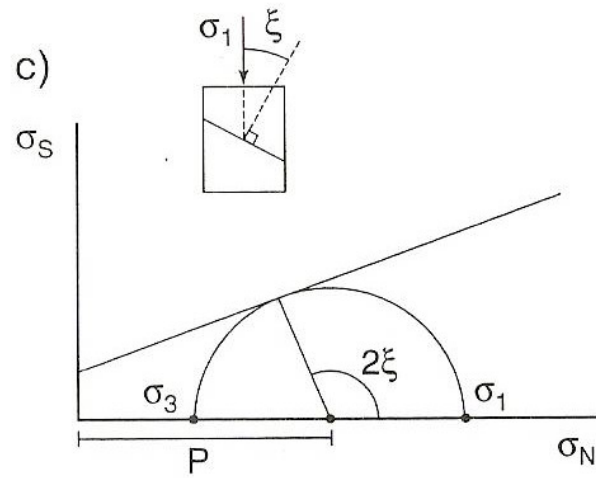
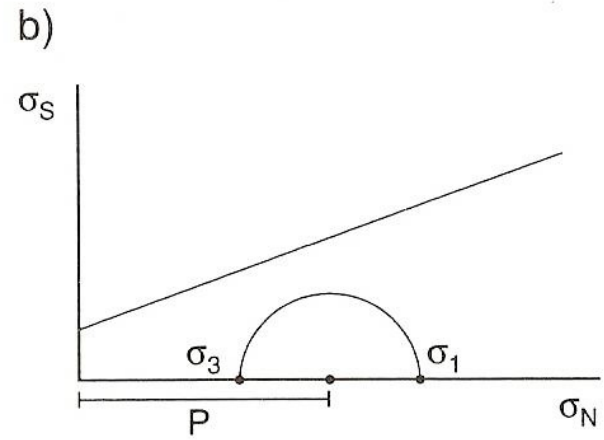
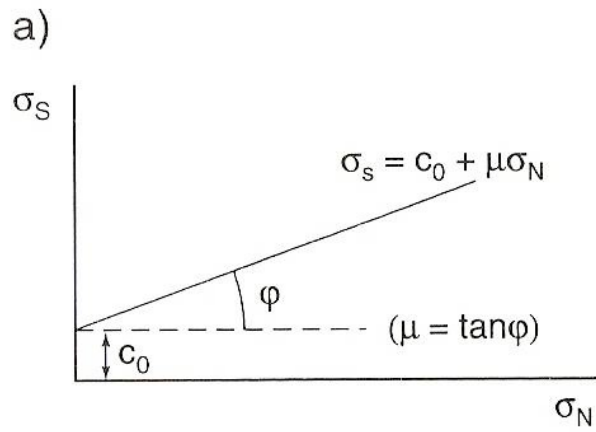


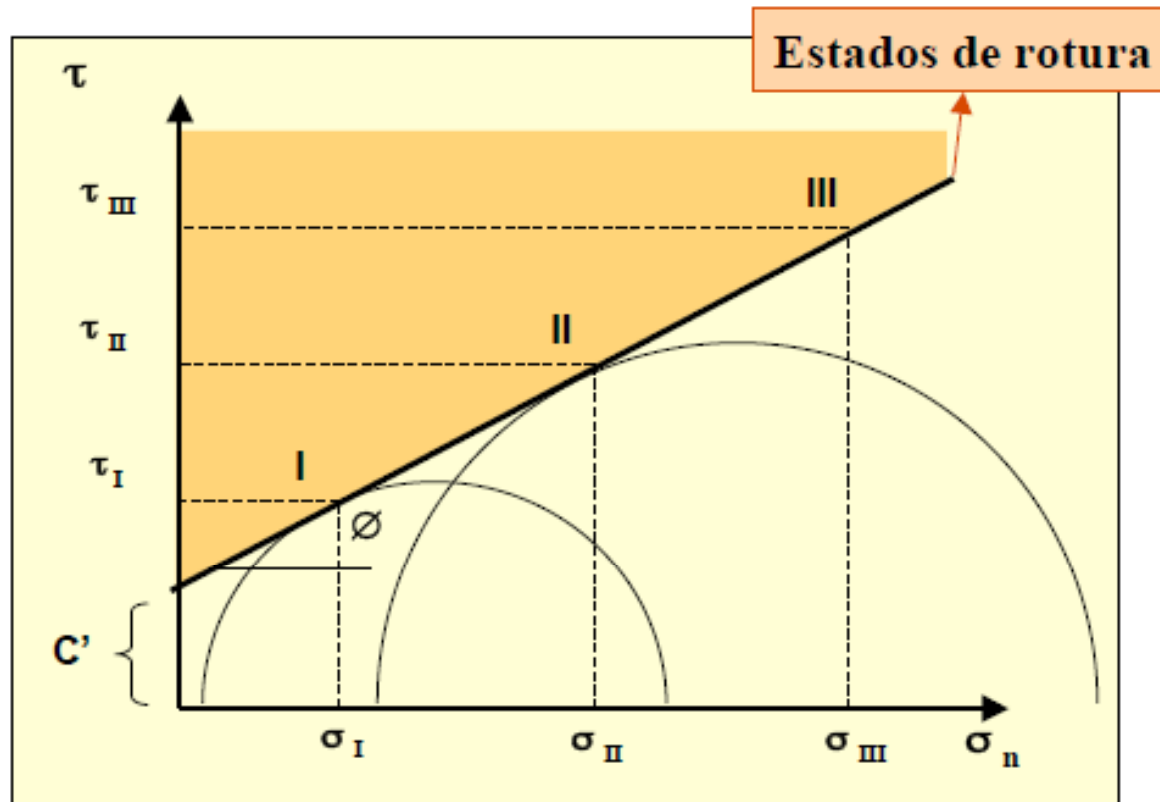
## ESPACIO DE MOHR



$$\tau = c' + (\sigma_n - u) * \mu$$
$$\mu = \text{tg}\phi$$







$$\tau = c' + (\sigma_n - u) * \mu$$

$$\mu = \text{tg}\phi$$

GRACIAS POR SU ATENCIÓN