



UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

GEOTECNIA II

CLASE 1 – INTRODUCCION



UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

GEOTECNIA II

CLASE 1 – INTRODUCCION

DEFINICIONES

MECÁNICA DE SUELOS:

Conocimiento científico respecto de la respuesta mecánica de los suelos.

Se explica sobre la base de un medio en el que interactúan los sólidos con los fluidos.

Esto concluye en el concepto de presión efectiva.

MECÁNICA DE ROCAS:

Conocimiento científico respecto de la respuesta mecánica de formaciones rocosas.

Se explica sobre la base de un medio discontinuo.



UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

GEOTECNIA II

CLASE 1 – INTRODUCCION

DEFINICIONES

MECÁNICA DE SUELOS
MECÁNICA DE ROCAS



Mecánica de los Sólidos

Mecánica de los Fluidos

Mecánica de los Discontinuos

GEOTECNIA (Ingeniería Geotécnica):

Aplicación de los conceptos de las mecánicas.

Interpretación del problema a través de modelos.

Planteo de soluciones sobre la base de teoría y práctica



UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

GEOTECNIA II

CLASE 1 – INTRODUCCION MATERIALES

Metales



Hormigón



Plásticos



Elastómeros Polímeros





UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

GEOTECNIA II

CLASE 1 – INTRODUCCION MATERIALES

A diferencia de los materiales de construcción hechos por el hombre, como el hormigón, el acero, el vidrio y el ladrillo, **el suelo y las rocas son:**

- **Formado en condiciones naturales**, sin ningún control calificado especificado,
- **No se conocen completamente en su composición** y estructuras antes, durante e incluso después de la construcción,
- Estructura comúnmente **heterogénea y anisotrópica**,
- **Propiedades mecánicas variables**, tanto en espacio como en tiempo,
- **Medio poroso y saturado** → interacciones sólidos - fluidas complejas y,
- A menudo **fracturado** por juntas, planos de discontinuidad y fallas.

ISSMFE, 2004.



UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

GEOTECNIA II

CLASE 1 – INTRODUCCION MATERIALES

SUELOS Y ROCAS

Son materiales singulares respecto de aquellos
elaborados por el hombre

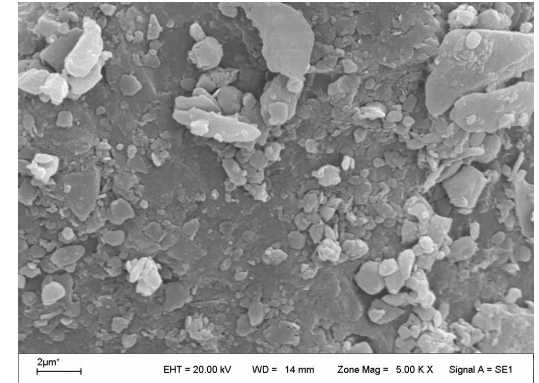
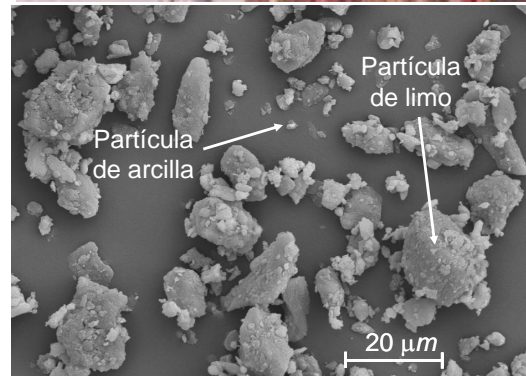
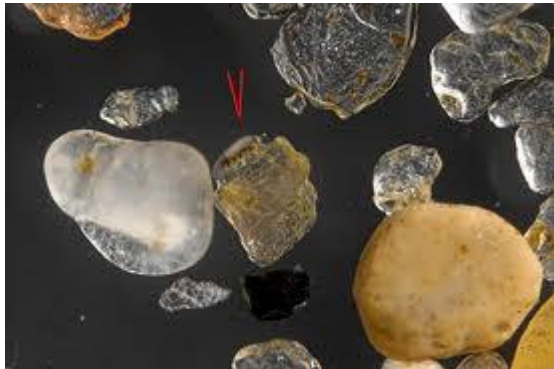


UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

Objetivo

El estudio del comportamiento mecánico del suelo desde el punto de vista de aplicaciones en la ingeniería Geotécnica





UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

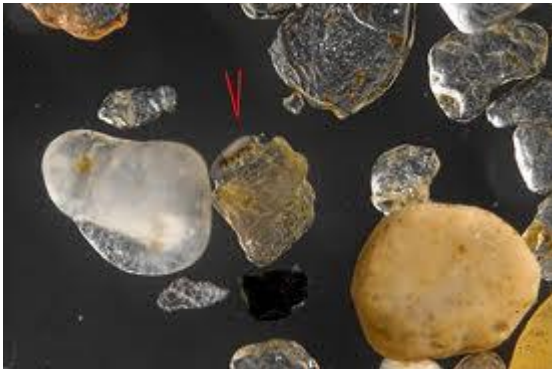
Objetivo

El estudio del comportamiento mecánico del suelo desde el punto de vista de aplicaciones en la ingeniería Geotécnica



Requiere la aplicación de conceptos de:

- **Física General.**
- **Estática.**
- **Resistencia de los Materiales.**



Medio Discontinuo tratado como Continuo



UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

Objetivo

El estudio del comportamiento del suelo desde el punto de vista de la Ingeniería Civil

Los suelos son inherentemente:

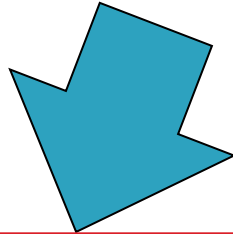
- ***No lineales*** (Hertz y contactos eléctricos),
- ***No elásticos*** (Mindlin contacto),
- ***Porosos y permeables*** (es decir, la porosidad entre los granos está interconectado).



UNC

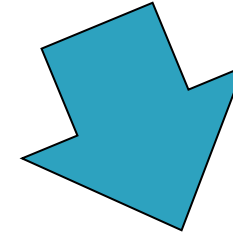
Universidad
Nacional
de Córdoba

Estudio del comportamiento del suelo desde el punto de vista de la Ingeniería Civil



Estudio de las propiedades del suelo

- **Permeabilidad**
- **Compresibilidad**
- **Elasticidad**
- **Resistencia al corte**
- **Estudio de sus propiedades a partir de ensayos in situ**
- **Compactabilidad**



Teorías de comportamiento y aplicaciones

- **Escurrecimiento del agua en un medio poroso**
- **Distribución de presiones**
- **Estados de equilibrio plástico: Empuje activo, empuje pasivo, capacidad de carga**
- **Estabilidad de taludes**



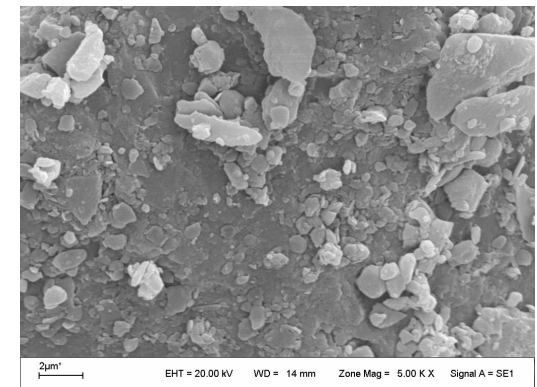
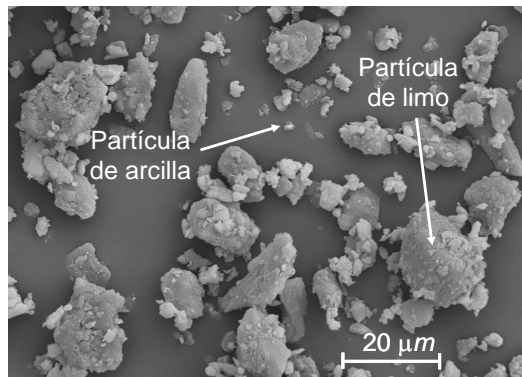
UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

PROPIEDADES

Características y los procesos a nivel de partículas se integran para que la respuesta a macroescala

- **Tamaño:** determina el equilibrio entre las fuerzas de nivel de partículas (las fuerzas capilares y eléctricas adquieren relevancia cuando las partículas son menores de 10–50 μm)





UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

PROPIEDADES

Características y los procesos a nivel de partículas se integran para que la respuesta a macroescala

- ***Tamaño***
- ***Forma:***
 - Refleja la historia de la formación y afecta el embalaje de granos, anisotropía, rigidez, resistencia y permeabilidad - entre otros
- ***Disposición espacial de los granos:***
 - Determinado por fuerzas eléctricas en sedimentos de grano fino (concentración iónica) y por la forma del grano y tamaño de grano relativa en suelos de grano grueso
- ***Porosidad:***
 - Grano Fino: Varía ampliamente y es dependiente de la tensión.
 - Frano Grueso. Rango estrecho y se define en el momento de deposición de las partículas.



UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

PROPIEDADES

• Granulometría





UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

PROPIEDADES



UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

• Interacción suelo - agua

El esqueleto de partículas (fricción) coexiste con los fluidos de los poros (viscoso):

- ***Ambos son muy diferentes:*** la clave es anticipar sus distintas respuestas a los cambios impuestos.
- ***El esqueleto y el fluido interactúan:*** esto genera presión de fluido acoplada, tensión efectiva, deformaciones volumétricas y respuesta al corte.
- Los ***fluidos mixtos*** agregan efectos capilares al esqueleto particulado.
- ***Generalización:***
 - Procesos hidro – químico - bio-termomecánicos están acoplados.

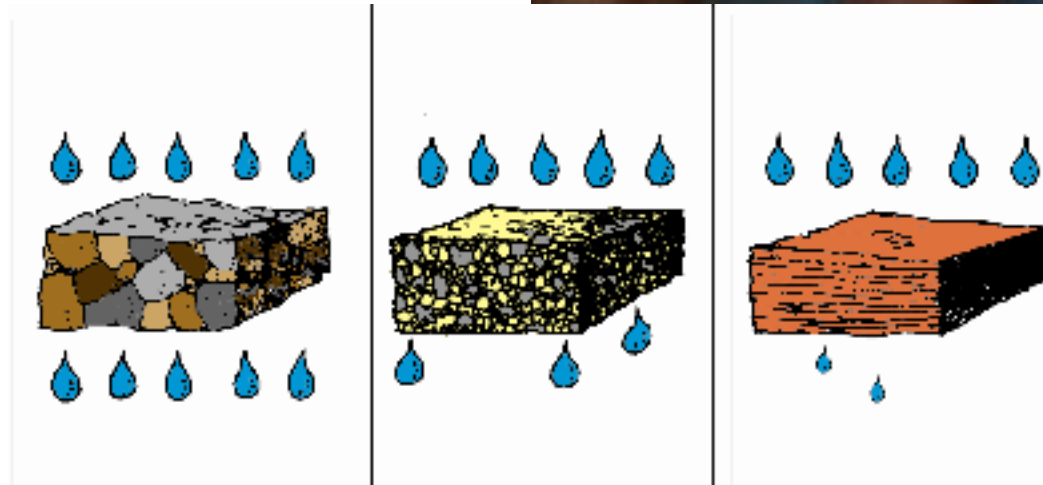
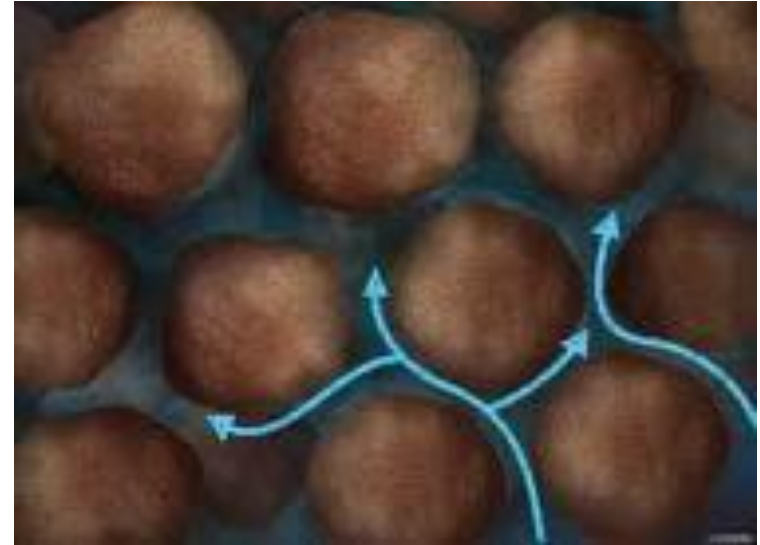
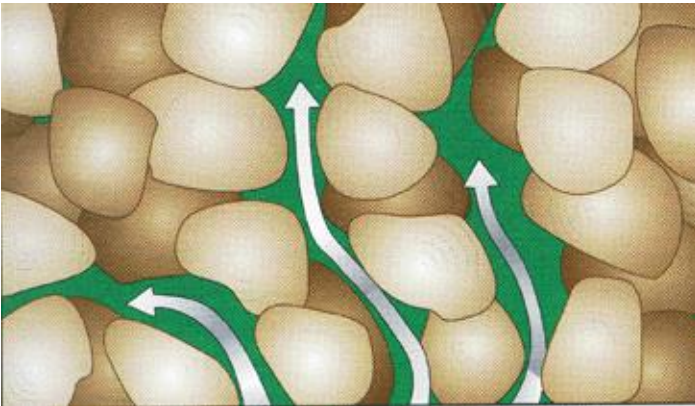


UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

PROPIEDADES

• Permeabilidad





UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

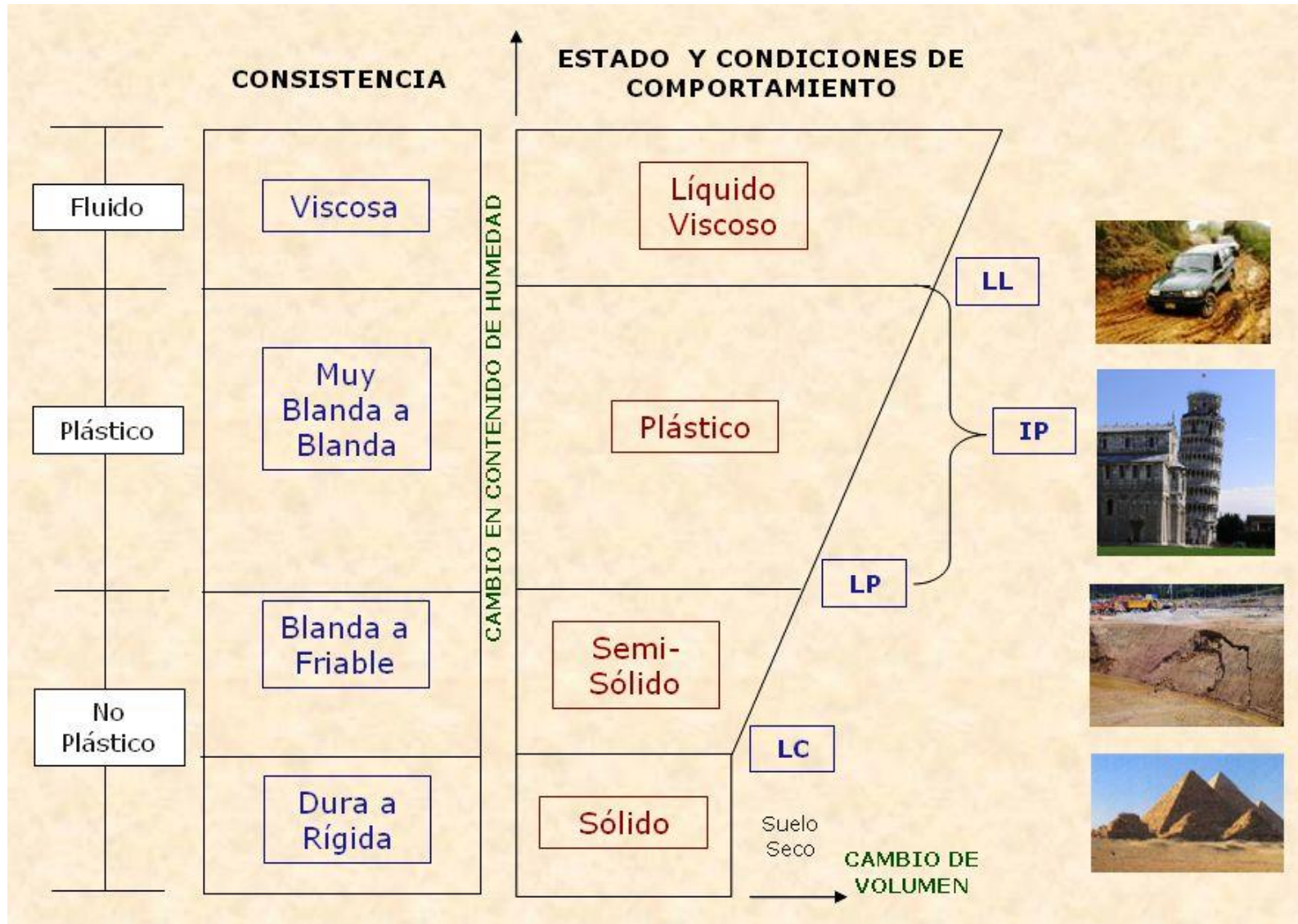
PROPIEDADES



UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

• Interacción suelo - agua

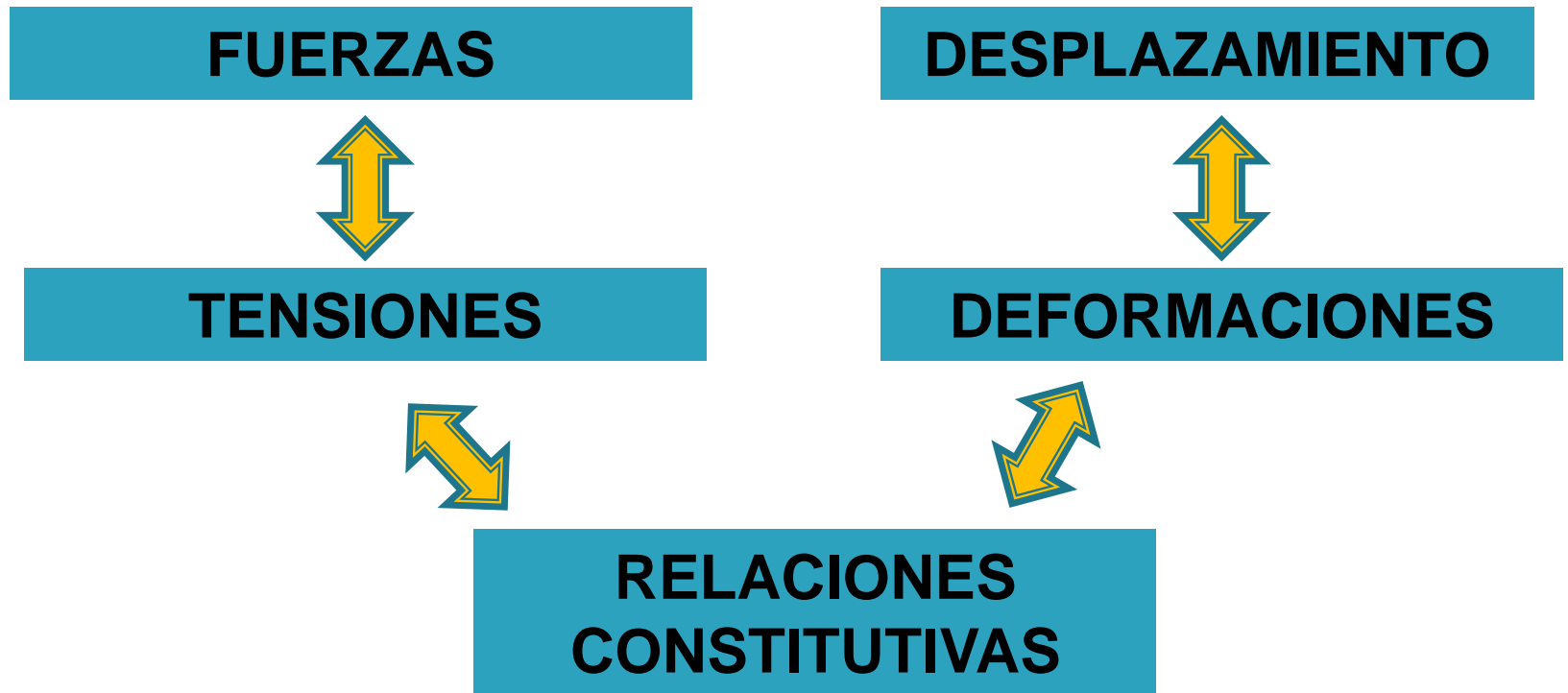




UNC

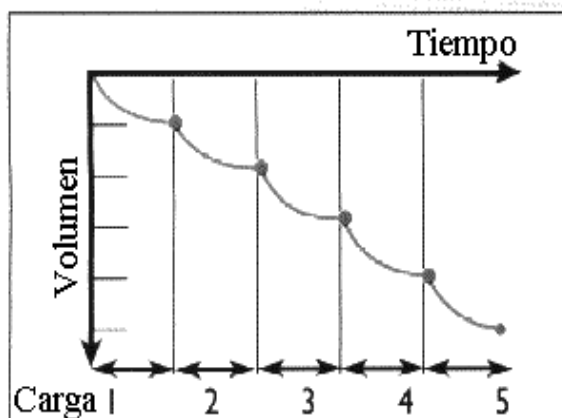
Universidad
Nacional
de Córdoba

Mecánica de los Materiales



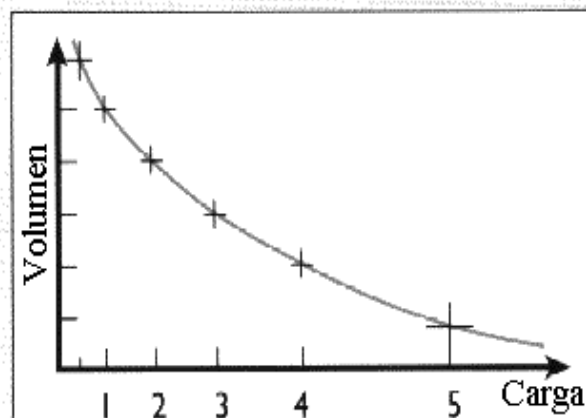
PROPIEDADES

• Rigidez (Deformabilidad)

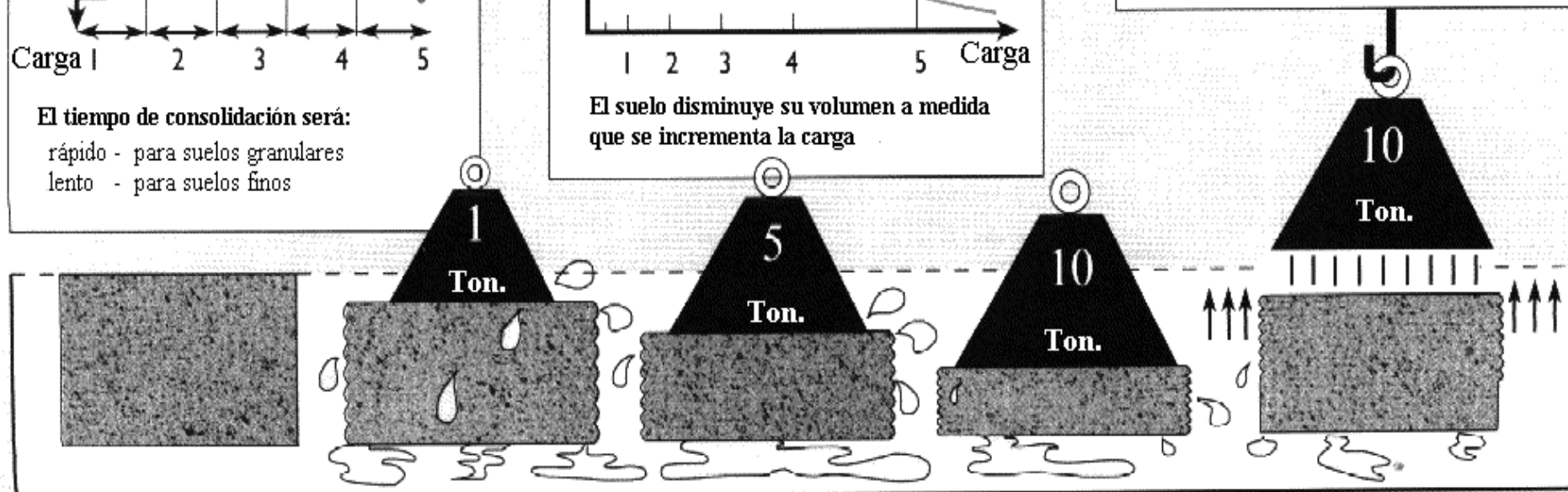


El tiempo de consolidación será:

rápido - para suelos granulares
lento - para suelos finos



El suelo disminuye su volumen a medida que se incrementa la carga



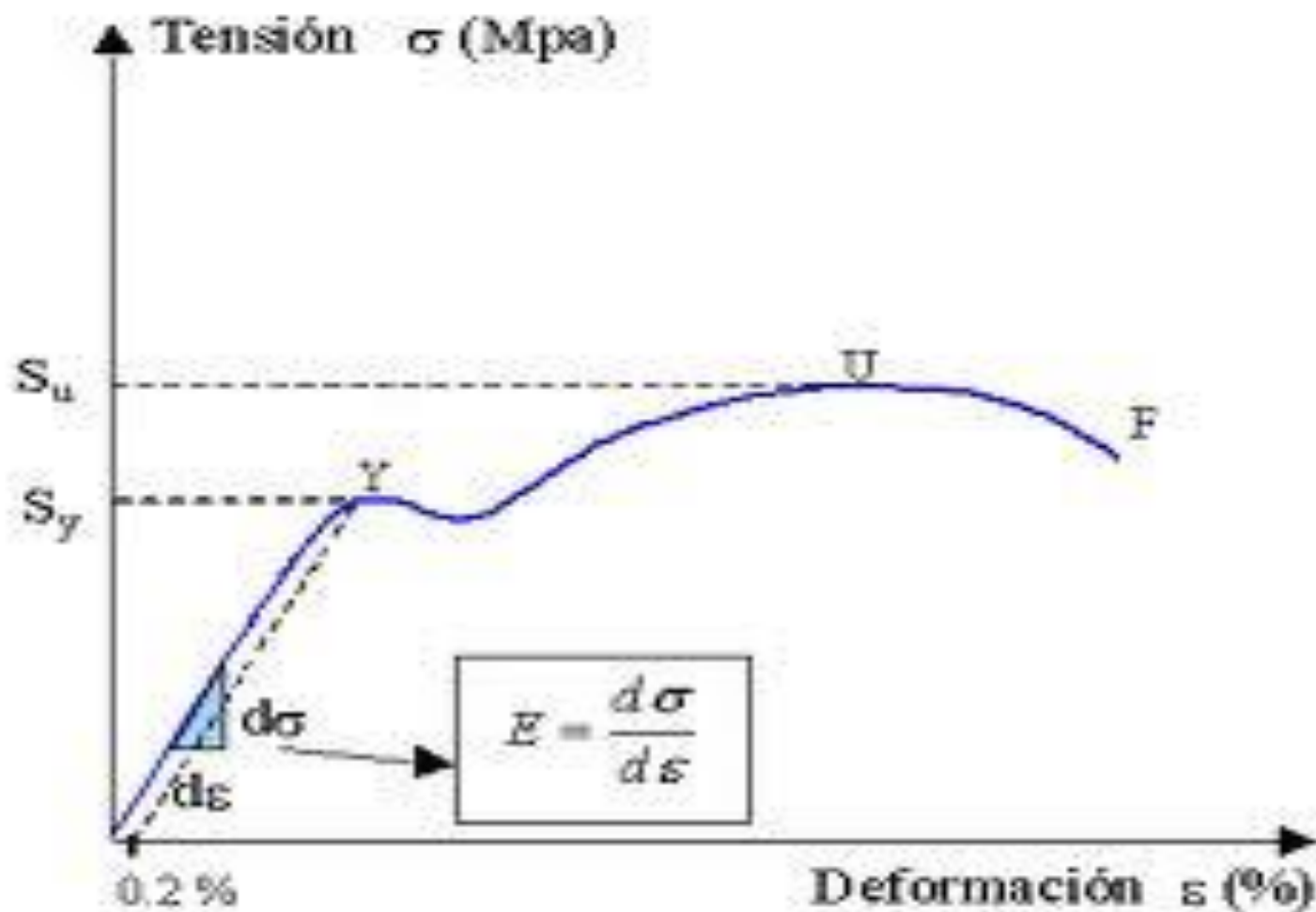
- **Rigidez (Deformabilidad)**

El comportamiento mecánico del esqueleto es efectivo y depende del estado tensional:

- Esto incluye:
 - Rigidez (Hertz),
 - Resistencia a la fricción (Coulomb) y
 - Dilatación / contracción al cizallamiento (Taylor).
- La resistencia a la fricción limita la tensión máxima que puede experimentar el suelo, en su estado de anisotropía.
- Otras propiedades también pueden depender de la tensión efectiva:
 - Conductividad térmica de suelos secos).

PROPIEDADES

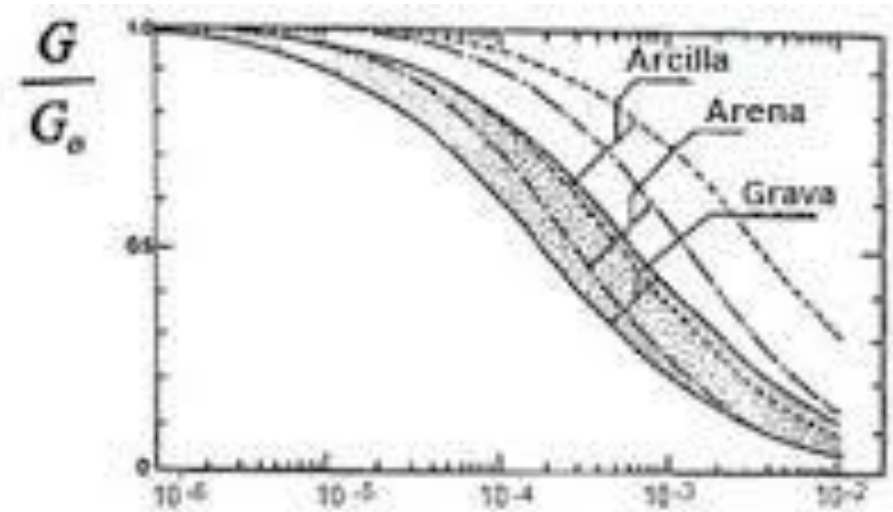
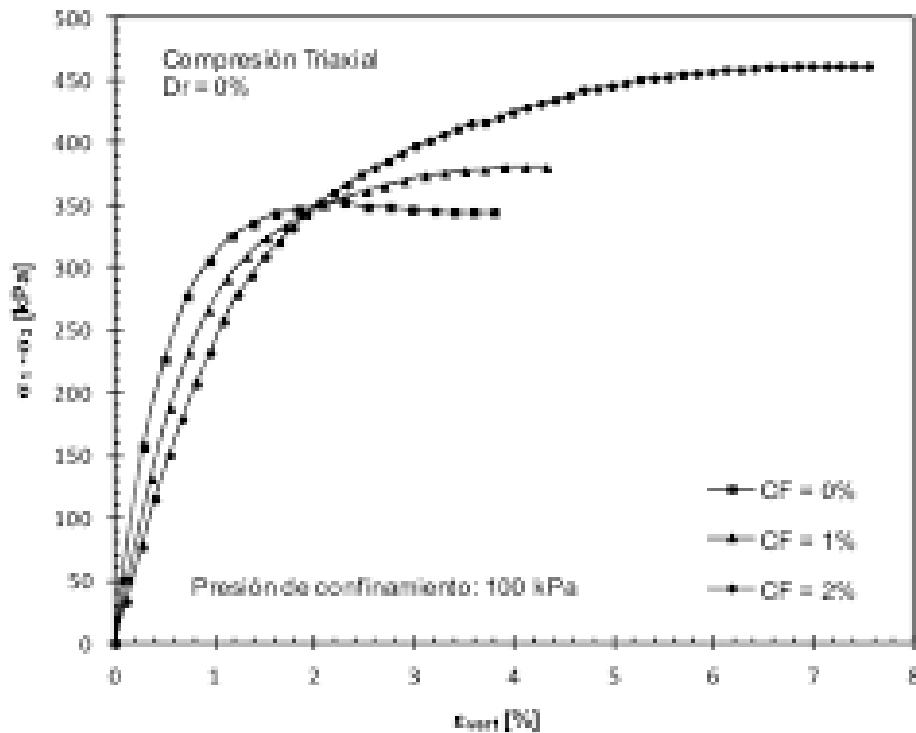
- Rigidez (Deformabilidad)





PROPIEDADES

• Rigidez (Deformabilidad)



• Rigidez (Deformabilidad)

Los *mecanismos de deformación* a nivel de partículas cambian con el *nivel de deformación*.

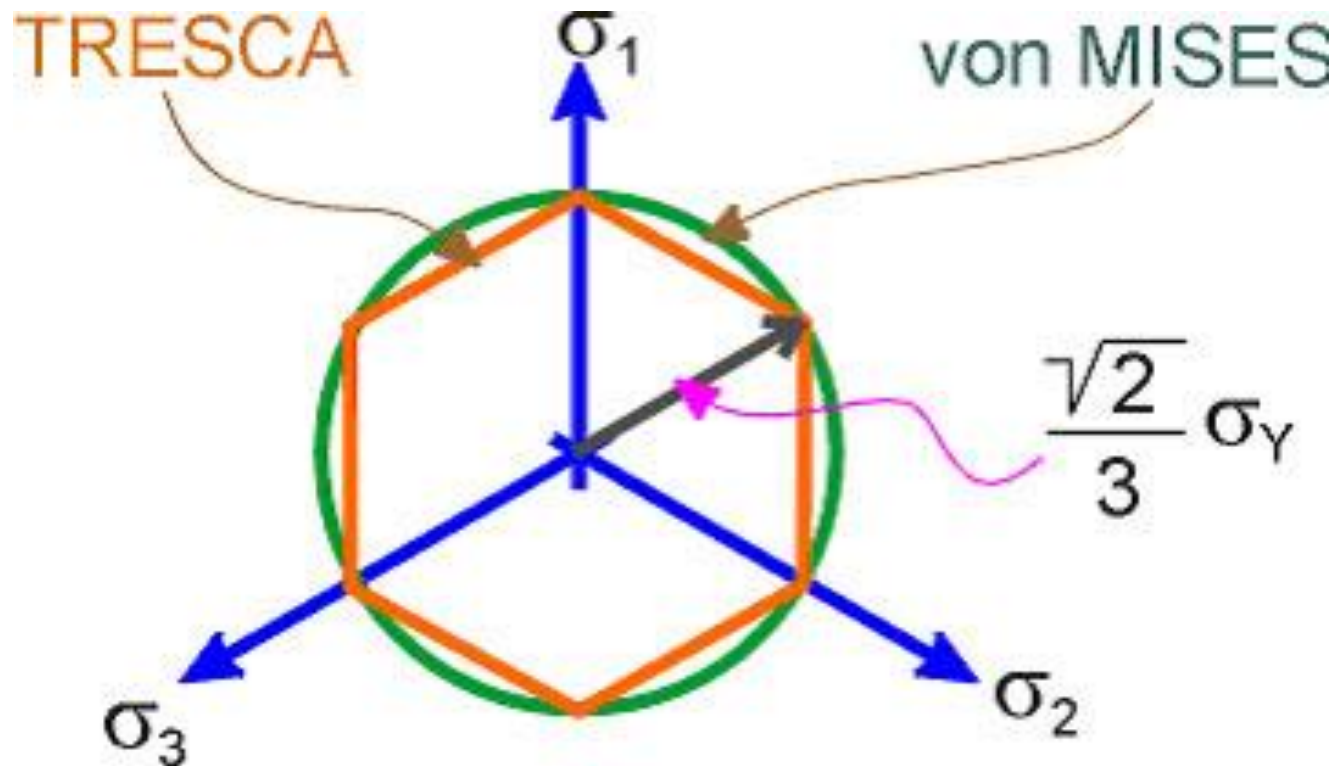
• *Bajas Deformaciones.*

- Estructura constante y las deformaciones de grano se concentran en los contactos entre partículas.
- El cambio de volumen, la generación de presión de poros y las pérdidas por fricción son mínimas.

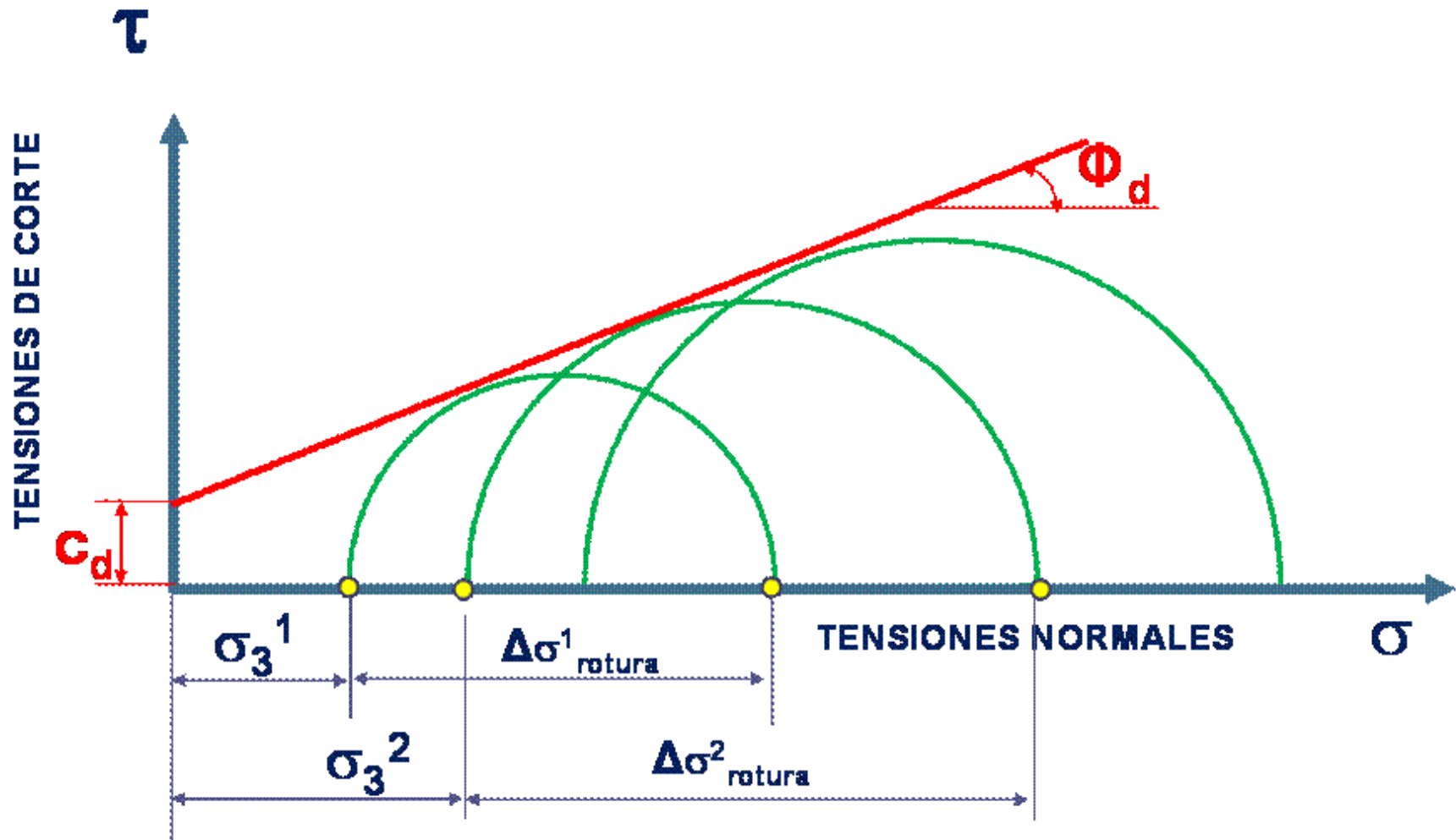
• *Altas Deformaciones.* Implica cambios en la estructura (el contacto de grano).

• *Umbral de tensión entre los dos regímenes.* Es más alto para partículas más pequeñas y en confinamiento más alto.

- Resistencia (falla en materiales homogéneos)



- Resistencia (al corte en suelos)





CONCLUSION

Los suelos (y rocas**) no son inertes y a menudo cambian dentro de la escala de tiempo de los proyectos de ingeniería.**

PROPIEDADES



UNC

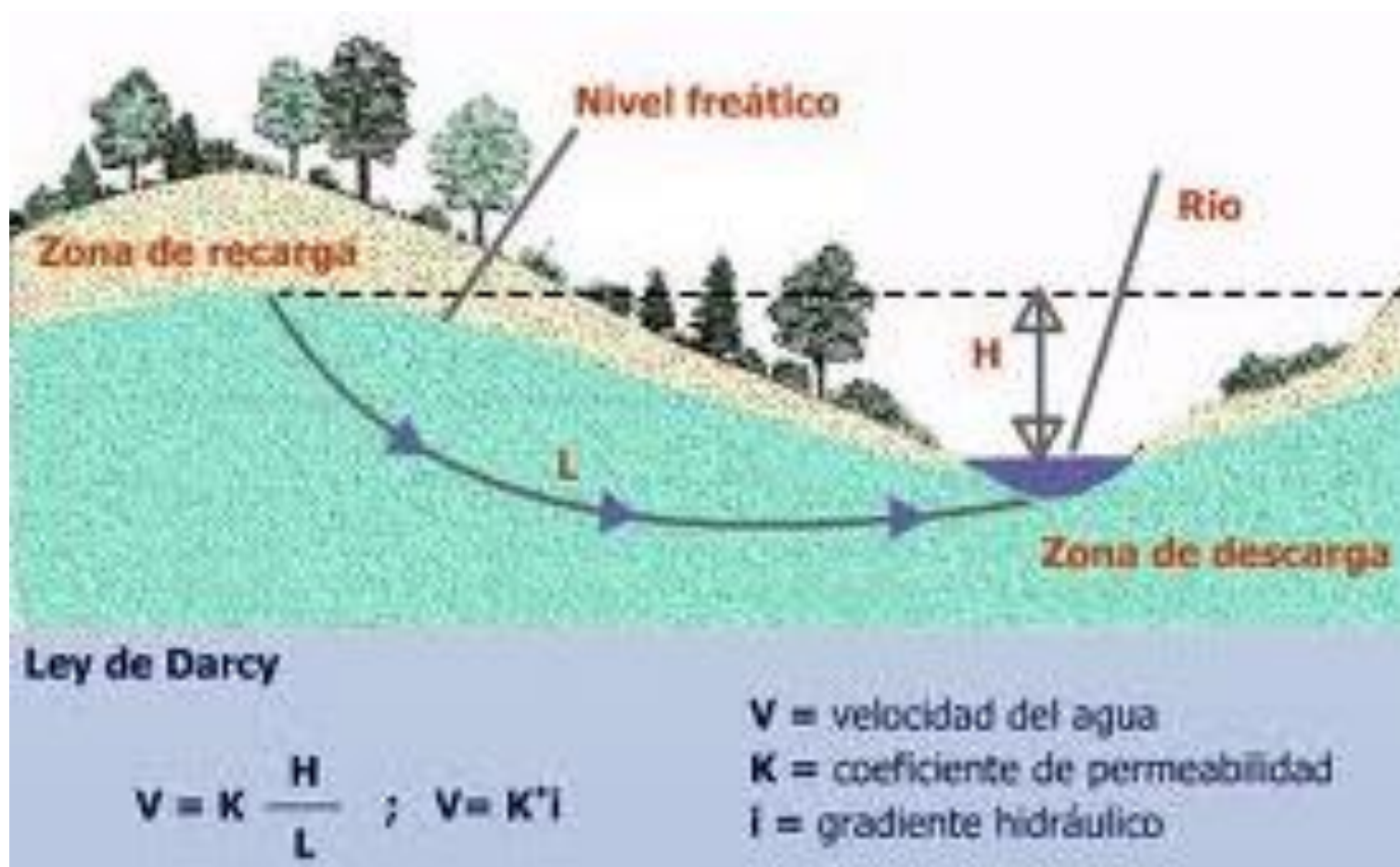
Universidad
Nacional
de Córdoba

- **Compactabilidad**



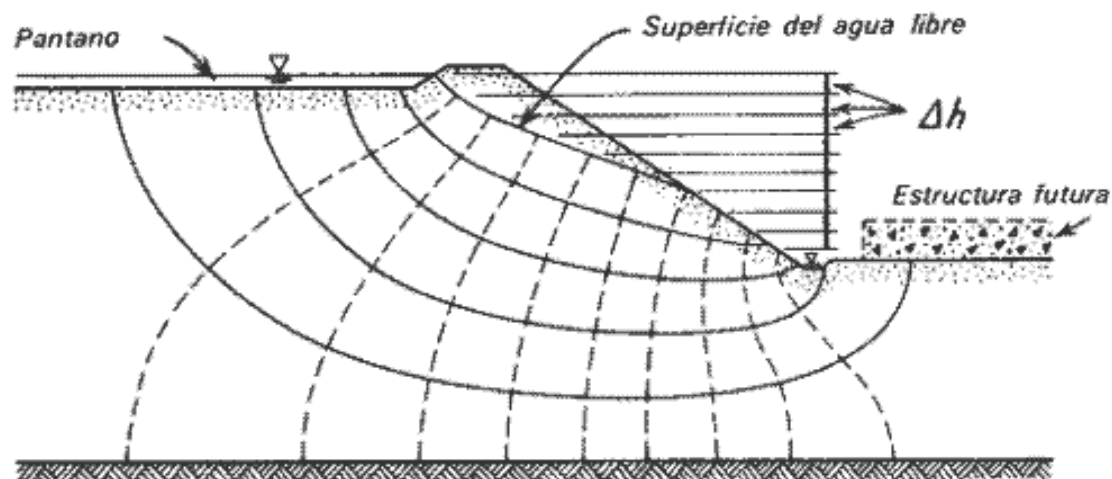
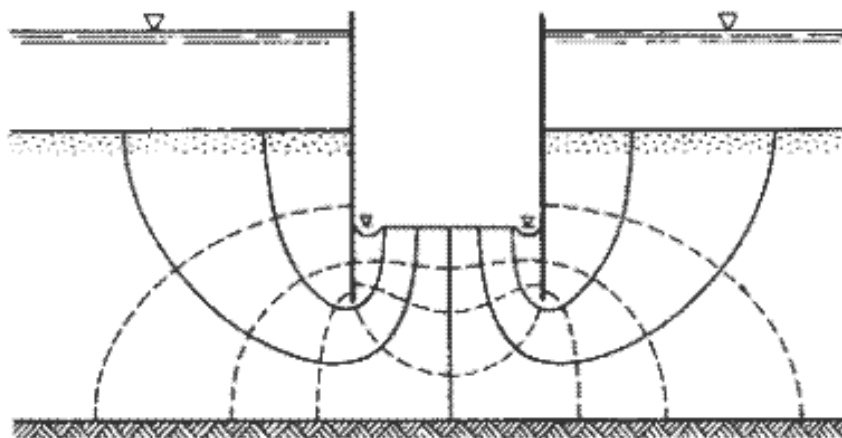
TEORIAS DE COMPORTAMIENTO

- Escurrimiento del agua en un medio poroso



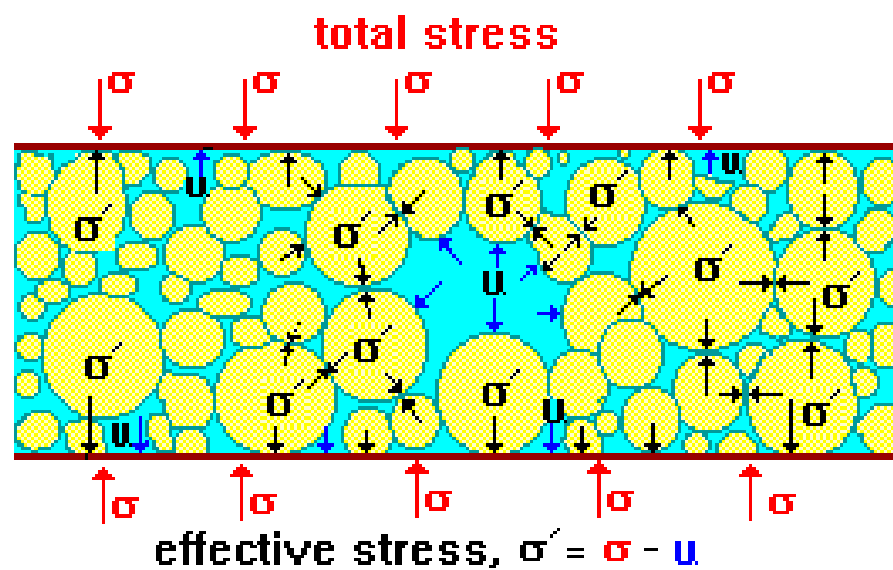
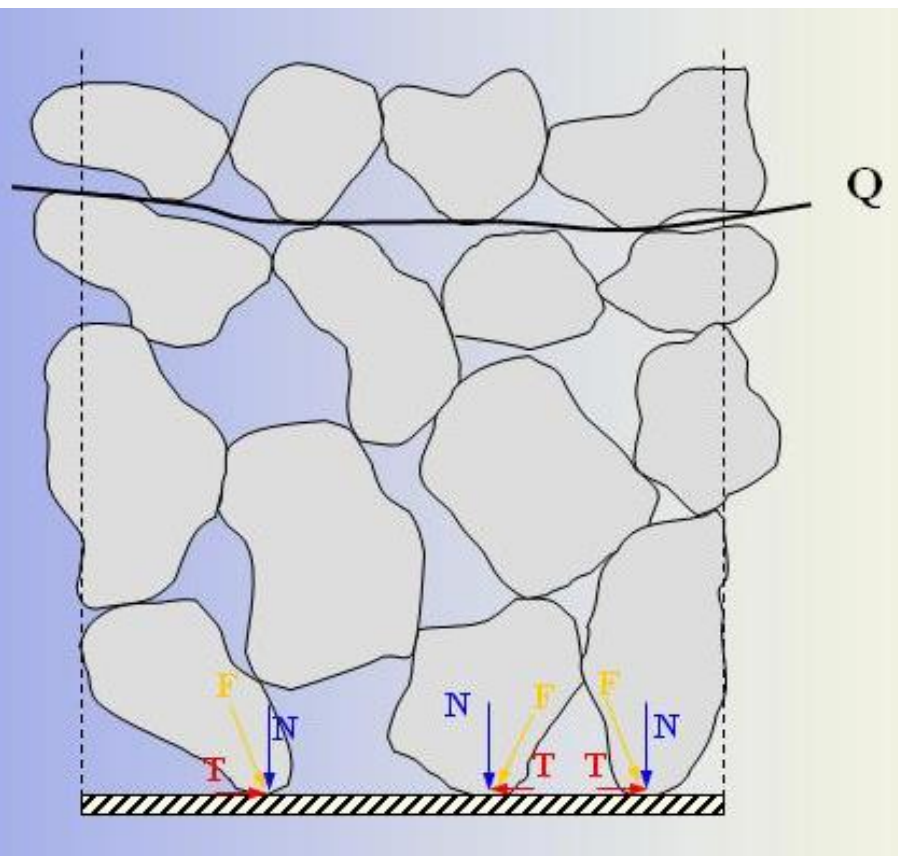
TEORIAS DE COMPORTAMIENTO

- **Escorrimento del agua en un medio poroso**



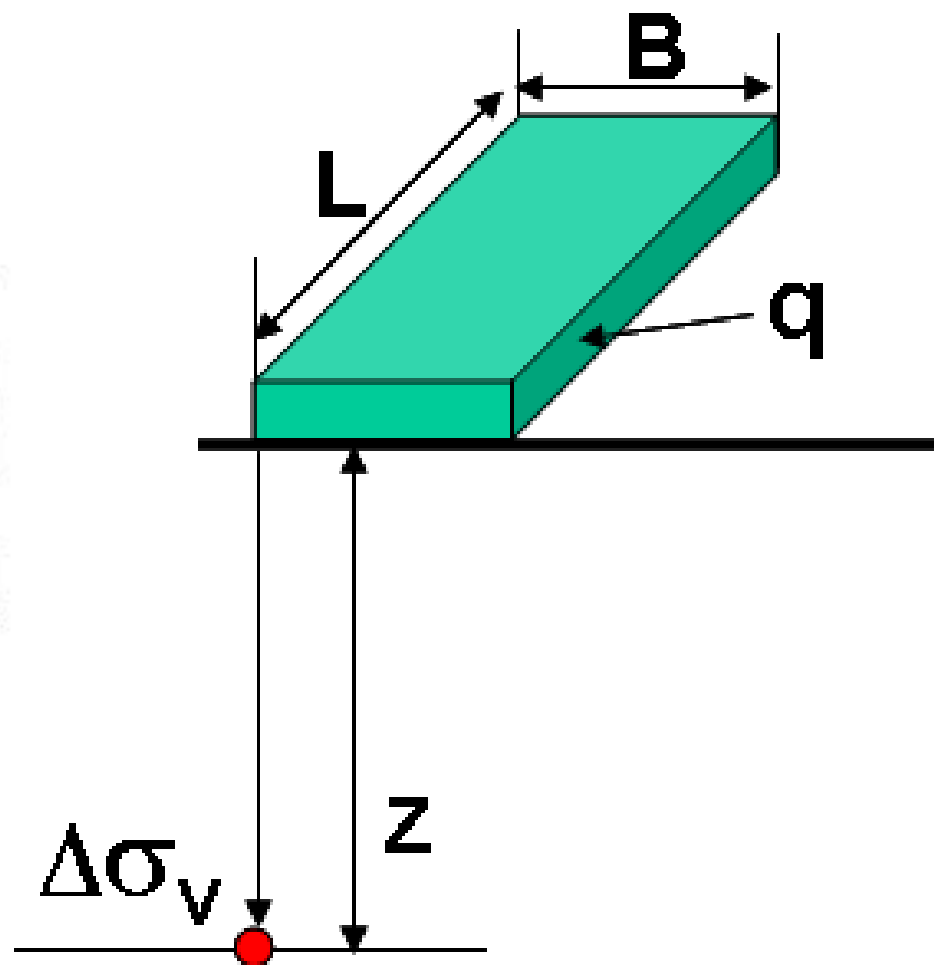
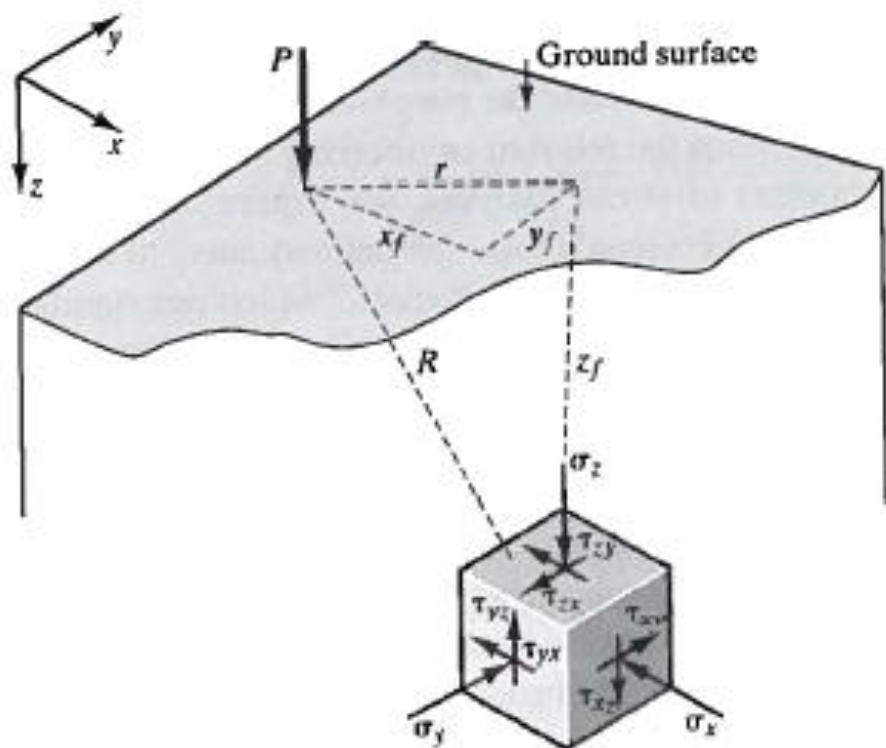
TEORIAS DE COMPORTAMIENTO

- Distribución de presiones



TEORIAS DE COMPORTAMIENTO

- Distribución de presiones



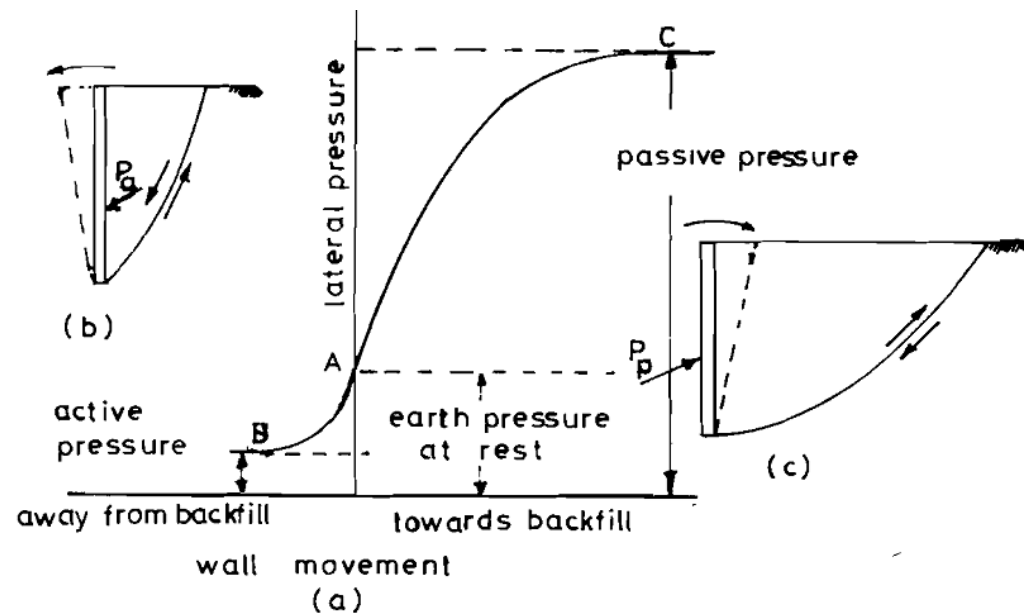
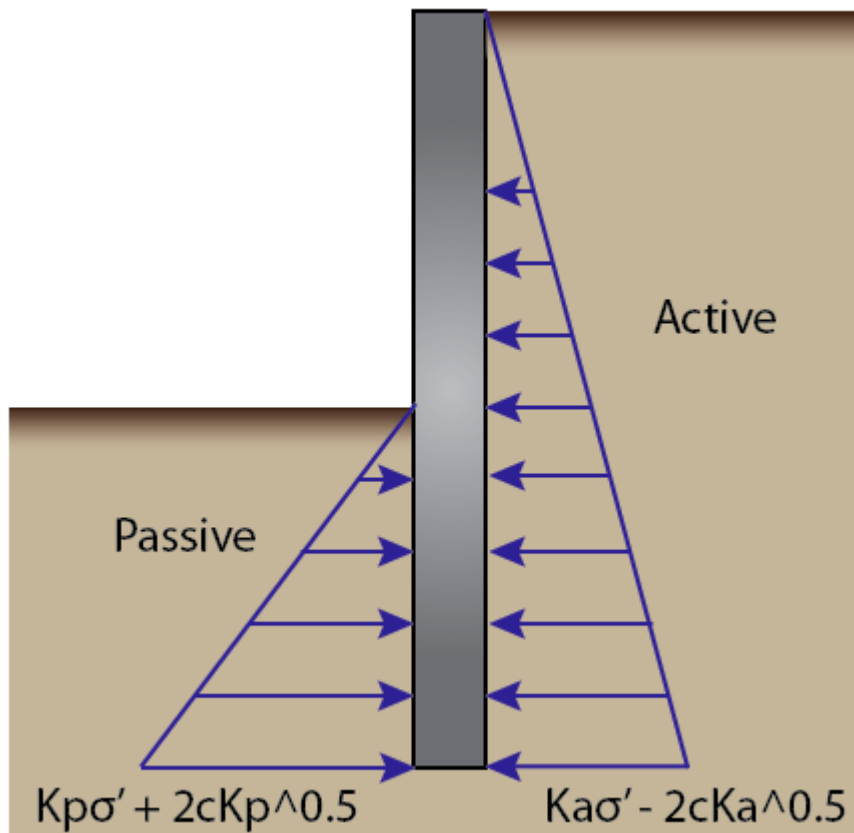
TEORIAS DE COMPORTAMIENTO

- Empuje activo, empuje pasivo



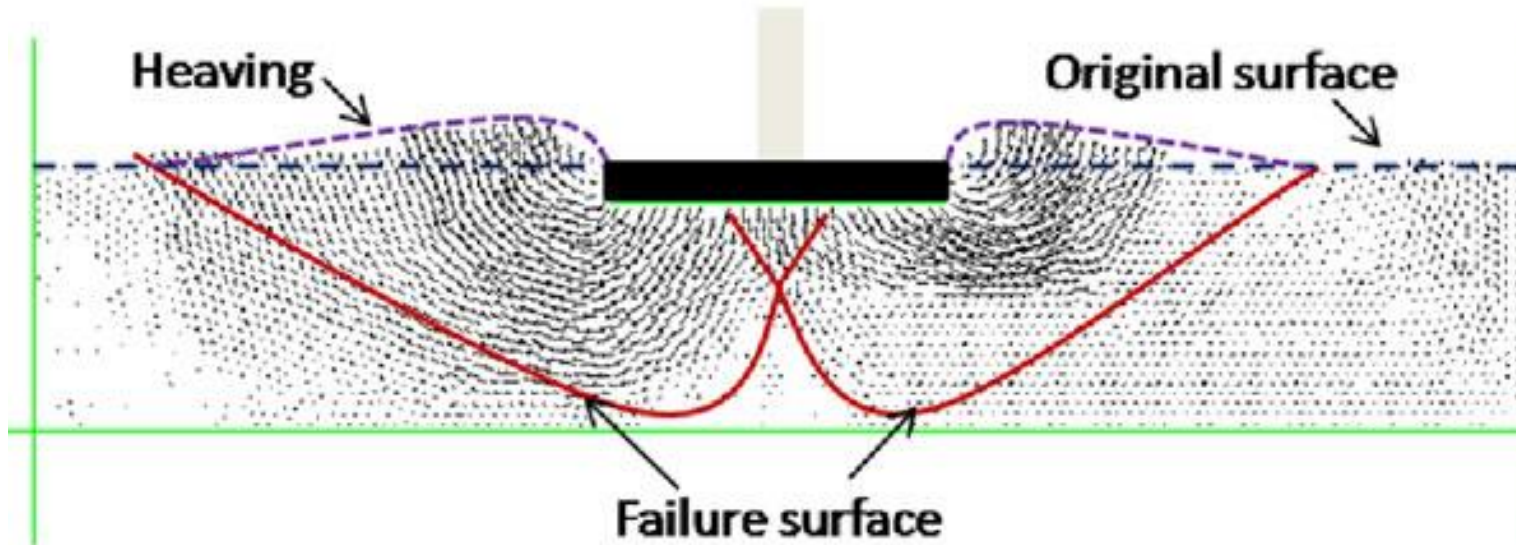
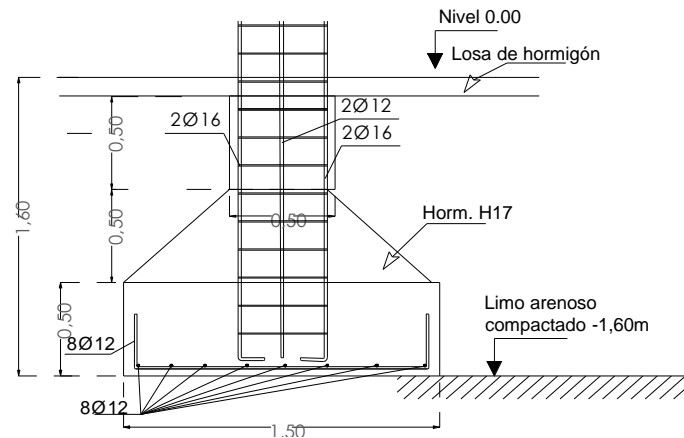
TEORIAS DE COMPORTAMIENTO

- Empuje activo, Empuje pasivo

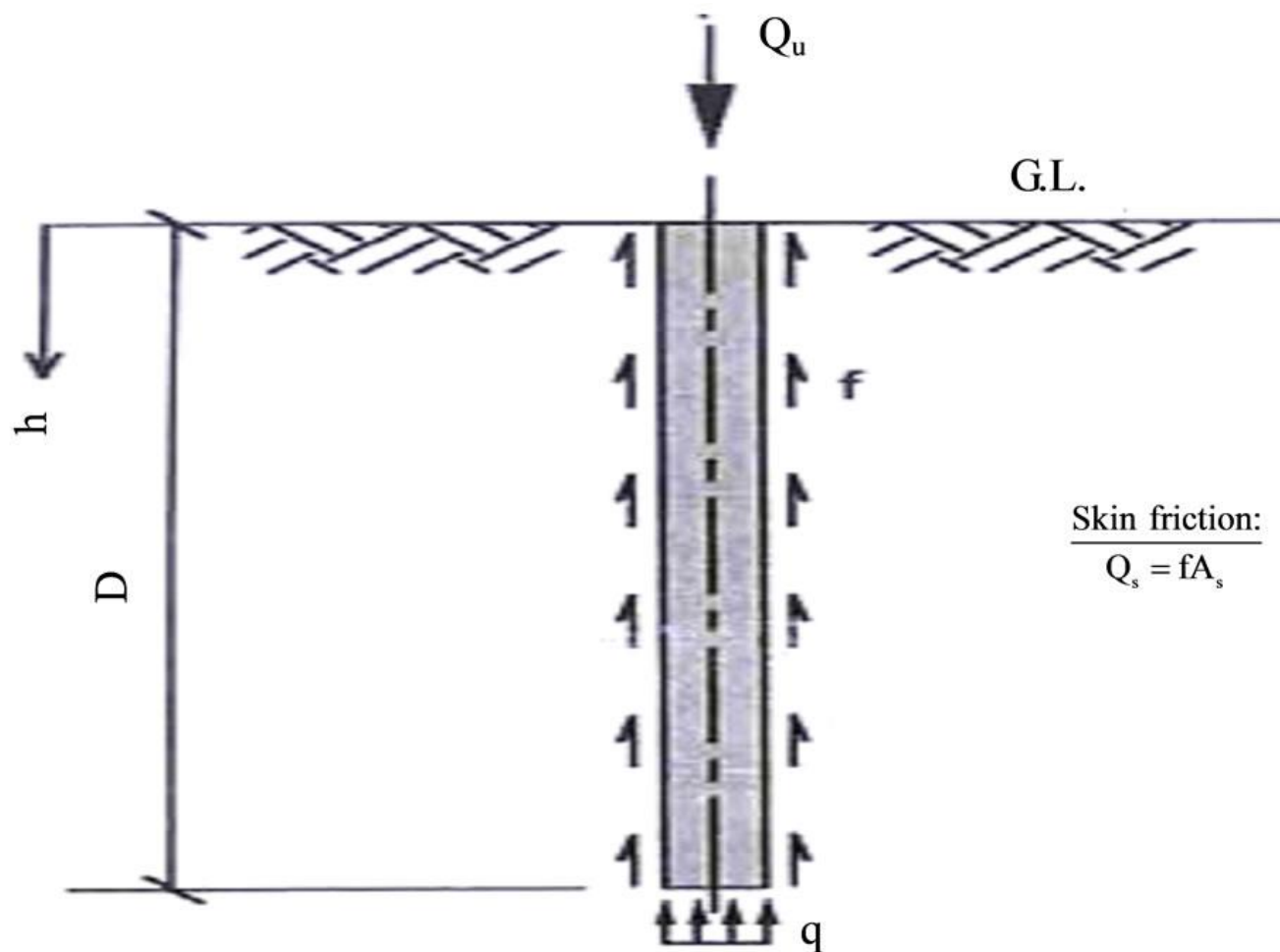


TEORIAS DE COMPORTAMIENTO

- Capacidad de Carga



TEORIAS DE COMPORTAMIENTO



Skin friction:

$$Q_s = fA_s$$

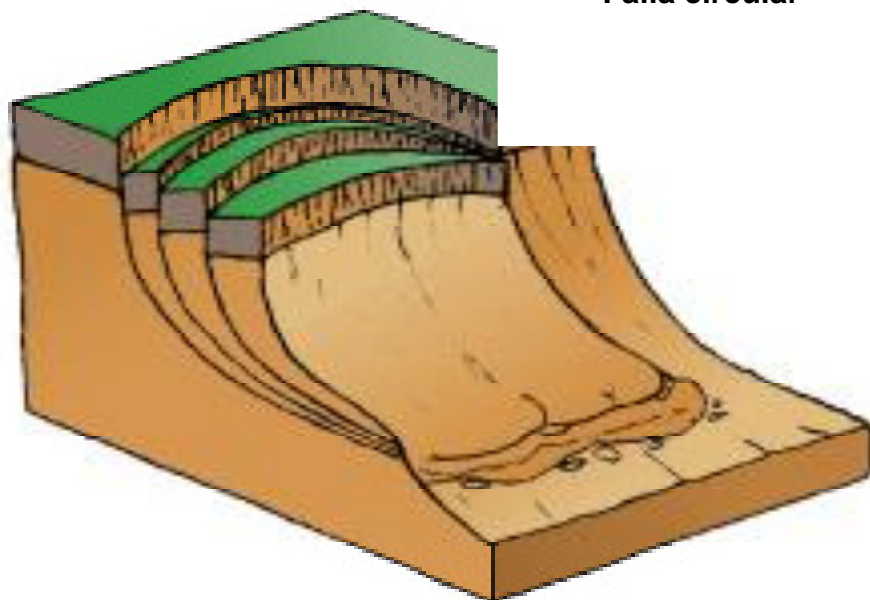
End bearing:

$$Q_b = qA_b$$

TEORIAS DE COMPORTAMIENTO

- **Estabilidad de taludes**

Falla circular





UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

TEORIAS DE COMPORTAMIENTO

- **Estabilidad de taludes**

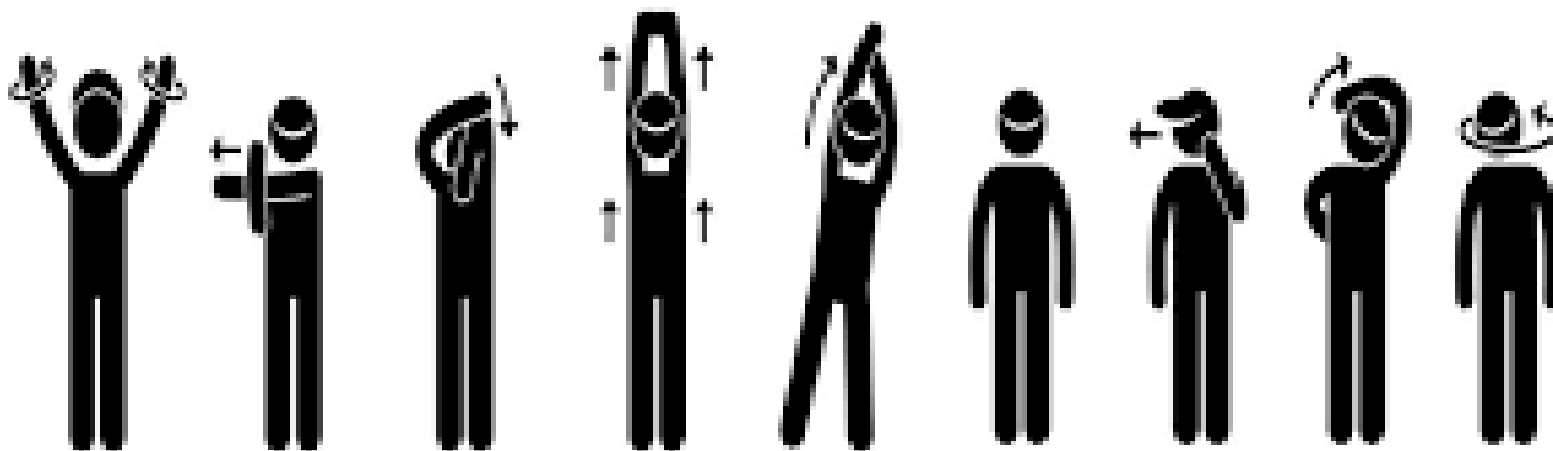




UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

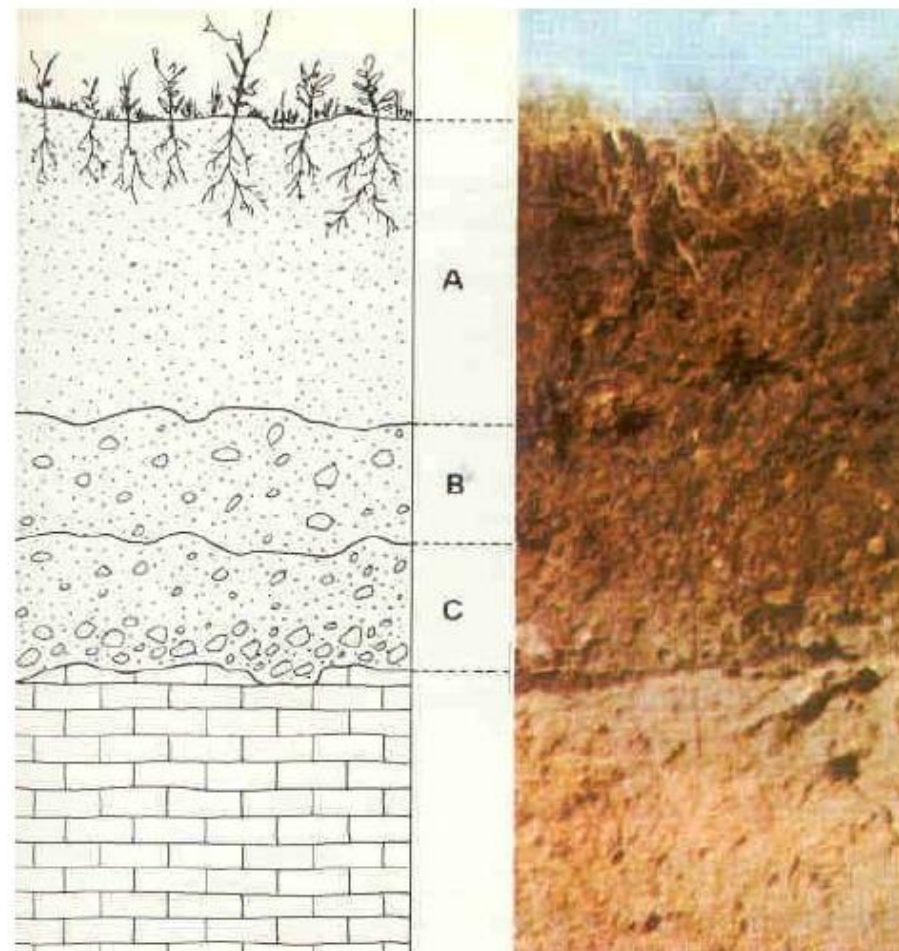
PAUSA



INTEGRACION Y REPASO DE CONCEPTOS

TIPOS DE SUELOS

- SUELOS RESIDUALES



INTEGRACION Y REPASO DE CONCEPTOS

TIPOS DE SUELOS

- **SUELOS RESIDUALES**
- **SEDIMENTARIOS**
 - AGUA
 - ALUVIALES
 - COLUVIALES
 - LACUSTRES
 - MARINOS



INTEGRACION Y REPASO DE CONCEPTOS

TIPOS DE SUELOS

- **SUELOS RESIDUALES**
- **SEDIMENTARIOS**
 - AGUA
 - ALUVIALES
 - COLUVIALES
 - LACUSTRES
 - MARINOS
 - VIENTO
 - EOLICOS-DUNAS



INTEGRACION Y REPASO DE CONCEPTOS

TIPOS DE SUELOS

- **SUELOS RESIDUALES**
- **SEDIMENTARIOS**
 - AGUA
 - ALUVIALES
 - COLUVIALES
 - LACUSTRES
 - MARINOS
 - VIENTO
 - EOLICOS-DUNAS
- **SENSIBLES AL AGUA**
 - EXPANSIVOS
 - COLAPSABLES
 - ARCILLAS SENSITIVAS



Clasificación de los suelos

Primera división de los suelos, según el tamaño de los granos

Atendiendo a los distintos comportamientos de los suelos según su tamaño, se hace una primera clasificación de los mismos en:

Suelos Gruesos: Partículas mayores a los $74\ \mu$ (0,074 mm)

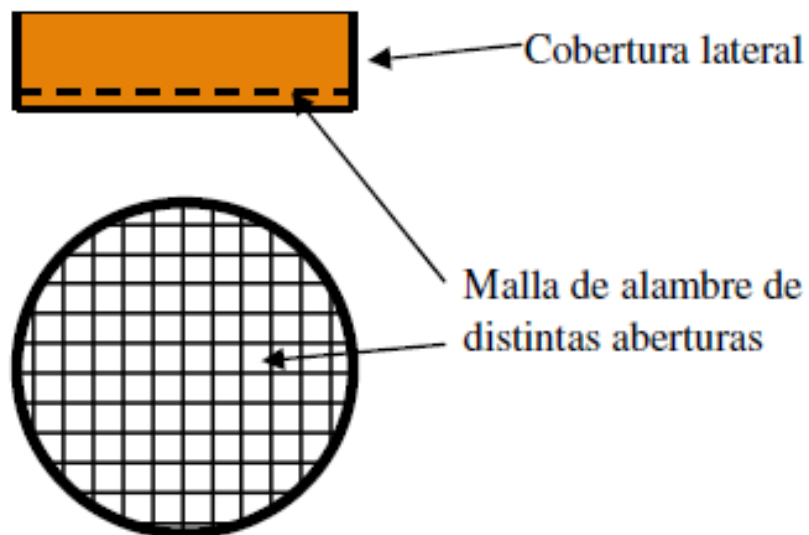
Suelos Finos: Partículas menores a los $74\ \mu$

Suelos Gruesos: Las fuerzas que gobiernan su comportamiento son fundamentalmente las de gravedad. (gravas y arenas)

Suelos Finos: Las fuerzas que gobiernan su comportamiento son fundamentalmente en las arcillas, las de atracción y repulsión de origen físico - químicas. (arcillas y limos)

Ensayo granulométrico, Tamices

Tamices más utilizados en la práctica



Denominación del tamiz	Abertura mm
4"	100,0
3 ½"	88,90
3"	76,20
2 ½"	63,50
2"	50,80
1 ¾"	44,45
1 ½"	38,10
1 ¼"	31,75
1"	25,40
¾"	19,05
½"	12,70
¼"	6,35
1/8"	3,17

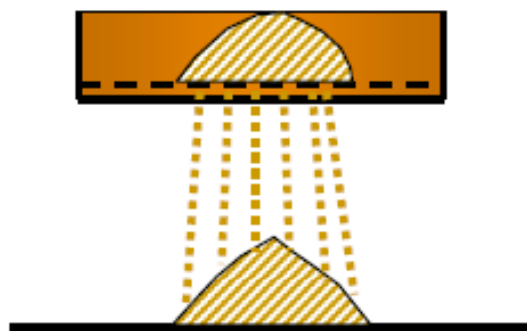
Denominación del tamiz	Abertura mm
Nº 4	4,75
Nº 8	2,36
Nº 10	2,00
Nº 16	1,18
Nº 20	0,850
Nº 30	0,600
Nº 40	0,425
Nº 60	0,250
Nº 100	0,150
Nº 200	0,075
Nº 270	0,053
Nº 450	0,032

Ensayo granulométrico



Suelo seco a pasar por el tamiz

Peso seco total conocido " $W_{s_{Total}}$ "



Peso de suelo seco retenido por el tamiz $W_{s_{Ret}}$

Peso de suelo seco que pasa el tamiz $W_{s_{Pasa}}$

Porcentaje retenido

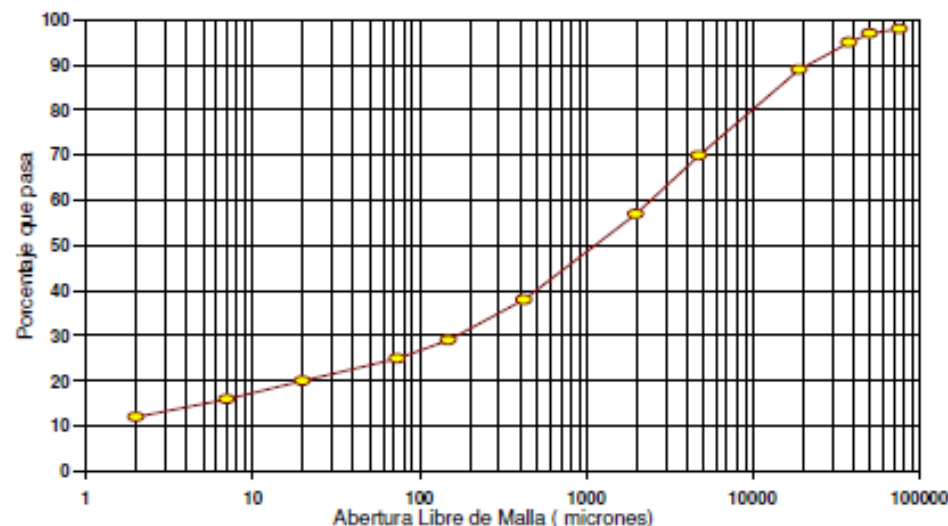
$$\% Ret. = \frac{W_{s_{Ret}}}{W_{s_{Total}}} \cdot 100$$

Porcentaje que pasa

$$\% Pasa = \frac{W_{s_{Pasa}}}{W_{s_{Total}}} \cdot 100$$

$$\% Pasa = 100 - \% Retenido$$

CURVA GRANULOMETRICA



Granulometría de las partículas más pequeñas

Análisis hidrométrico o método del hidrómetro (ASTM D-422-63)

Sirve para conocer la composición granulométrica aproximada de las partículas que pasan por el tamiz # 200 de (0,075 mm de abertura de malla hasta aproximadamente el tamaño de $1\mu = 0,001$ mm).

El método es absolutamente aproximado y utiliza la Ley de Stokes que define la velocidad de caída de una esfera de diámetro “D” dentro de un líquido de viscosidad “ μ ” conocida.

$$v = \frac{2 \cdot \gamma_s - \gamma_w}{18 \mu} D^2 \qquad \frac{z}{t} = \frac{2 \cdot \gamma_s - \gamma_w}{18 \mu} D^2$$

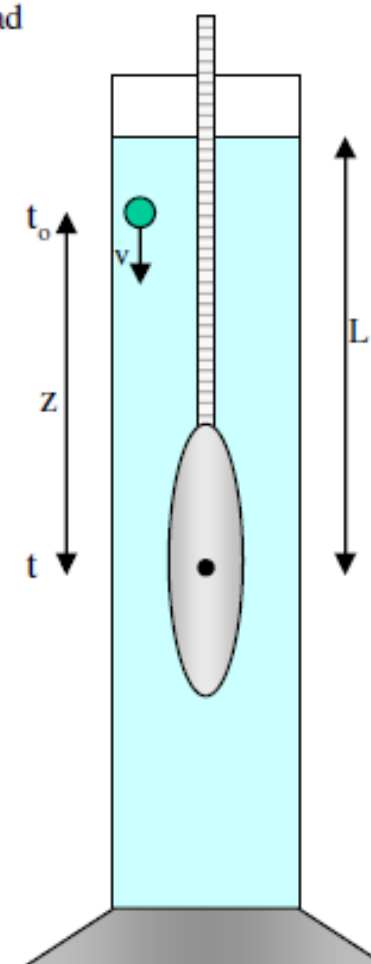
Donde: $\gamma_s = 2,65 \text{ gr/cm}^3$; $\gamma_w = 1 \text{ gr/cm}^3$; $\mu = 9,12 \times 10^{-6} \text{ gr.seg/cm}^2$ por lo tanto a un tiempo “t” y a una profundidad L no se encontrarán partículas mayores a D

$$D = Cte \cdot \sqrt{\frac{L}{t}} \text{ (mm)}$$

Por lo tanto, conociendo para distintos tiempos la concentración de la solución suelo-agua, podremos obtener el diámetro de las partículas y el peso total de las mismas y con ello obtener un punto en el gráfico granulométrico.

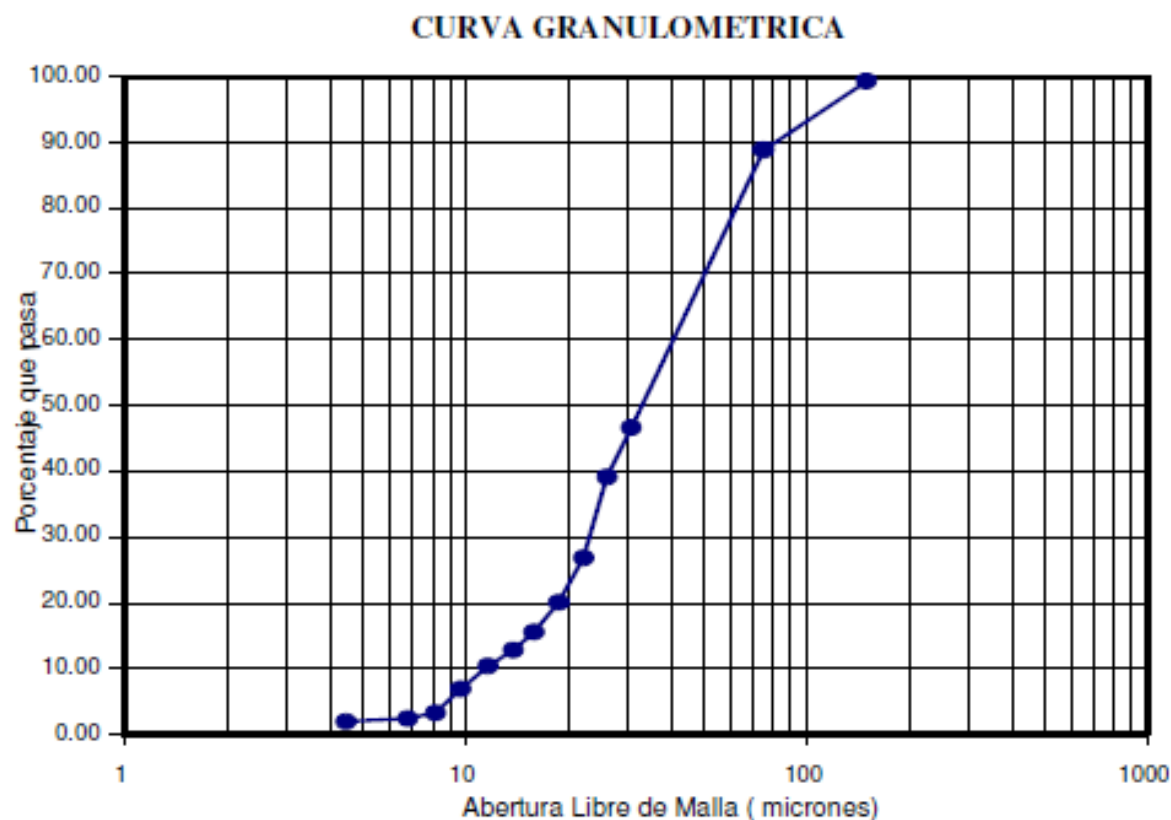
La ley de Stokes es aplicable solamente a partículas esféricas por lo tanto los diámetros medidos son “diámetros equivalentes” a partículas de suelos que sedimentan a la misma velocidad que una esfera del mismo peso específico.

Este procedimiento es aplicable solamente a partículas de limo 75μ a 2μ ya que partículas mayores pueden producir turbulencias y las menores de 2μ pueden no sedimentar porque los efectos gravitatorios quedan superados por los efectos electroquímicos. (movimiento browniano)



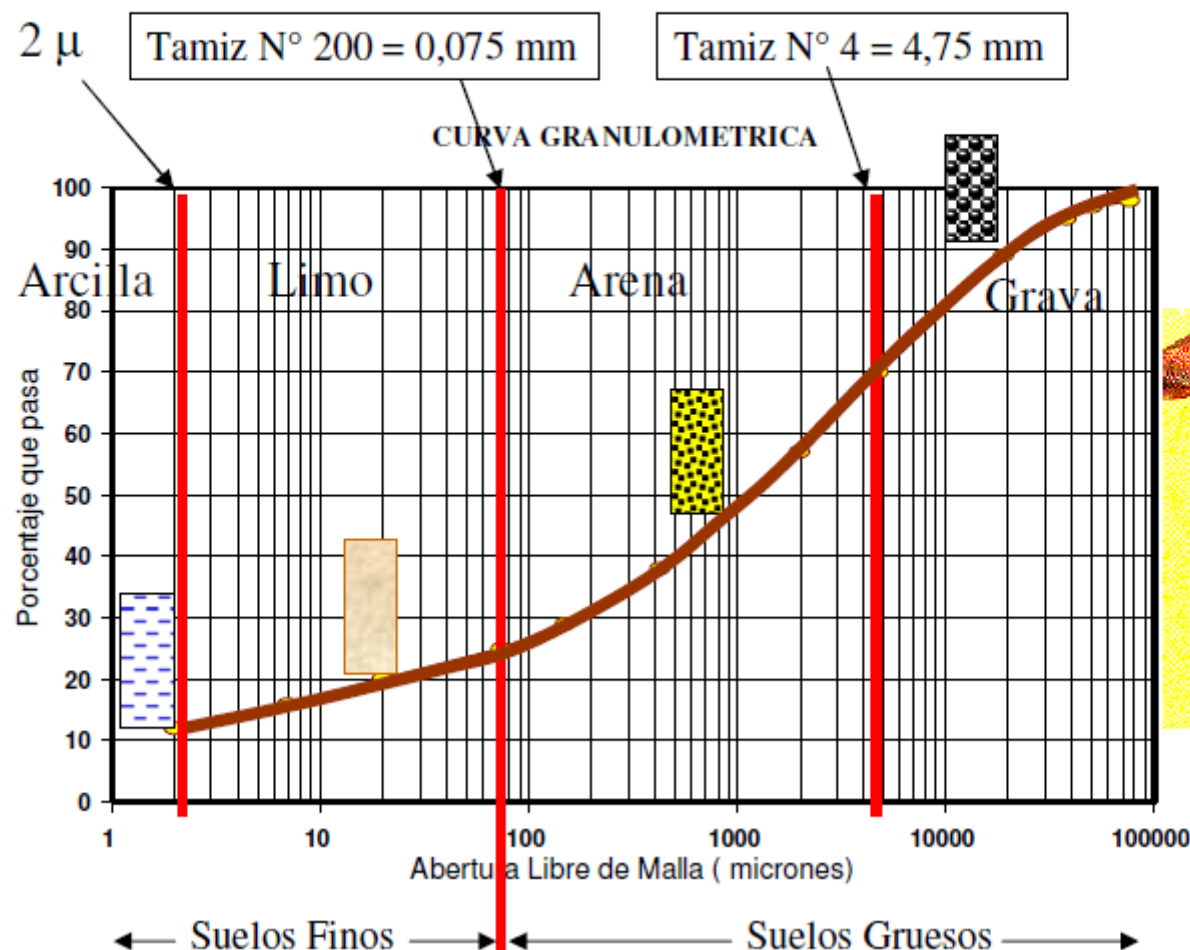
Resultado de un ensayo hidrométrico

Diámetro μ	Porcentaje pasa %
150.0	99.3
75.0	80.0
30.7	46.7
26.1	39.2
22.2	26.8
18.9	20.1
15.9	15.6
13.9	12.9
11.7	10.4
9.7	6.9
8.2	3.2
6.8	2.5
4.5	2.0



Clasificación de suelos

1°) por tamaños: curva granulométrica



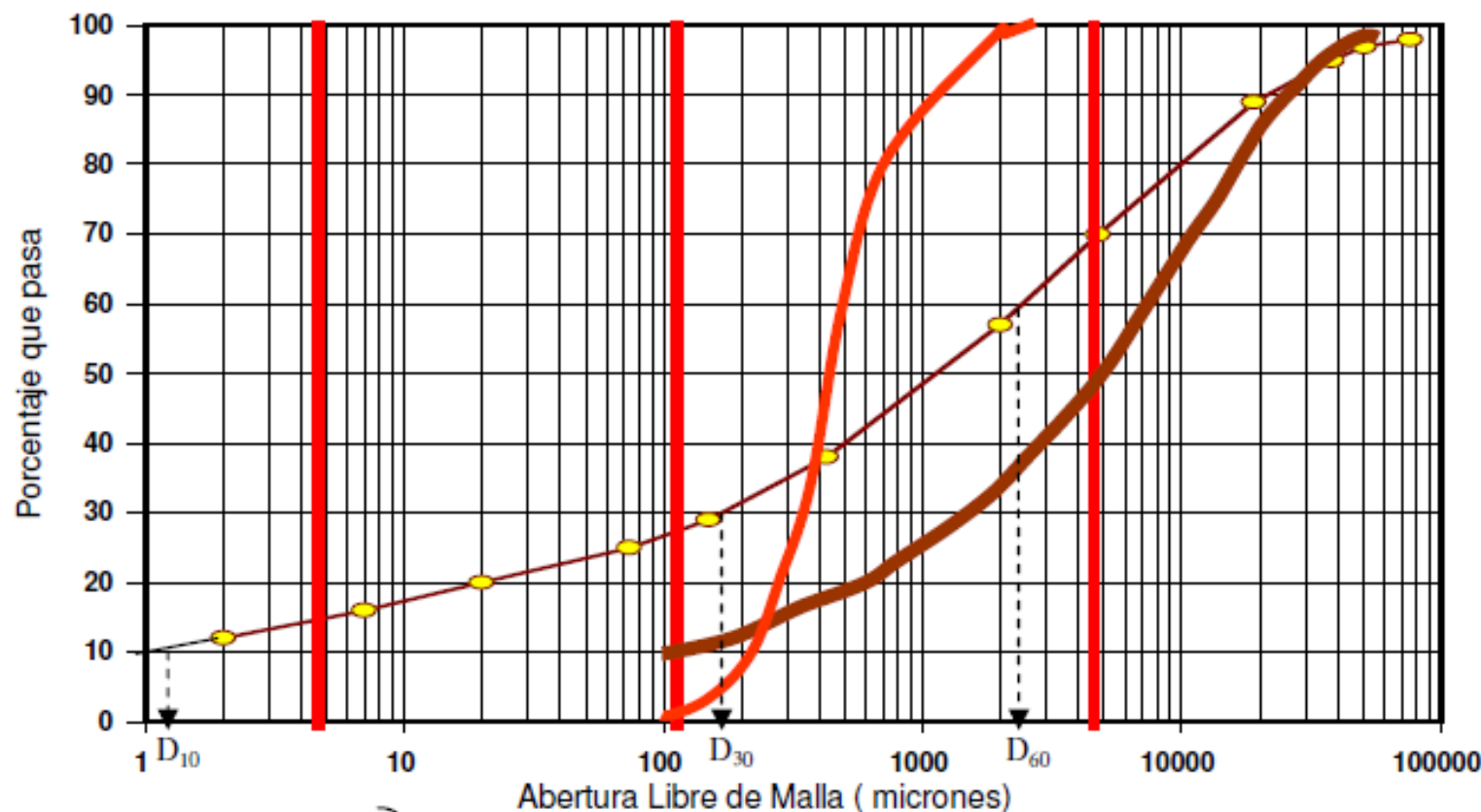
$$C_u = D_{60} / D_{10}$$

Coeficiente de uniformidad

$$C_c = (D_{30})^2 / (D_{10} \cdot D_{60})$$

Coeficiente de curvatura

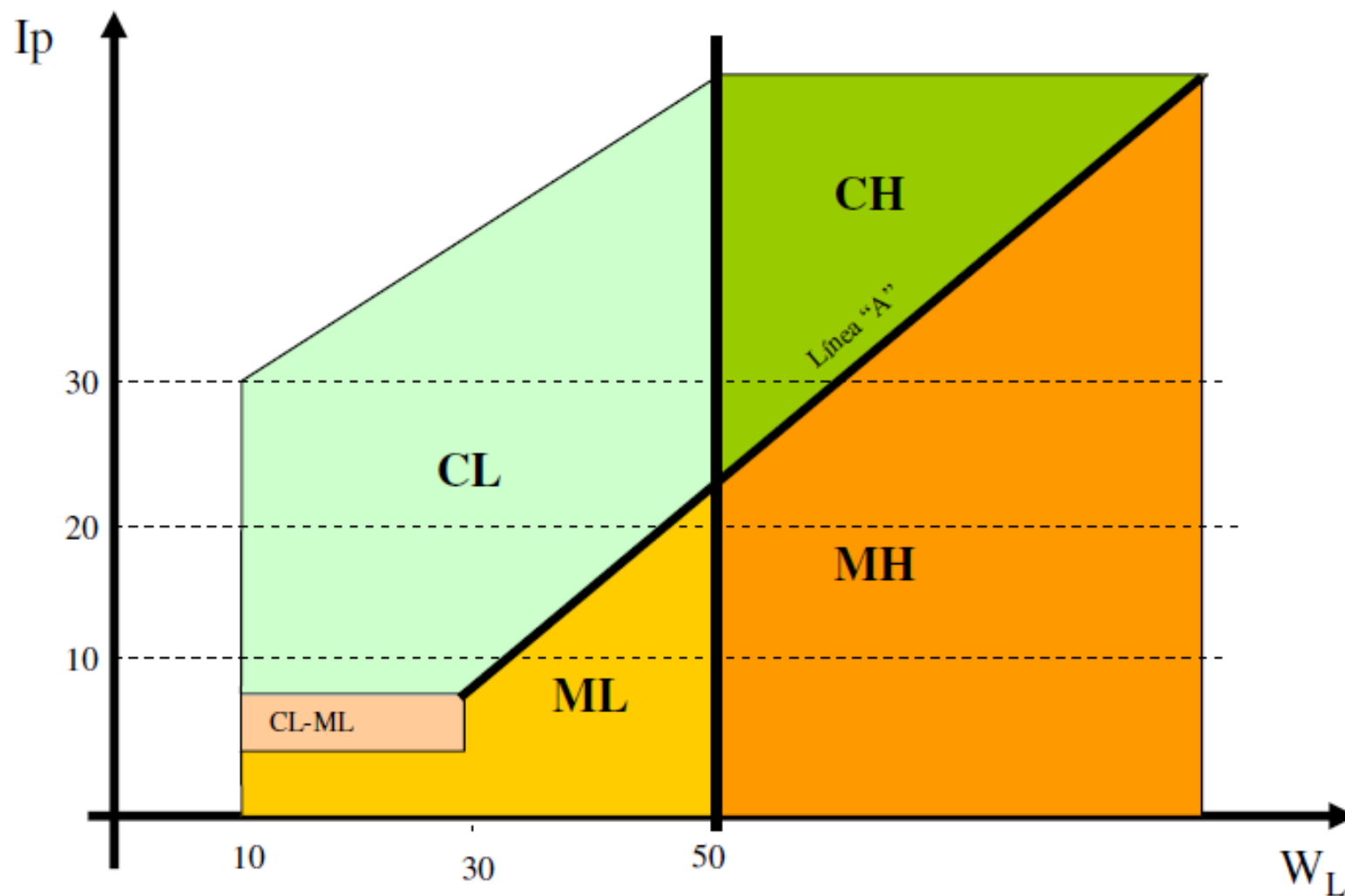
CURVA GRANULOMETRICA


Suelos granulares
bien graduados

 $1 < C_c < 3$
 $C_u > 4$ Gravas

 $C_u > 6$ Arenas

Carta de clasificación de Suelos Finos (SUC)



Clasificación de los suelos gruesos y finos

Suelos gruesos

(Pasa # 200 < 50%)

Gravas más del 50 % de la fracción gruesa es retenida en el # N° 4 (Pasa # 4 < 50%)



< 50%

(Fracción gruesa: Es la retenida en el # N° 200)

Arenas más del 50 % de la fracción gruesa pasa el # N° 4 (Pasa # 4 > 50%)



> 50%

Suelos finos

(Pasa # 200 > 50%)

Arcillas y limos
con $W_L > 50 \%$



Arriba de la línea A: “CH”

Debajo de la línea A: “MH”

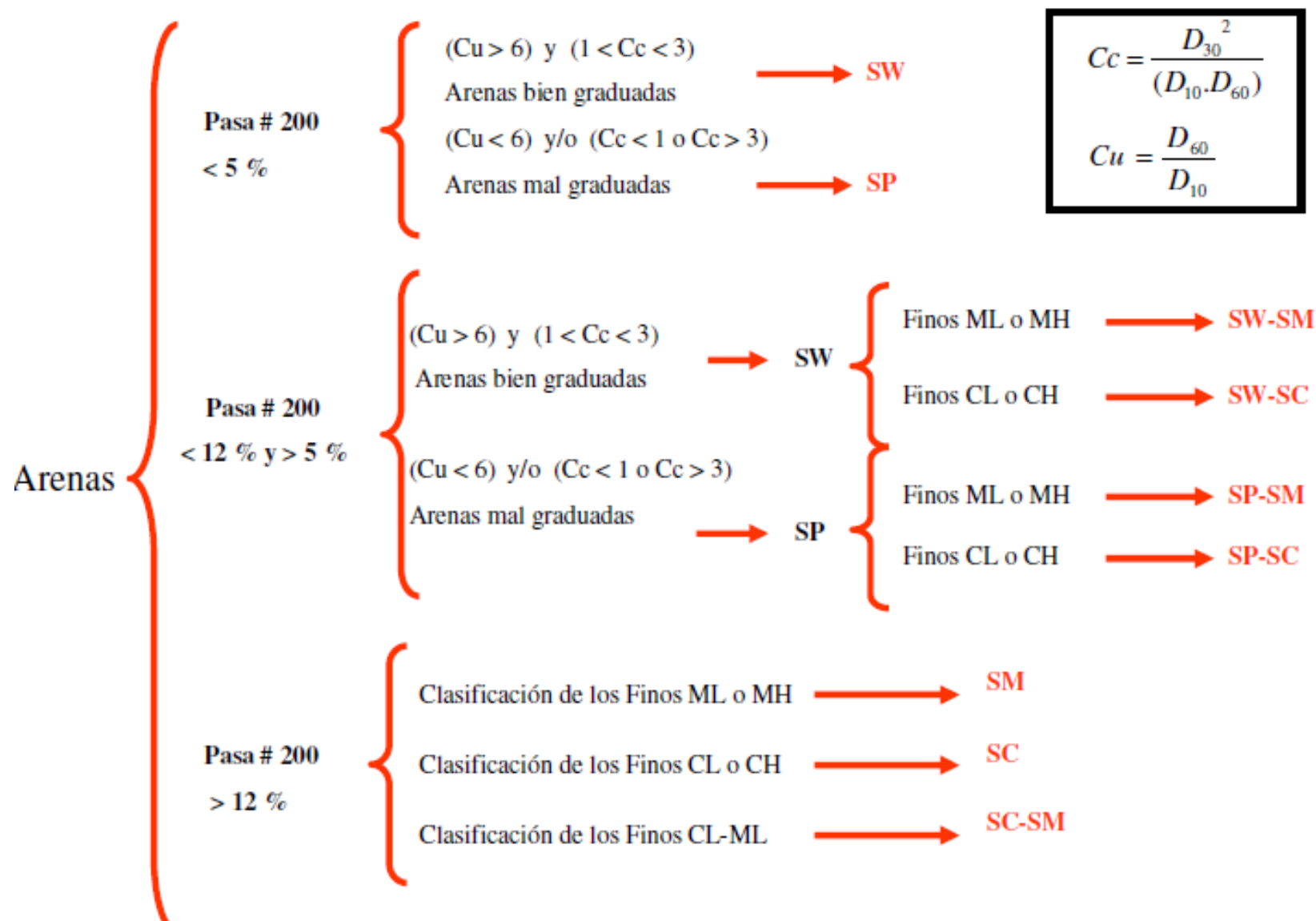
Arcillas y limos
con $W_L < 50 \%$



Arriba de la línea A: “CL”

Debajo de la línea A: “ML” o
“CL-ML”

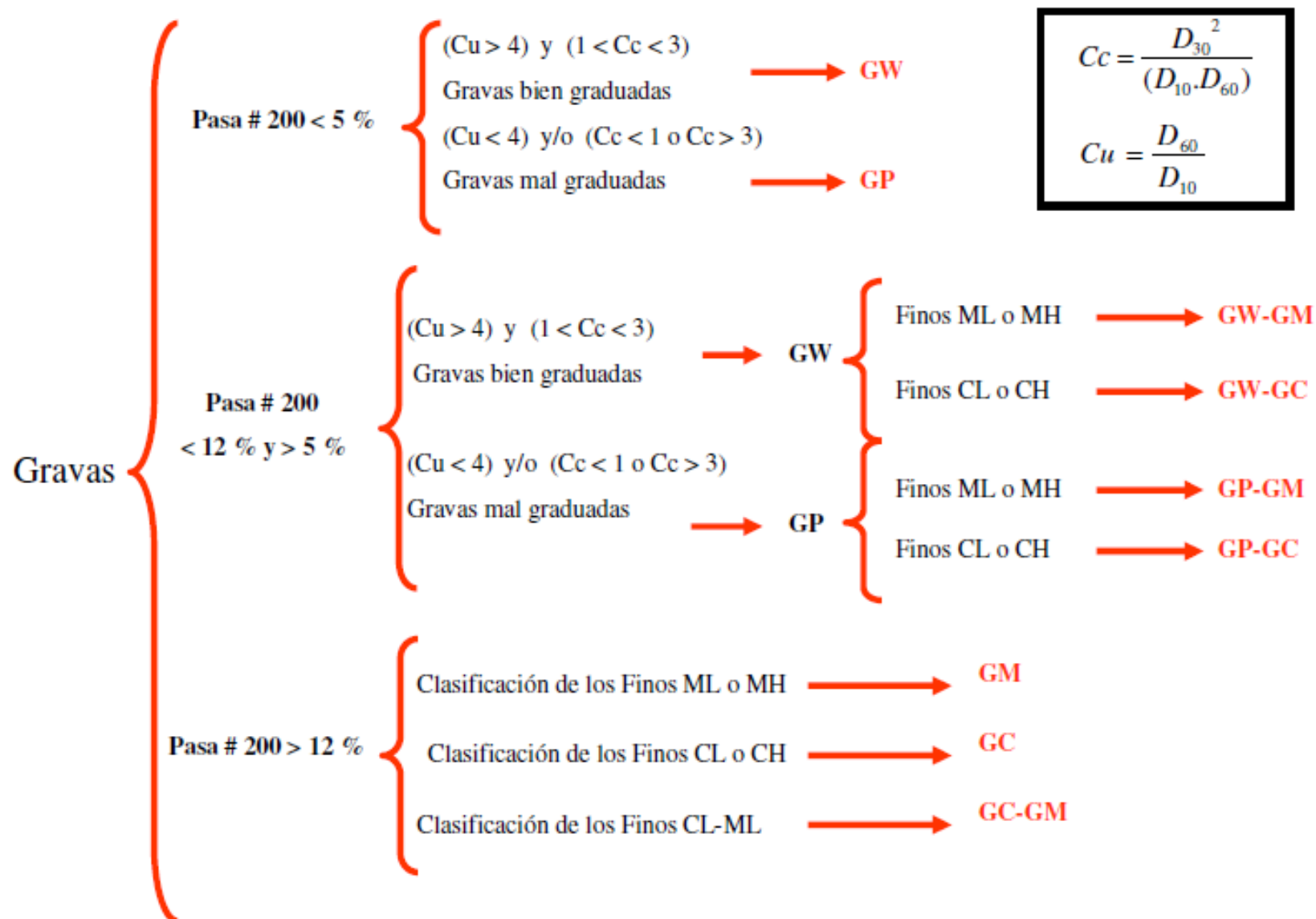
Clasificación de las arenas



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

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

Clasificación de las gravas



GRAVAS



ARENAS

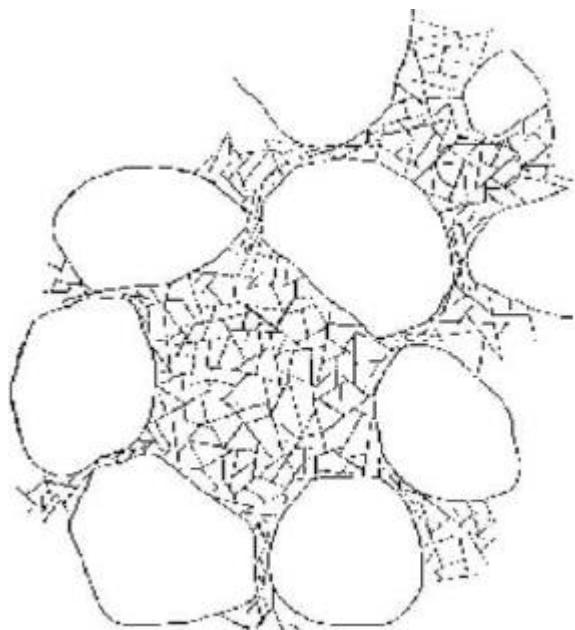


Suelos Finos

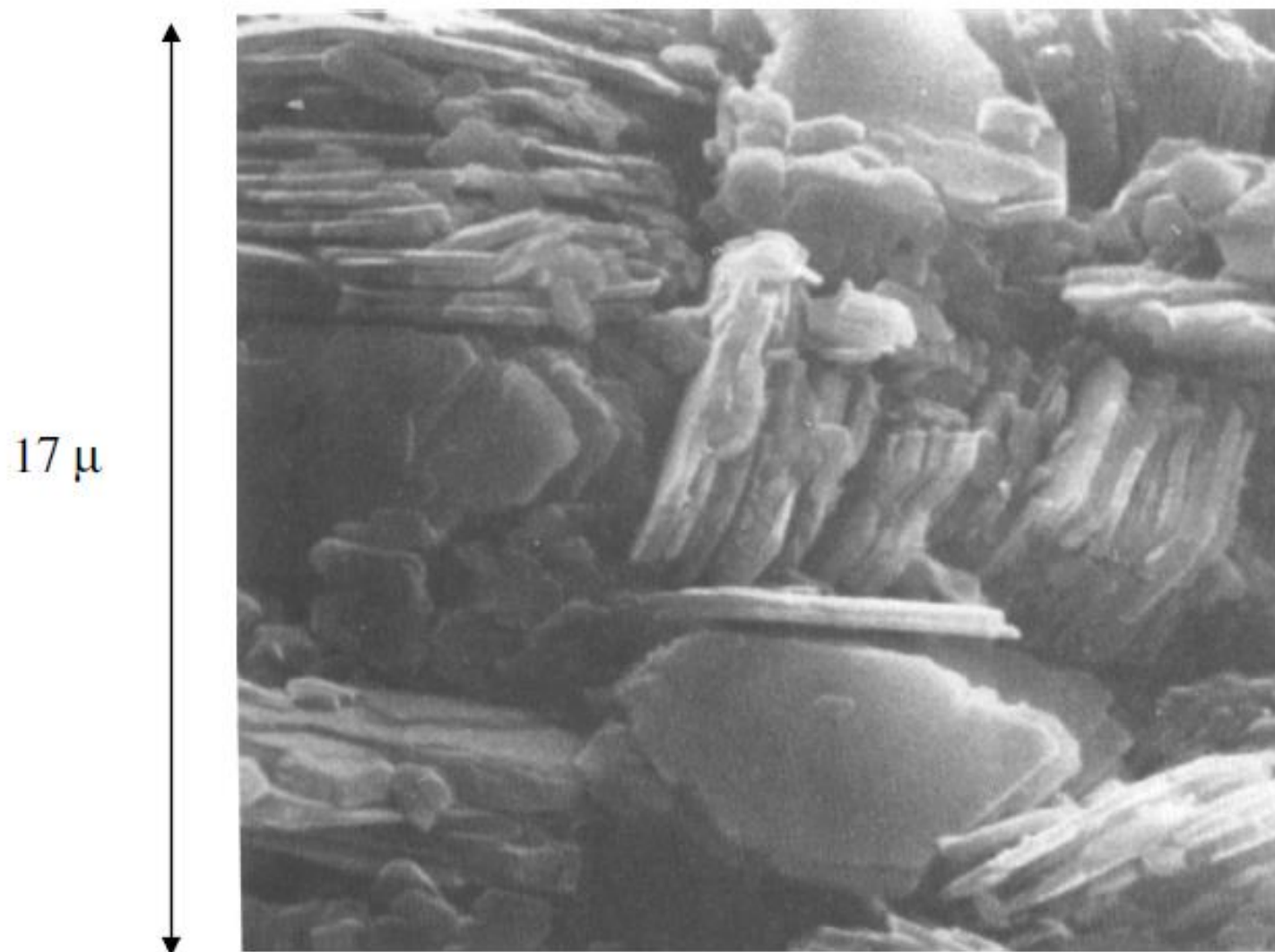
Dentro de los suelos finos, conformados por partículas de tamaño menores a 74μ (tamiz N° 200) tenemos:

Limos: Partículas que van desde los 74μ hasta los 2μ

Arcillas: Partículas menores a los 2μ



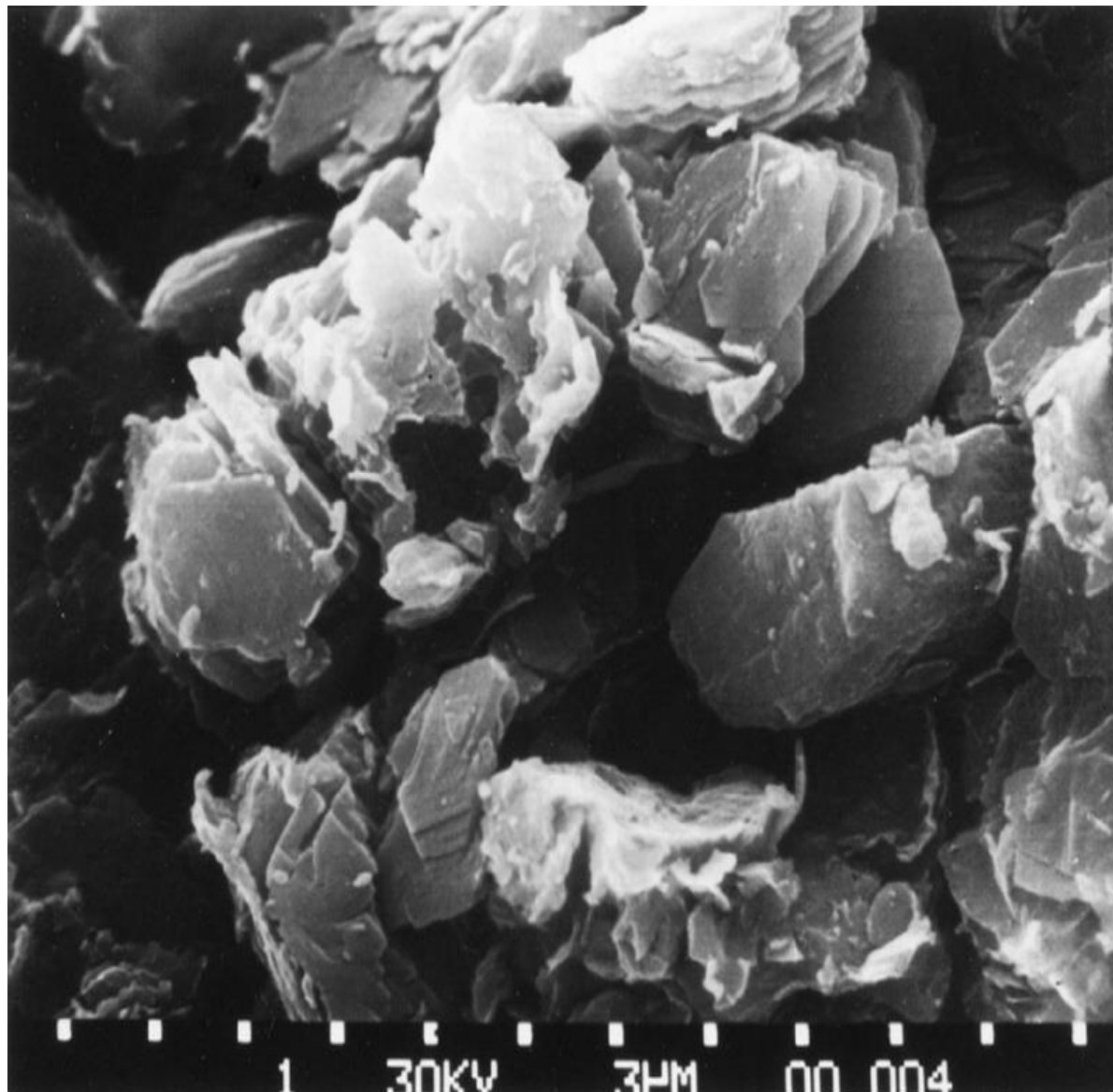
Partículas de arcilla (Kaolinita)





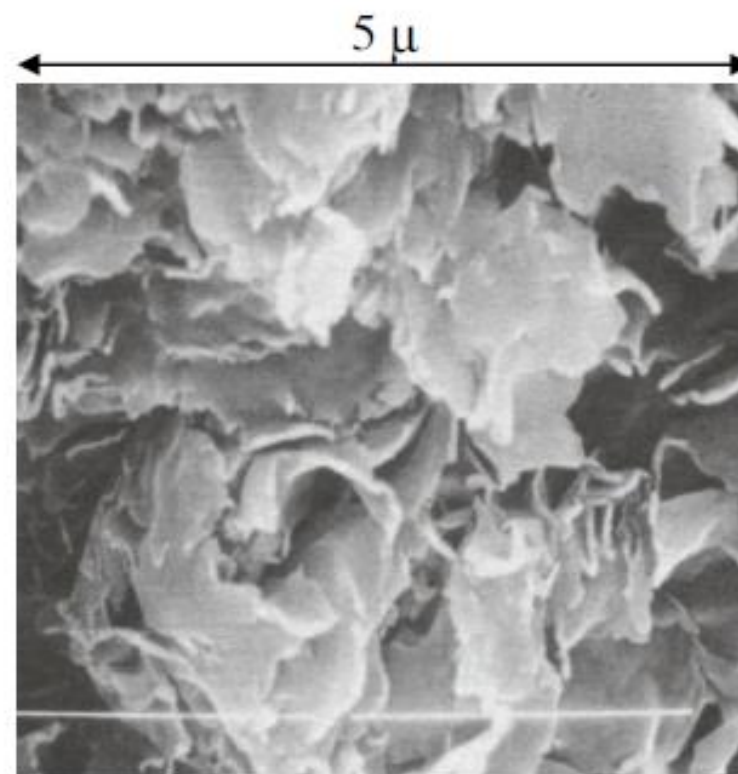
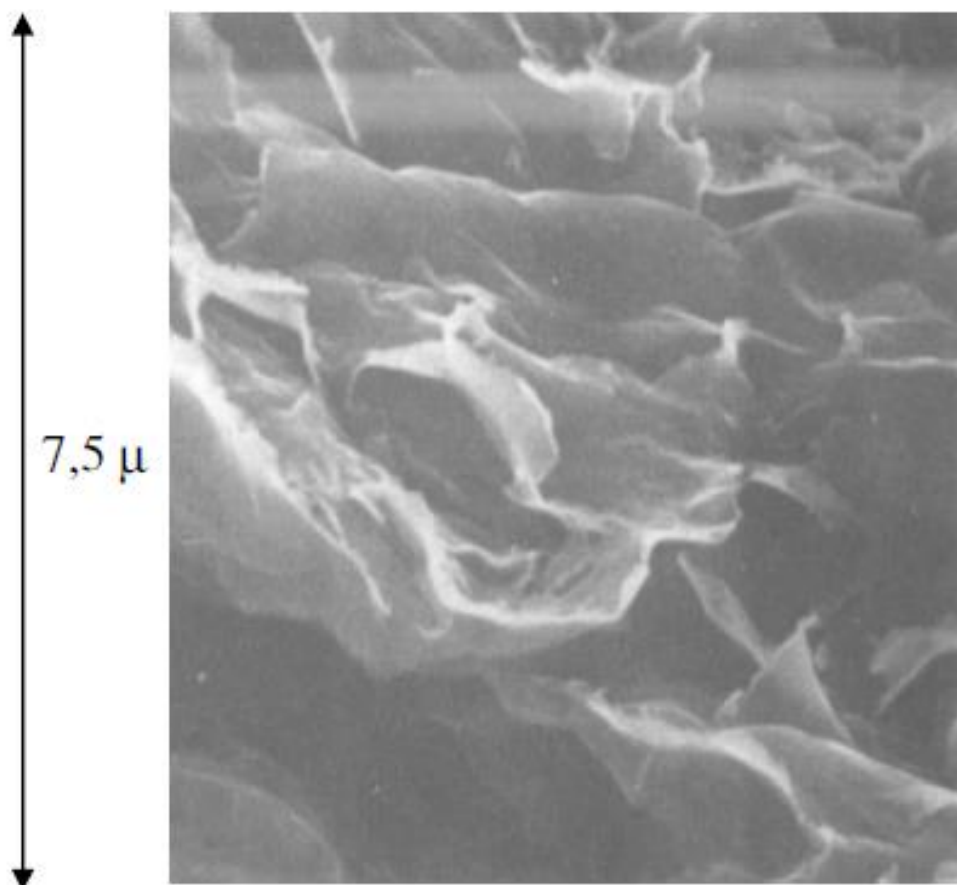
UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba



**Scanning electron
micrograph of a
kaolinite specimen
(U.S. Geological
Survey)**

Partículas de bentonita (Monmorillonita)





UNC

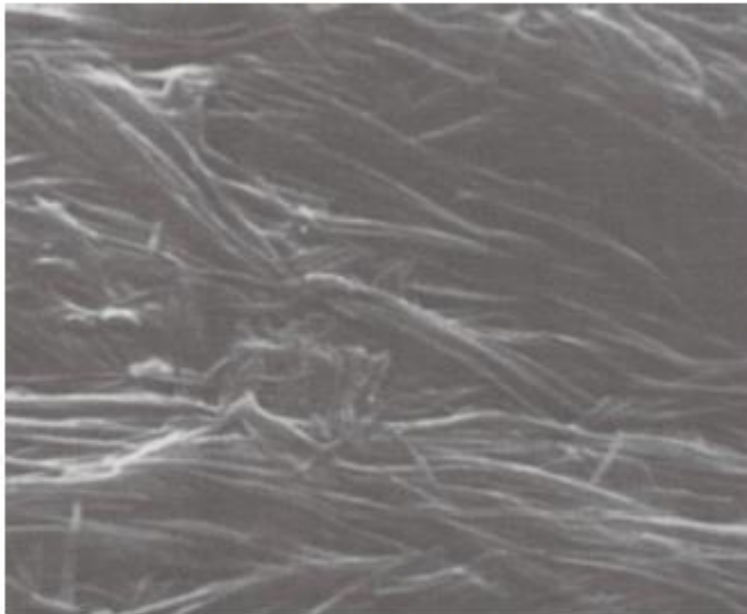
Universidad
Nacional
de Córdoba

Illita

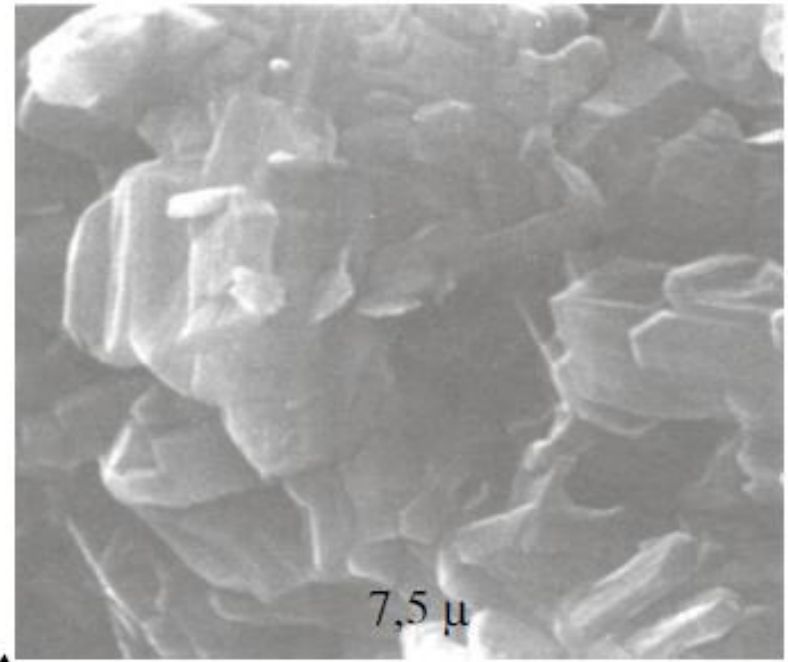
Minerales de arcilla

Halloistita

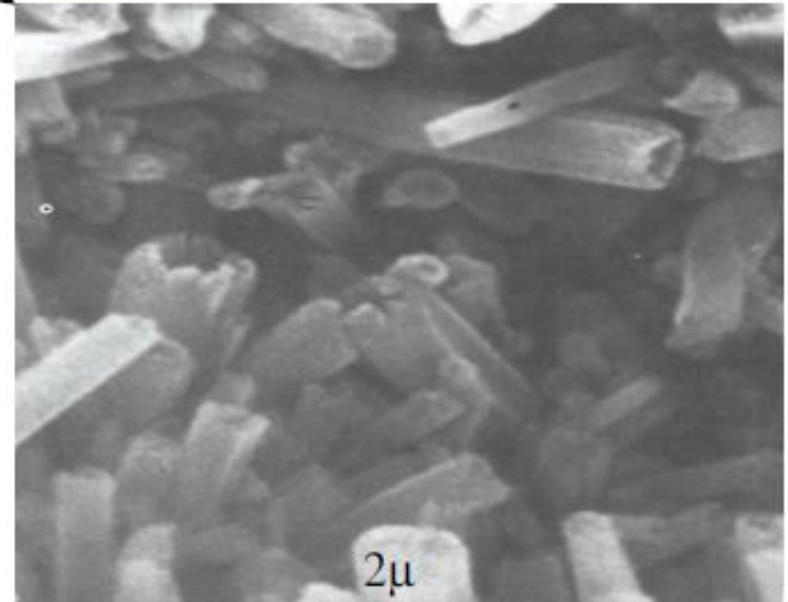
Atapulgita



4,7 μ



7,5 μ

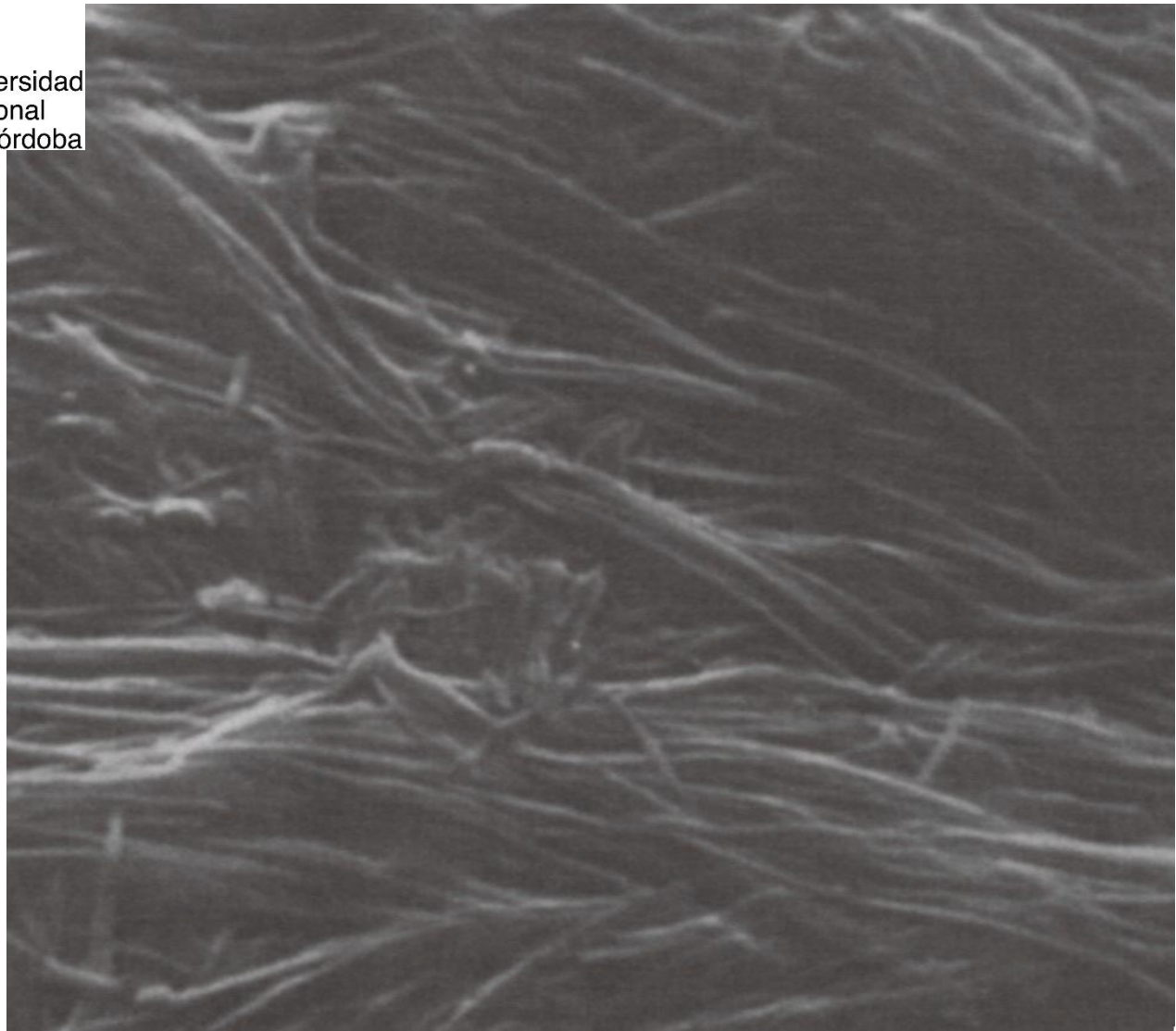


2μ



UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

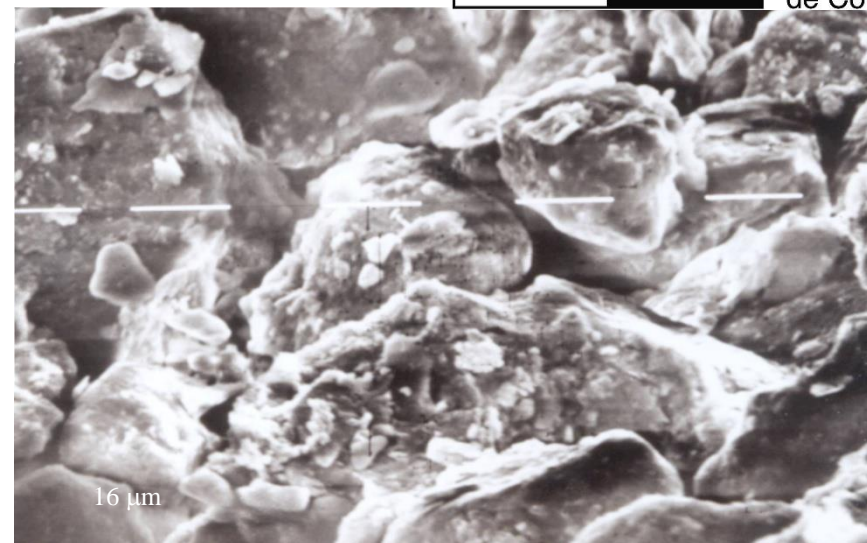
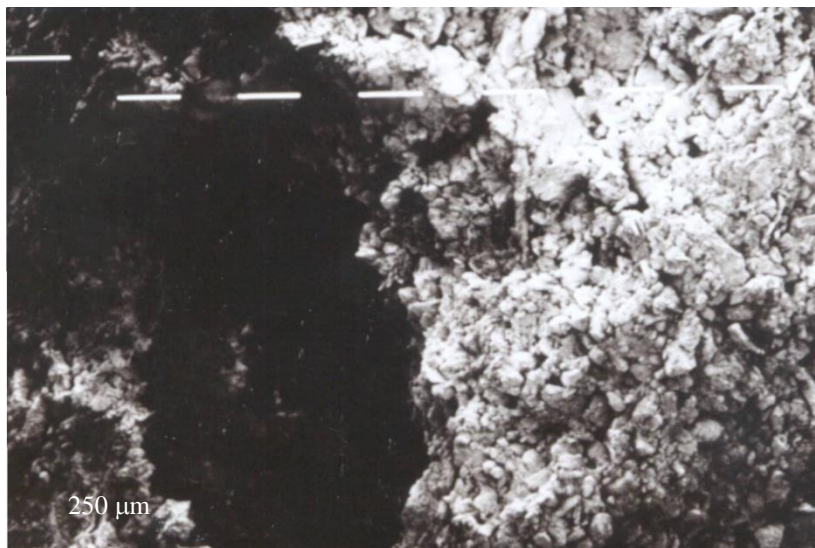


4.7 μm

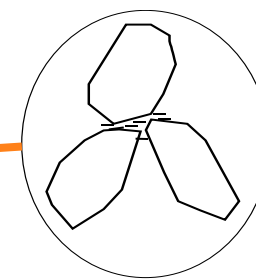
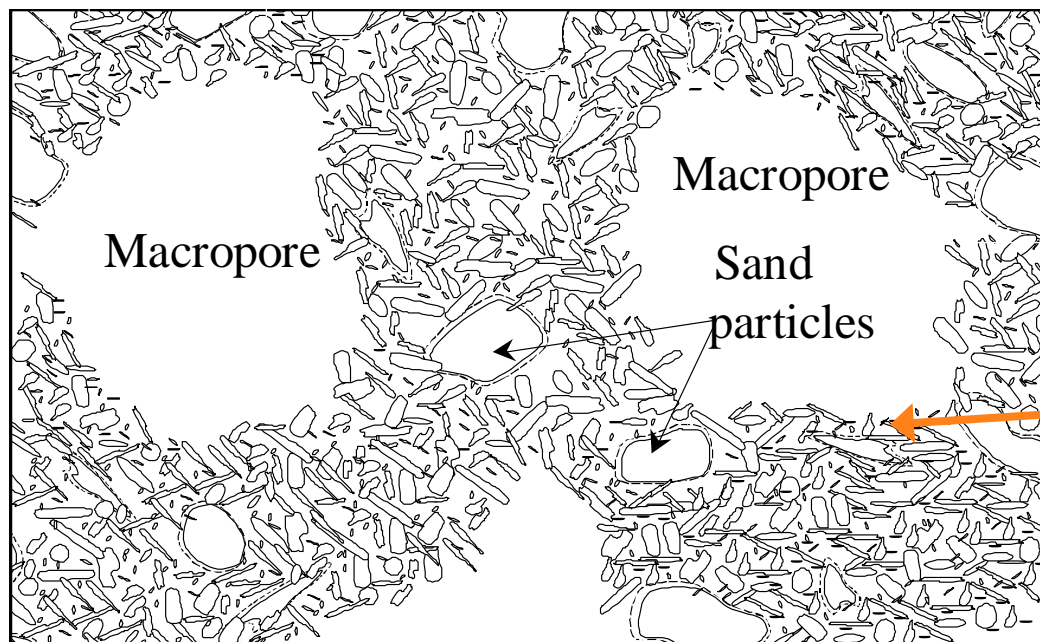
Trovey, 1971 (from Mitchell, 1993)



Micrografía del suelo arcilloso de la ciudad de Mexico. En ocasiones los fósiles alineados crean grietas, o discontinuidades en la arcilla, causando debilidades locales y fragilidad en las muestras.



Generated Loess Structure From SEM images



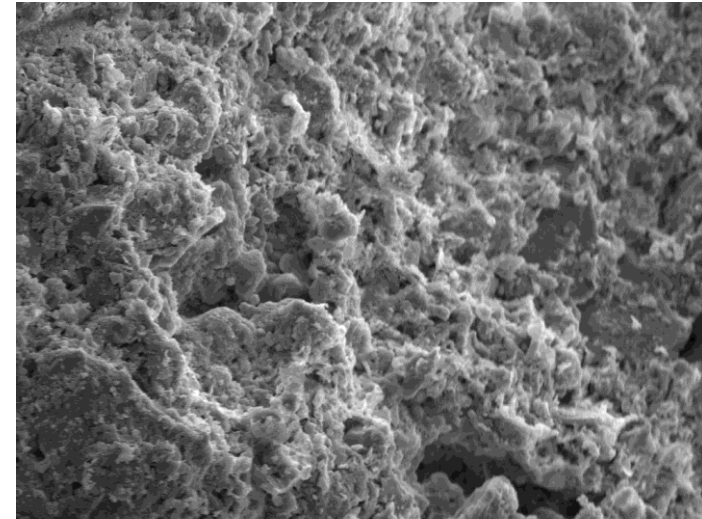
LOESS CORDOBA

LOESS CORDOBA



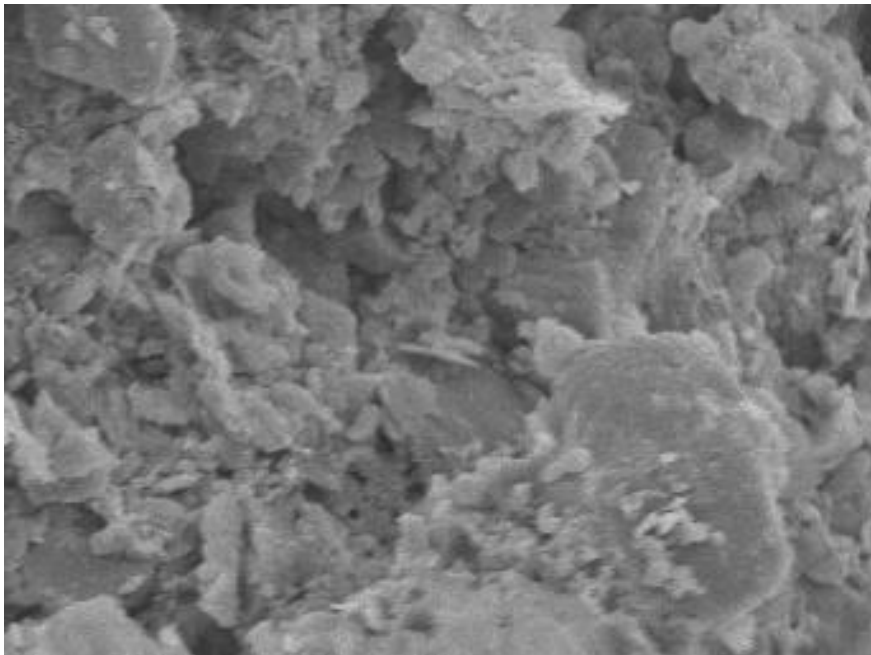
UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba



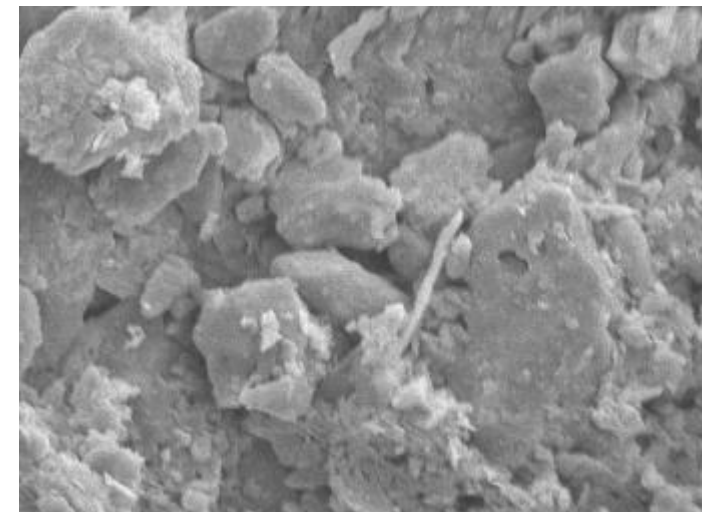
Mag	HV	Label	Date	Det
503 x	20 kV	3MPC1	22/09/03, 16:07	sem

— 50 µm —



Mag	HV	Label	Date	Det
1500 x	20 kV	3MFC4	22/06/03, 16:07	sem

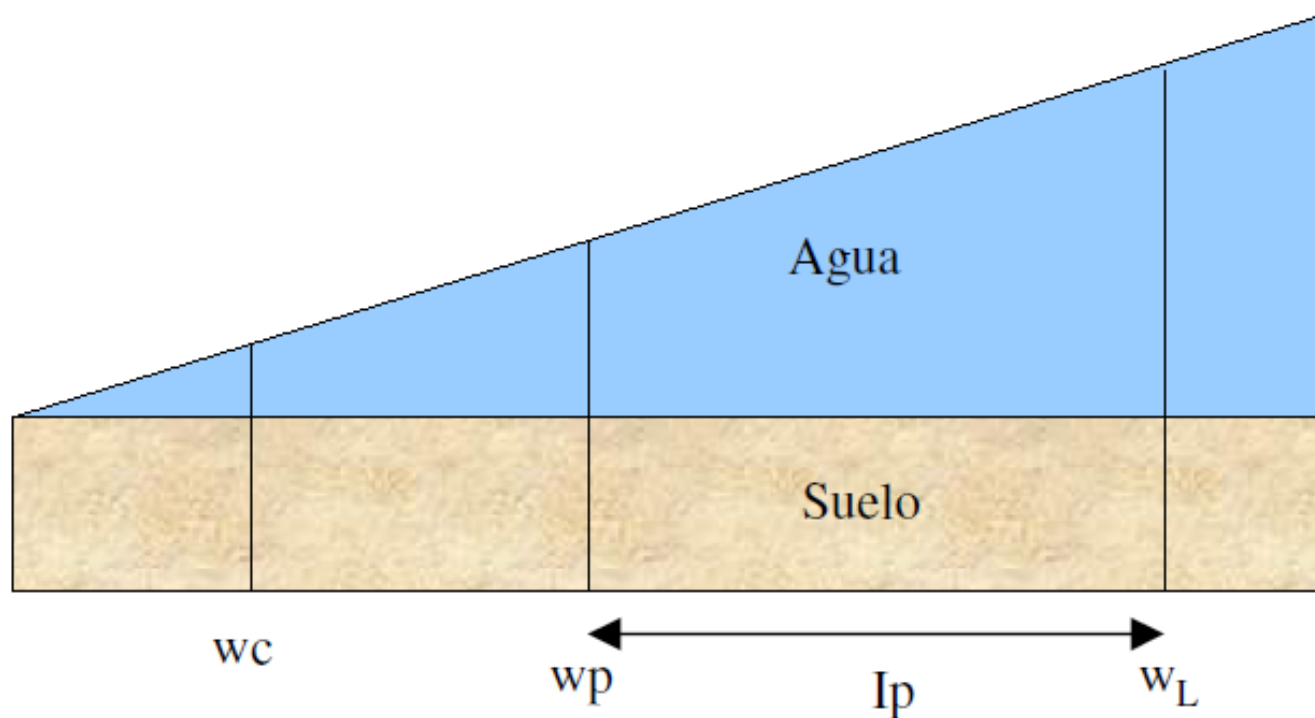
— 20 µm —



Mag	HV	Label	Date	Det
1250 x	20 kV	3MFC5	22/06/03, 16:07	sem

— 20 µm —

Distintos estados de la estructura del suelo en función de la humedad



Límites de Atterberg

Límite Líquido " w_L "

Límite Plástico " w_p "

Índice plástico " I_p " = ($w_L - w_p$)

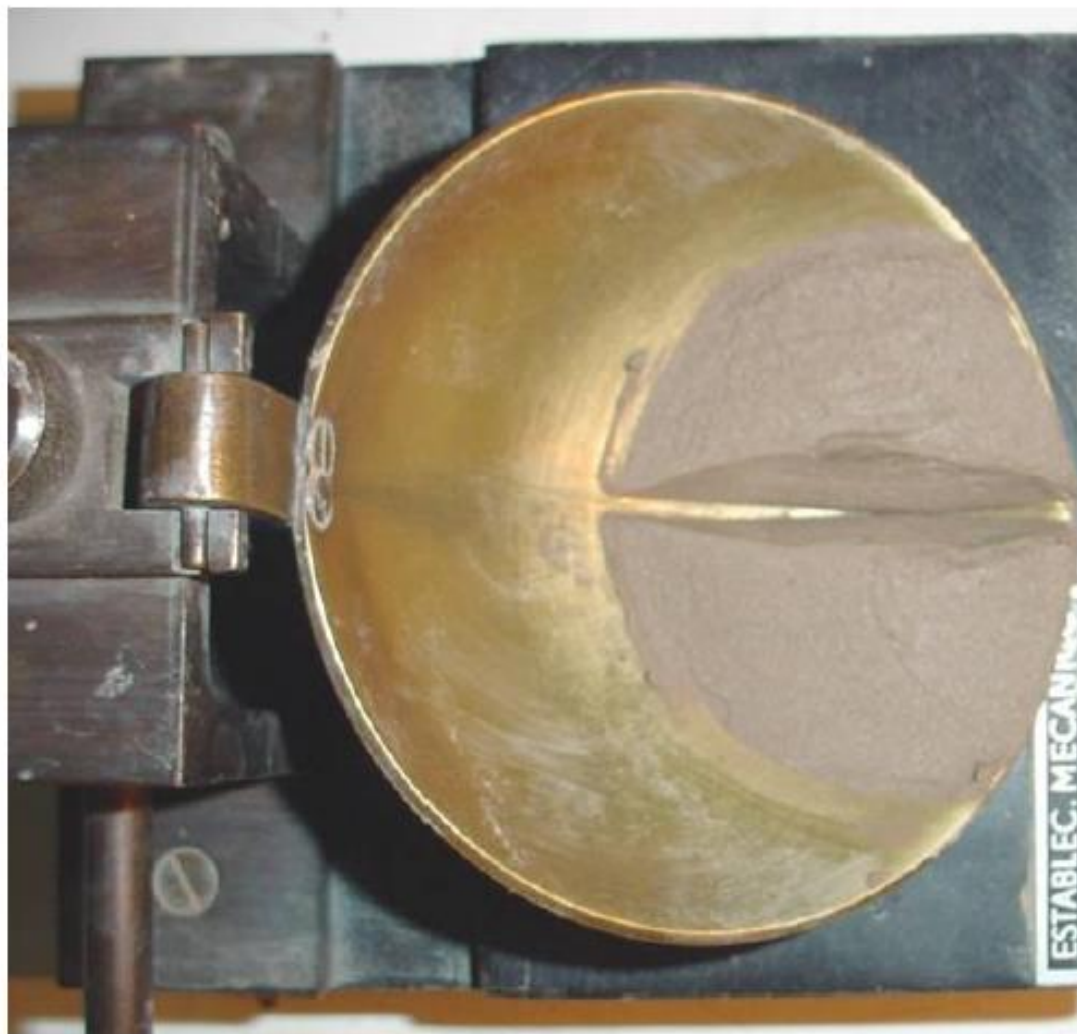
Limite Liquido wl

Si luego de efectuar 25 golpes del cascador, el suelo se junta en una longitud de $\frac{1}{2}$ ". La humedad del suelo correspondiente al límite líquido

Nota: La muestra nunca debe deslizarse sobre la cápsula del cascador, siempre debe fluir desde los costados del corte efectuado con el acanalador.

Si la muestra se desliza sobre la cápsula debe clasificarse como:

No Plástica





UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

Limite plastico wp

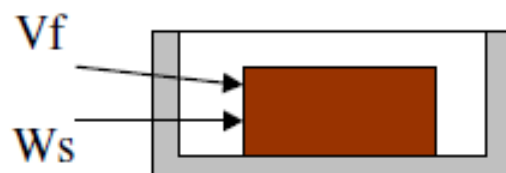


Se amasa el suelo con una humedad baja conformando cilindros de 3 mm de diámetro, sobre una superficie lisa no absorbente, hasta que los mismos se fisuren transversalmente

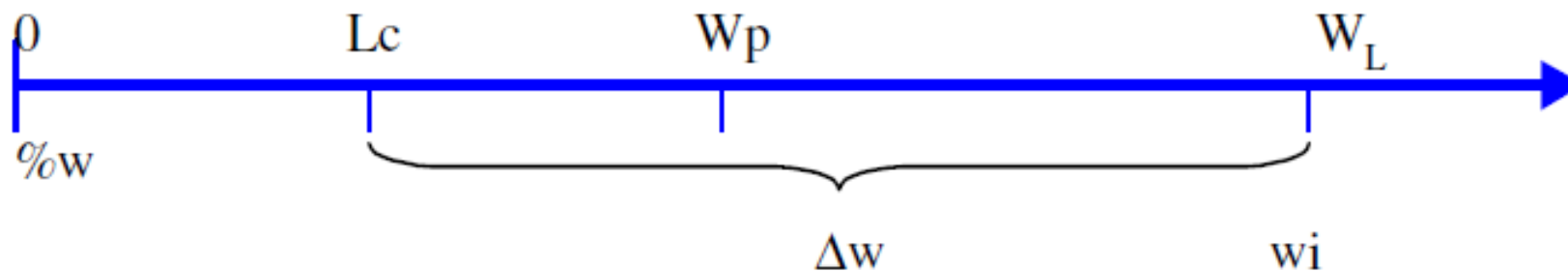


Límite de Contracción = $L_c = w_i - \Delta w$

Limite de Contracción w_c



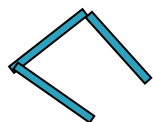
$$L_c = \underbrace{\frac{W_h - W_s}{W_s - Tara} \cdot 100}_{w_i} - \underbrace{\frac{V_i - V_f}{W_s - Tara} \cdot \gamma_w \cdot 100}_{\Delta w}$$



Floculada



Borde con Cara

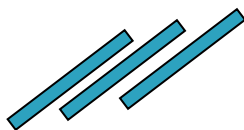


Borde con Borde

Agregada

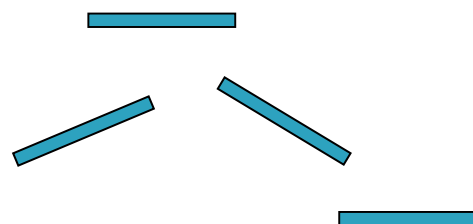


Cara con Cara



*Cara con Cara
Desplazadas*

Dispersa



Carga Neta repulsion

**Arreglos Basicos Arcillas
(Fabrica)**

ASOCIACION DE PARTICULAS

Dispersa y defloculada



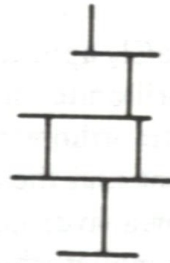
(a)

Agregada y defloculada



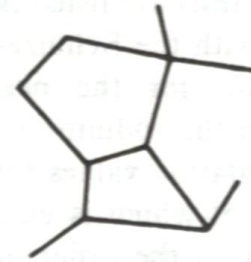
(b)

**borde-con-cara
floculada y
dispersa**



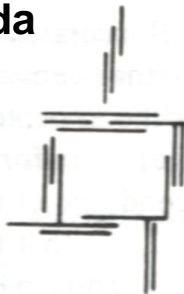
(c)

**Borde con borde
floculada pero dispersa**



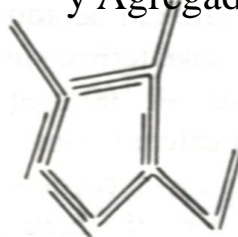
(d)

**Borde con Cara
Floculada y Agregada**



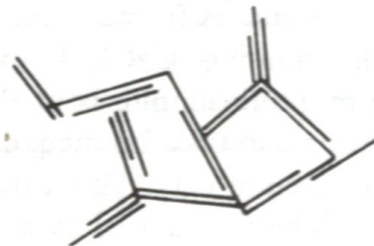
(e)

**Borde con borde Floculada
y Agregada**



(f)

**Borde con cara y borde
con borde floculada y
agregada**

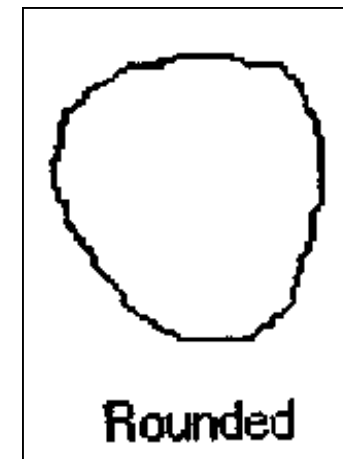
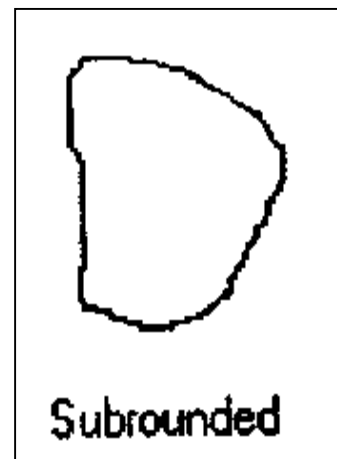
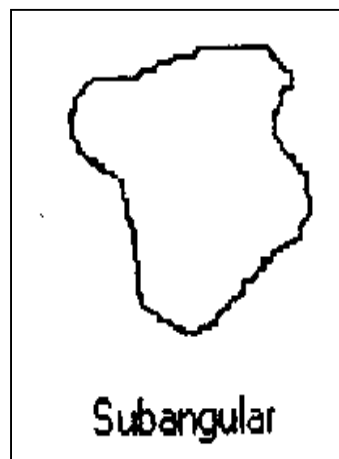
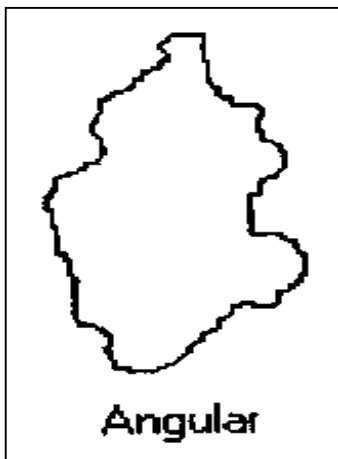


(g)

van Olphen, 1991

Partículas Limos y Arenas

Formas





UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

**Individual clay
platelet interaction**



(a)

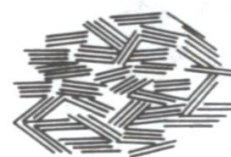


**Individual silt or
sand particle
interaction**

**Clay platelet
group interaction**



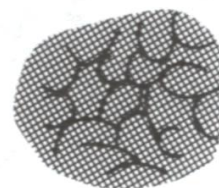
(c)



**Clothed silt or sand
particle interaction**



(d)

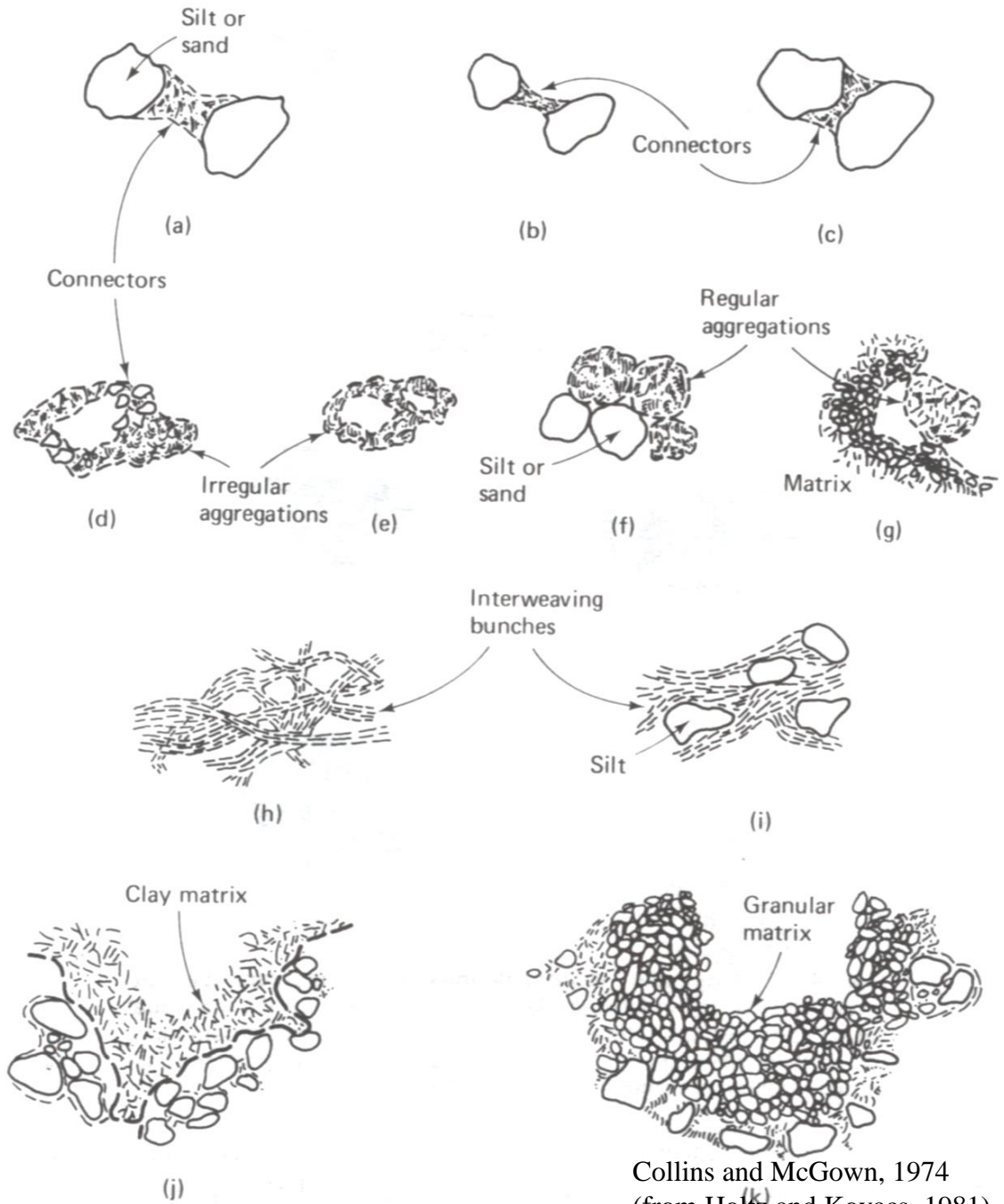


(e)

Particle discernible

Arreglo Elemental entre Partículas

Collins and McGown, 1974
(from Holtz and Kovacs, 1981)

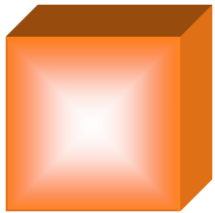


Collins and McGown, 1974
(from Holtz and Kovacs, 1981)

SUPERFICIE ESPECIFICA

$$Superficie Especifica = \frac{Superficie}{Masa}$$

Ejemplo:



$$1 \times 1 \times 1 \text{ cm cubo}, \rho = 2.65 \text{ g} / \text{cm}^3$$

$$S_s = \frac{6 \cdot 1 \text{ cm}^2}{1 \text{ cm}^3 \cdot 2.65 \text{ g} / \text{cm}^3} = 2.3 \cdot 10^{-4} \cdot \text{m}^2 / \text{g}$$



$$1 \times 1 \times 1 \mu\text{m cubo}, \rho = 2.65 \text{ g} / \text{cm}^3$$

$$S_s = \frac{6 \cdot 1 \mu\text{m}^2}{1 \mu\text{m}^3 \cdot 2.65 \text{ g} / \text{cm}^3} = 2.3 \cdot \text{m}^2 / \text{g}$$

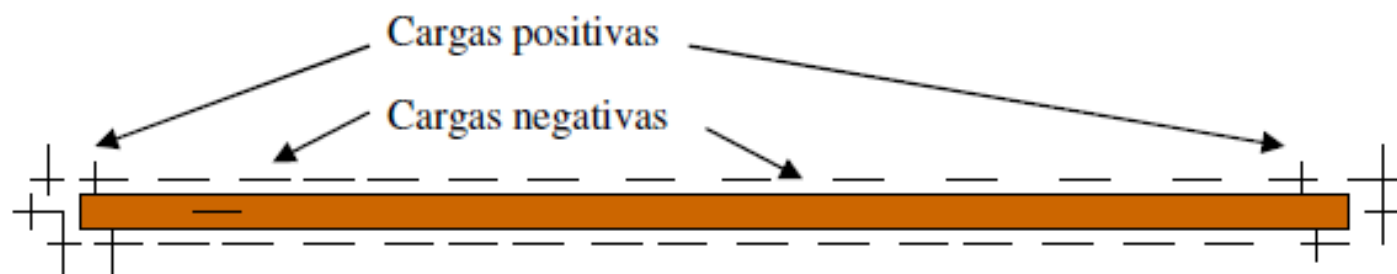
S_s

Inversamente
Proporcional al
tamaño de la
Partícula



Características físico - químicas de una partícula de arcilla

La superficie de toda partícula de arcilla conlleva una carga eléctrica negativa, cuya intensidad depende de sus características mineralógicas y de su tamaño.



La forma de lámina de las partículas de arcilla hacen que las mismas tengan una gran cantidad de cargas eléctricas.

Estas cargas eléctricas, se reducen en su cantidad a medida que el tamaño de las partículas aumenta y cambian de forma, partículas no laminares, esféricas o prismáticas y que presentan una menor superficie expuesta (superficie específica), conllevan una menor carga eléctrica.

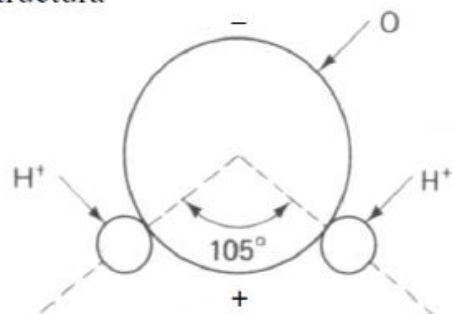
Estructura de la molécula de agua



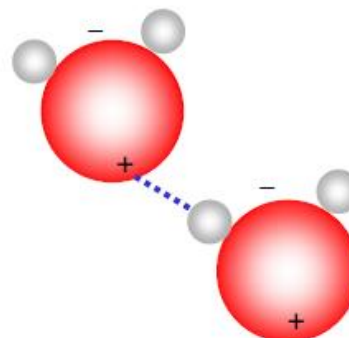
UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

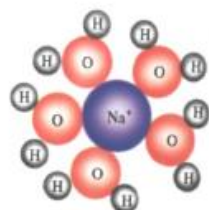
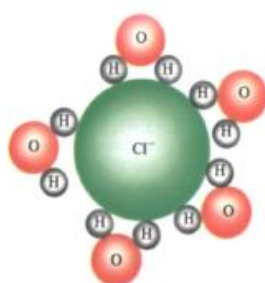
Estructura



Ligazón del Hidrógeno



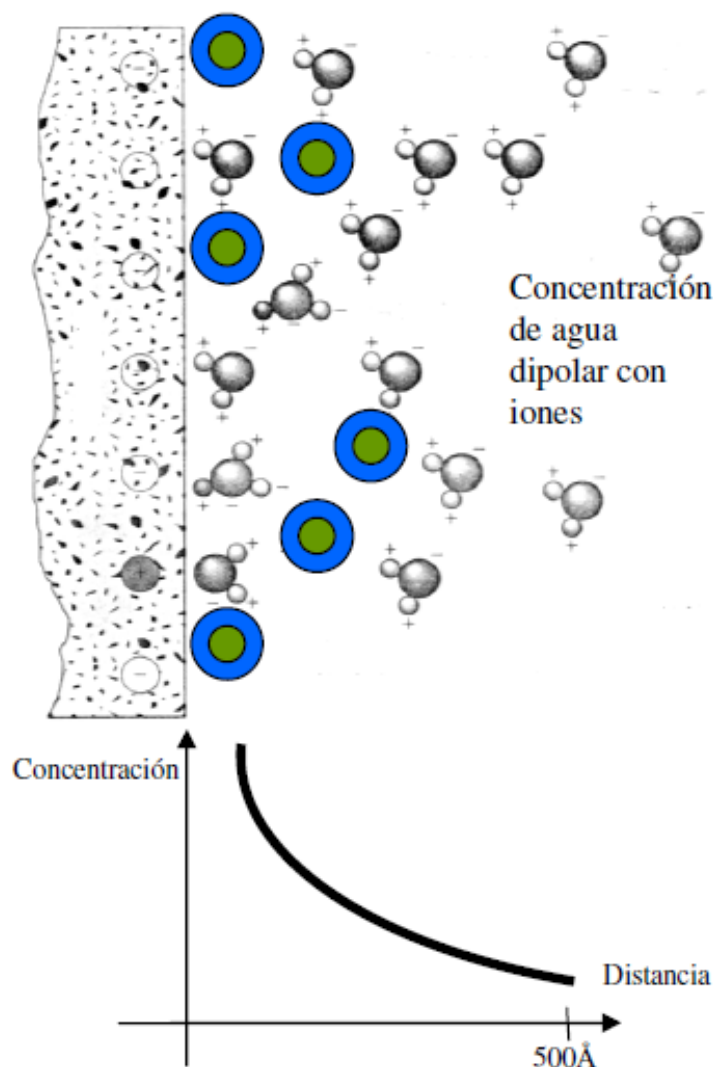
Solución salina



hidratación

Cationes	Non-hydrated radius (Å)	Hydrated radius (Å)
Li ⁺	0.68	3.8
Na ⁺	0.95	3.6
K ⁺	1.33	3.3
Cs ⁺	1.69	3.3
Be ²⁺	0.31	4.6
Mg ²⁺	0.65	4.3
Ca ²⁺	0.99	4.1
Ba ²⁺	1.35	
Al ³⁺	0.5	4.8
Fe ³⁺	0.6	

Doble capa difusa



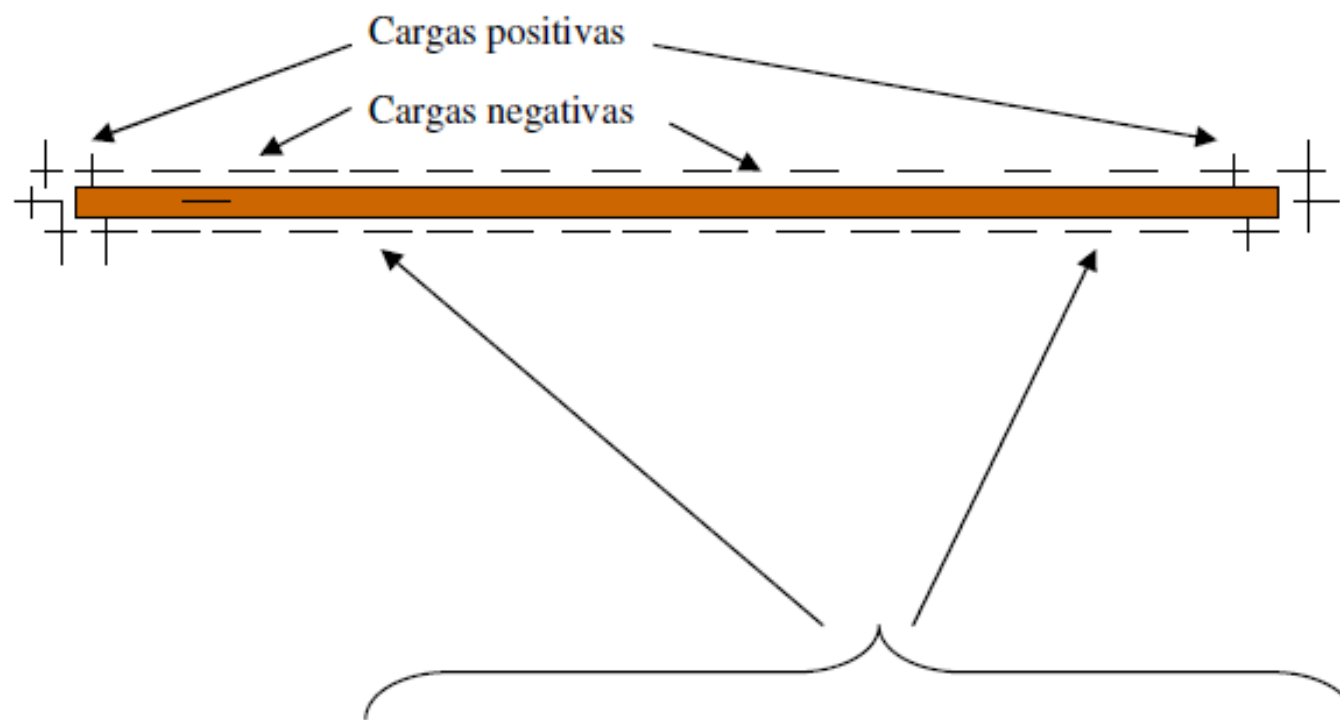
El agua adsorbida juntamente con el agua absorbida junto a la partícula de arcilla, forman lo que se llama la “Doble Capa Difusa” que tiene una concentración de iones y de moléculas de agua dipolar, muy grande en las cercanías de la lámina y que después decrece fuertemente hasta llegar a una distancia de 400 Å.

Importancia del tipo de cationes:

Dos cationes de Na^+ tienen un volumen de 390 Å^3 . Por lo tanto si están adheridos a una lámina de arcilla forman una doble capa difusa de un espesor importante y tienen una unión muy débil (monovalente).

En cambio Un catión Ca^{++} tiene un volumen de 288 Å^3 con lo cual la doble capa disminuye y en la superficie del cristal de arcilla reemplaza a dos iones de Na^+ con una unión mucho mayor

La evaluación de la cantidad de cargas eléctricas de un suelo, expresado en función de su masa (peso) constituyen lo que se llama la **CAPACIDAD DE CAMBIO** y se mide en miliequivalente x 100 grs (m.eq.x100)



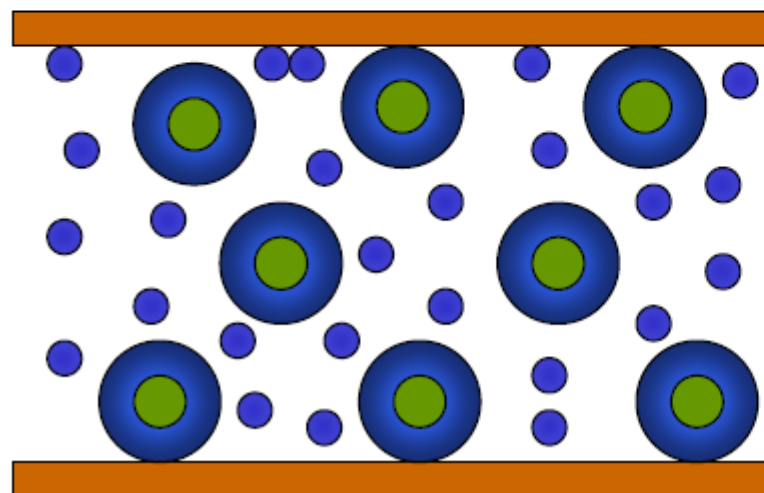
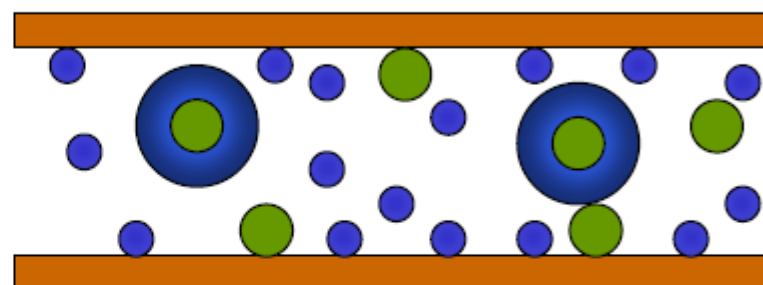
Iones de cambio: Fe^{+++} , Al^{+++} , Mg^{++} , Ba^{++} , Ca^{++} , Na^{+} , Li^{+}

Asociación entre las cargas eléctricas y la superficie específica de los suelos finos

Tipo de Arcilla	Capacidad de cambio	Superficie específica
	Miliequivalente x 100 gr	m ² /gr
Caolinita	2,2 a 15	15
Halloisita	10 a 50	60
Illita	10 a 50	50
Sepiolita	20 a 35	100 a 240
Montmorillonita	80 a 200	80 a 900

Iones de intercambio: Na⁺ Ca⁺⁺ Mg⁺⁺ Al⁺⁺⁺ Fe⁺⁺⁺

Cation	Radio no hidratado (Å)	Radio hidratado(Å)
Li ⁺	0.68	3.8
Na ⁺	0.95	3.6
K ⁺	1.33	3.3
Cs ⁺	1.69	3.3
Be ²⁺	0.31	4.6
Mg ²⁺	0.65	4.3
Ca ²⁺	0.99	4.1
Ba ²⁺	1.35	
Al ³⁺	0.5	4.8
Fe ³⁺	0.6	


Estado seco


A medida que la arcilla absorbe agua del exterior la misma se ubica en las caras de los cristales e hidrata a los cationes haciéndoles variar el diámetro y por lo tanto cambian la distancia entre las partículas. La cantidad de moléculas de agua que ingresará, dependerá de la cantidad de cargas negativas disponibles que tenga la partícula de arcilla

Sedimentación de Loess con Distintas Concentraciones de NaCl



Agua
Deionizada

12.5 g/l

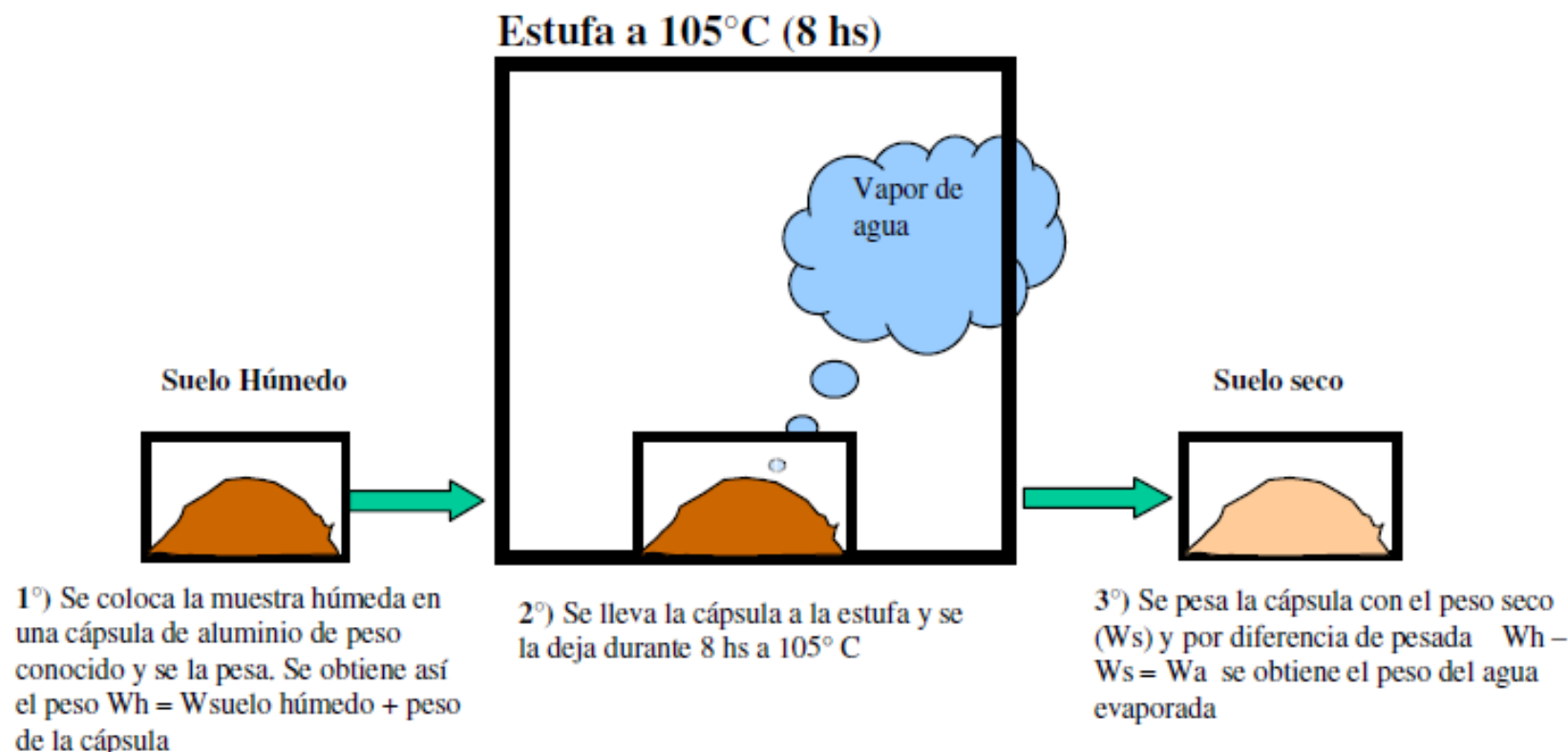
22.5 g/l

50 g/l

100 g/l

Humedad del suelo

La humedad del suelo representa en forma porcentual, la cantidad de agua que tiene una masa de suelos comparada con el peso seco de la misma.



Porcentaje de humedad →

$$w(\%) = \frac{W_a}{W_s} 100$$

Densidad de un suelo

La densidad de un suelo es la relación entre el peso de su masa y el volumen que ocupa y se expresa con la letra “ γ ”

$$\gamma = \frac{\text{Peso}}{\text{Volumen}}$$

La densidad puede ser expresada como

densidad húmeda “ γ_h ”

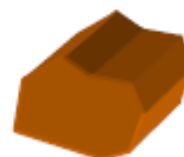
densidad saturada “ γ_{sat} ”

densidad seca “ γ_d ”

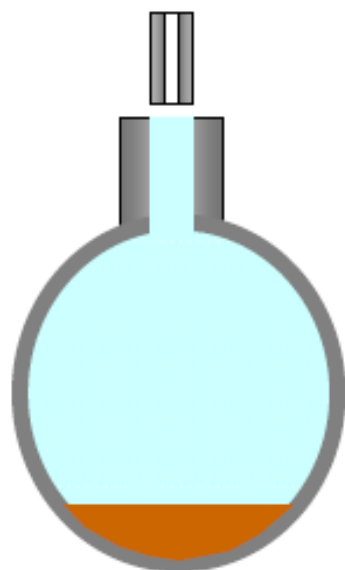
En el Laboratorio la densidad de los suelos inalterados se mide con el **método del mercurio**, que consiste en determinar el volumen de un trozo irregular, sumergiendo el mismo en un recipiente con mercurio

Supongamos que tenemos un trozo de suelos del que queremos conocer su densidad.

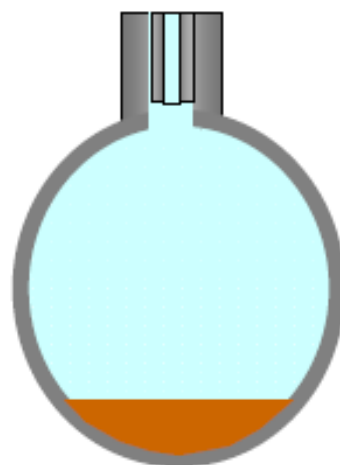
Primero lo pesamos y obtenemos W_h (peso húmedo)



Peso específico de las partículas de un suelo



Se lo llena de agua
destilada y desairada



Se le coloca la tapa
capilar y se seca
perfectamente para
pesarlo.

Se conocen los siguientes valores:

- Peso del picnómetro vacío W_p
- Peso del picnómetro lleno de agua W_{p+a}
- Peso del suelo seco colocado W_s
- Peso del picnómetro + agua + suelo W_{p+a+s}

Esto nos permite calcular el peso del agua desplazada haciendo:

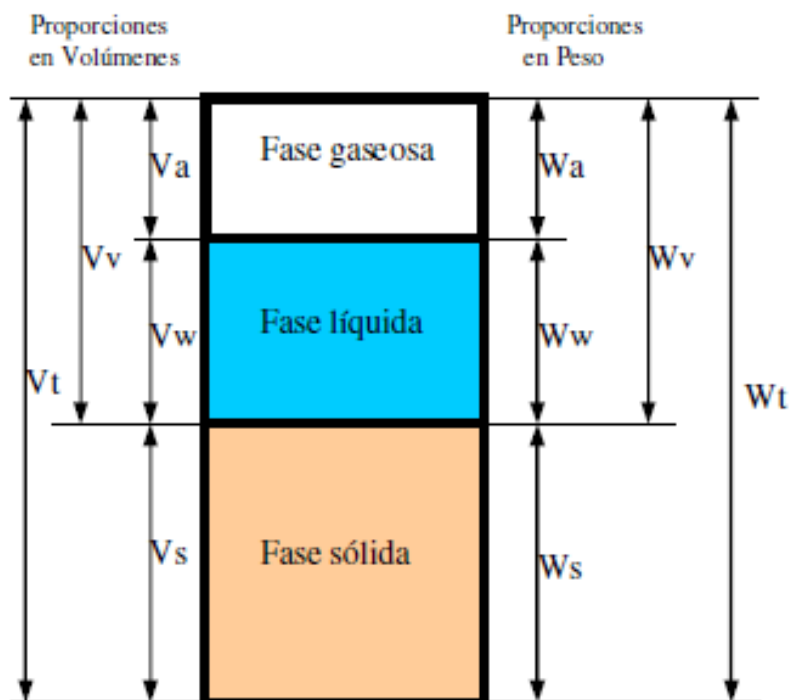
$$W_a (\text{desplazada}) = (W_{p+a}) + W_s - (W_{p+a+s})$$

$$\text{Volumen del agua desplazada } V_a = W_a / \gamma_w$$

El volumen del suelo es igual al volumen del agua desplazada por lo que el peso específico de los granos es:

$$G_s = \gamma_s = \frac{W_s}{V_a}$$

Relaciones volumétricas y gravimétricas



V_t : volumen total de la muestra del suelo. (volumen da la masa)

V_s : volumen de la fase sólida de la muestra (volumen de sólidos)

V_w : volumen de la fase líquida (volumen de agua)

V_a : volumen de la fase gaseosa (volumen de aire o de los gases)

V_v : volumen de vacíos de la muestra de suelo (volumen de vacíos).

$$V_v = V_w + V_a$$

$$V_t = V_v + V_s$$

$$V_t = V_w + V_a + V_s$$

W_t : Peso Total de la muestra de suelo. (Peso de la Masa).

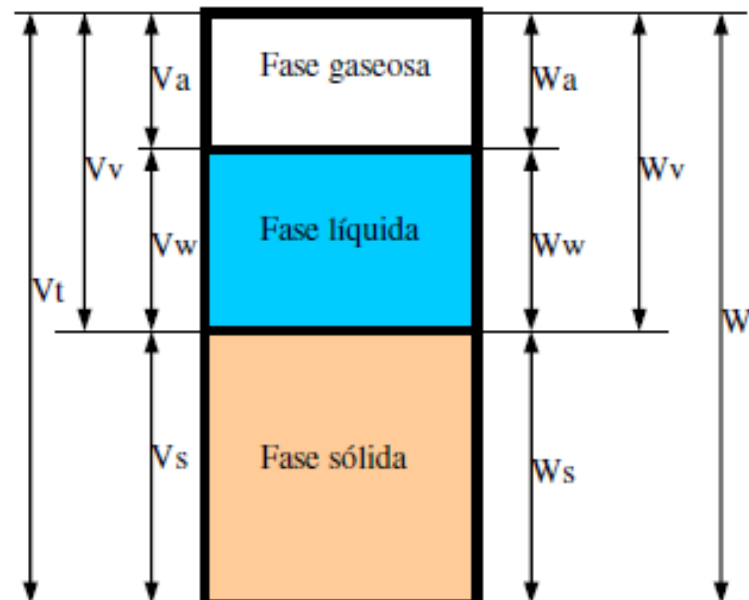
W_s : Peso de la fase sólida de la muestra.

W_w : Peso de la fase líquida (peso del agua).

W_a : Peso de la fase gaseosa, convencionalmente considerado como nulo en Geotecnia

Densidad o Peso por Unidad de Volumen.

$$\gamma = \frac{W_t}{V_t} \left\{ \begin{array}{l} * \text{ Con una humedad diferente a la correspondiente a su saturación} \\ \\ \gamma_h = \frac{W_t}{V_t} = \frac{W_s + W_w + W_a}{V_s + V_v} = \frac{W_s + W_w}{V_s + V_v} \\ \text{Convencionalmente } W_a = \text{cero} \\ \\ * \text{ Para } \omega = \omega_{\text{sat}} \quad \text{Humedad de saturación (} V_a = 0 \text{)} \\ \\ \gamma_{\text{sat}} = \frac{W_t}{V_t} = \frac{W_s + W_w}{V_s + V_v} \\ \\ * \text{ Cuando } W\omega = 0 \text{ (Totalmente seco) } V_v = V_a \\ \\ \gamma_d = \frac{W_t}{V_t} = \frac{W_s}{V_s + V_v} \end{array} \right.$$

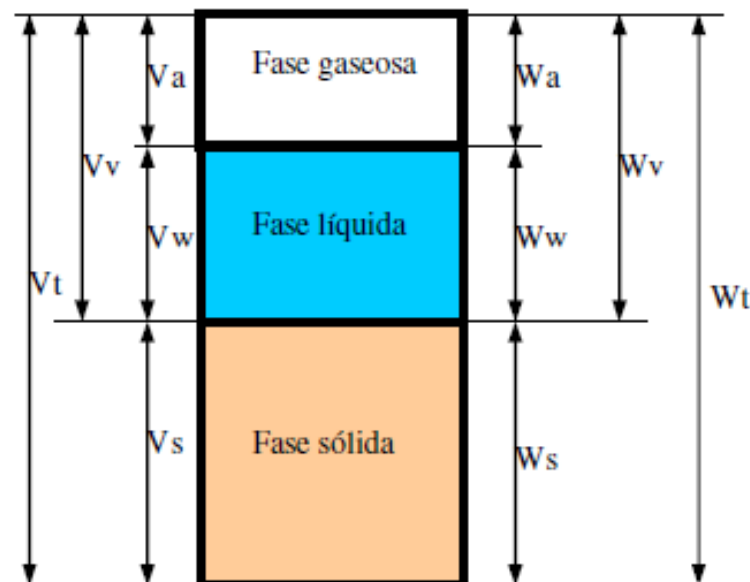


$$\gamma_d < \gamma_h < \gamma_{\text{sat}}$$

Humedad Grado de Saturación, Peso seco y Pesos húmedo

Humedad de un suelo $w(\%) = \frac{W_w}{W_s} \cdot 100$

Grado de saturación $S(\%) = \frac{V_w}{V_v} \cdot 100$



Obtención del peso seco del suelo a partir de su peso húmedo y de su humedad

$$\left. \begin{aligned} W_h &= W_s + W_w \\ w(\%) &= \frac{W_w}{W_s} \cdot 100 \end{aligned} \right\} W_h = W_s + \frac{W_s \cdot w\%}{100}$$

$$W_h = W_s \left(1 + \frac{w\%}{100} \right)$$

$$W_s = \frac{W_h}{1 + \frac{w\%}{100}}$$



RELACIONES FUNDAMENTALES

Relación de vacíos

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

Porosidad

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

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

$$e = \frac{\frac{V_v}{V_t}}{1 - \frac{V_v}{V_t}}$$

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

$$n = \frac{V_v}{V_t} = \frac{V_v}{V_s + V_v}$$

$$n = \frac{\frac{V_v}{V_s}}{1 + \frac{V_v}{V_s}}$$

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

Table 3.1 Various Forms of Relationships for γ , γ_d , and γ_{sat}

Moist unit weight (γ)		Dry unit weight (γ_d)		Saturated unit weight (γ_{sat})	
Given	Relationship	Given	Relationship	Given	Relationship
w, G_s, e	$\frac{(1 + w)G_s\gamma_w}{1 + e}$	γ, w	$\frac{\gamma}{1 + w}$	G_s, e	$\frac{(G_s + e)\gamma_w}{1 + e}$
S, G_s, e	$\frac{(G_s + Se)\gamma_w}{1 + e}$	G_s, e	$\frac{G_s\gamma_w}{1 + e}$	G_s, n	$[(1 - n)G_s + n]\gamma_w$
w, G_s, S	$\frac{(1 + w)G_s\gamma_w}{1 + \frac{wG_s}{S}}$	G_s, n	$G_s\gamma_w(1 - n)$	G_s, w_{sat}	$\left(\frac{1 + w_{sat}}{1 + w_{sat}G_s}\right)G_s\gamma_w$
w, G_s, n	$G_s\gamma_w(1 - n)(1 + w)$	G_s, w, S	$\frac{G_s\gamma_w}{1 + \left(\frac{wG_s}{S}\right)}$	e, w_{sat}	$\left(\frac{e}{w_{sat}}\right)\left(\frac{1 + w_{sat}}{1 + e}\right)\gamma_w$
S, G_s, n	$G_s\gamma_w(1 - n) + nS\gamma_w$	e, w, S	$\frac{eS\gamma_w}{(1 + e)w}$	n, w_{sat}	$n\left(\frac{1 + w_{sat}}{w_{sat}}\right)\gamma_w$
		γ_{sat}, e	$\gamma_{sat} - \frac{e\gamma_w}{1 + e}$	γ_d, e	$\gamma_d + \left(\frac{e}{1 + e}\right)\gamma_w$
		γ_{sat}, n	$\gamma_{sat} - n\gamma_w$	γ_d, n	$\gamma_d + n\gamma_w$
		γ_{sat}, G_s	$\frac{(\gamma_{sat} - \gamma_w)G_s}{(G_s - 1)}$	γ_d, S	$\left(1 - \frac{1}{G_s}\right)\gamma_d + \gamma_w$
				γ_d, w_{sat}	$\gamma_d(1 + w_{sat})$

Densidad Relativa D_r

$$D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \times 100\%$$

$$= \frac{\gamma_{d\max}}{\gamma_d} \times \frac{\gamma_d - \gamma_{d\min}}{\gamma_{d\max} - \gamma_{d\min}} \times 100\%$$

Table 3.3 Density Description

Relative Density (%)	Descriptive Term
0-15	Very loose
15-35	Loose
35-65	Medium
65-85	Dense
85-100	Very dense

(Lambe and Whitman, 1979)

Densidad Relativa D_r

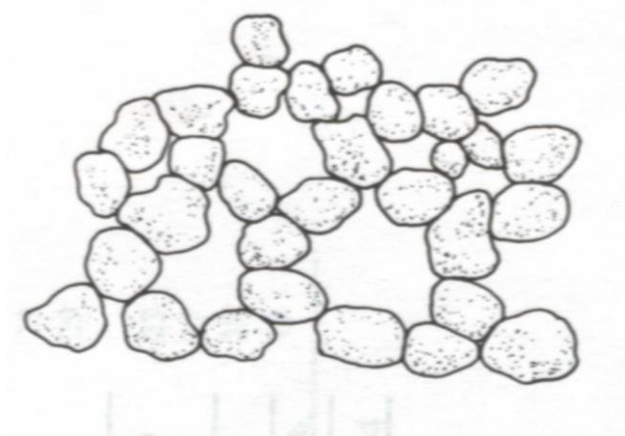
Empaquetamiento Suelto



Empaquetamiento Denso



Holtz and Kovacs, 1981



Tipo Panal

- Meta-stable structure
- Loose fabric
- Liquefaction
- Sand boil



UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

EJERCITACIÓN DE REPASO

**PROPIEDADES GRAVIMÉTRICAS Y
VOLUMÉTRICAS**



Ejercicio 1

El terraplén de un camino se construye con un relleno de arcilla compactada a un peso unitario húmedo de $1,78 \text{ t/m}^3$, y un contenido de humedad del 15,0%.

La gravedad específica del suelo es igual a de 2,71.

Se pide calcular:

- a. Peso unitario seco
- b. Relación de vacíos
- c. Porosidad
- d. Grado de saturación
- e. Humedad de saturación

a.

A partir del peso unitario húmedo y la humedad tenemos:

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{\left(1 + \frac{w}{100}\right)} = \frac{1,78 \frac{tn}{m^3}}{\left(1 + \frac{15\%}{100}\right)} = 1,55 \frac{tn}{m^3}$$

b.

De la definición de relación de vacíos:

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{V_T - V_s}{V_s} = \frac{V_T}{V_s} - 1$$

De la definición de gravedad específica y peso unitario seco:

$$G_s = \frac{W_s}{V_s \gamma_w} \quad \gamma_d = \frac{W_s}{V_T} \quad \Rightarrow \quad e = \frac{W_s}{\gamma_d} \frac{G_s \gamma_w}{W_s} - 1 = \frac{G_s \gamma_w}{\gamma_d} - 1$$

$$e = \frac{2,71 \times 1,00 \frac{\text{tn}}{\text{m}^3}}{1,55 \frac{\text{tn}}{\text{m}^3}} - 1 = 0,75$$

C.

De la definición de porosidad:

$$n = \frac{V_v}{V_T} \quad \rightarrow \quad n = \frac{e}{e + 1}$$

$$n = \frac{0,75}{0,75 + 1} = 0,43$$

d.

De la definición de grado de saturación:

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

$$G_s = \frac{W_s}{V_s \gamma_w} \quad e = \frac{V_v}{V_s} \quad \gamma_w = \frac{W_w}{V_w}$$

$$S = \frac{W_w}{\gamma_w} \frac{1}{e V_s} = \frac{W_w}{\gamma_w} \frac{1}{e} \frac{G_s \gamma_w}{W_s} = \frac{w G_s}{e}$$

$$S = \frac{15\% \times 2,71}{0,75} = 54,2 \%$$

e.

De la definición de humedad de saturación:

$$w_{sat} = \frac{W_{wsat}}{W_d} \times 100 = \frac{V_v \gamma_w}{W_d} \times 100 = \frac{(V_T - V_s)}{W_d} \gamma_w \times 100 = \left(\frac{V_T \gamma_w}{W_d} - \frac{V_s \gamma_w}{W_d} \right) \times 100$$

$$w_{sat} = \left(\frac{\gamma_w}{\gamma_d} - \frac{1}{G_s} \right) \times 100$$

$$w_{sat} = \left(\frac{\gamma_w}{\gamma_d} - \frac{1}{G_s} \right) \times 100 = \left(\frac{1,00 \frac{tn}{m^3}}{1,55 \frac{tn}{m^3}} - \frac{1}{2,71} \right) \times 100 = 28 \%$$