



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.



UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

GEOTECNIA II

CLASE 1 – INTRODUCCION MATERIALES

SUELOS Y ROCAS

Son materiales singulares respecto de aquellos elaborados por el hombre

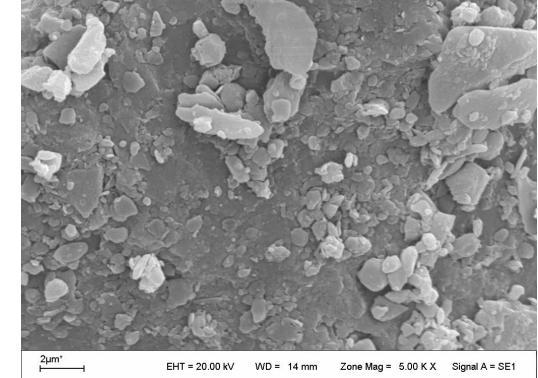
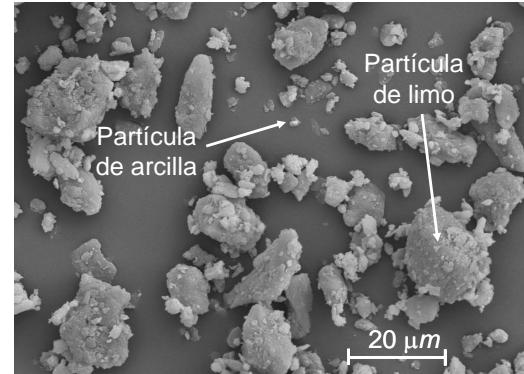


UNC

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**



Objetivo

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

Los suelos son inherentemente:

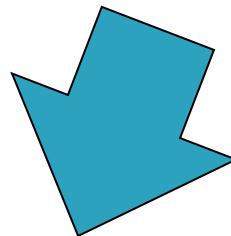
- ***No lineales*** (Hertz y contactos eléctricos),
- ***No elásticos*** (Mindlin contacto),
- ***Porosos y permeables*** (es decir, la porosidad entre los granos está interconectado).



UNC

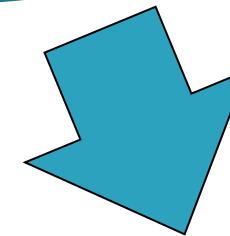
Universidad
Nacional
de Córdoba

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**

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



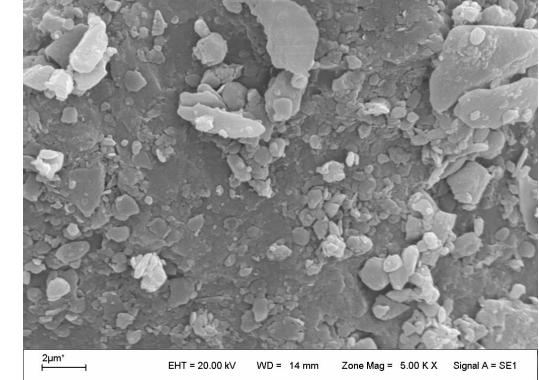
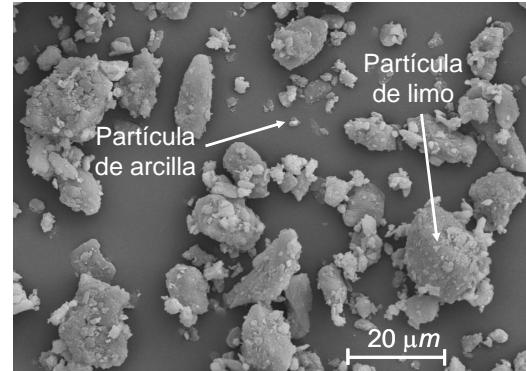
UNC

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.
 - Grano 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.

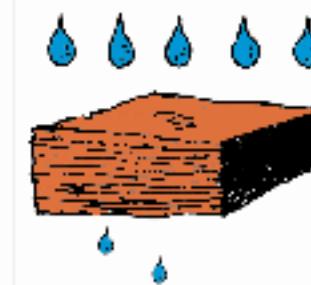
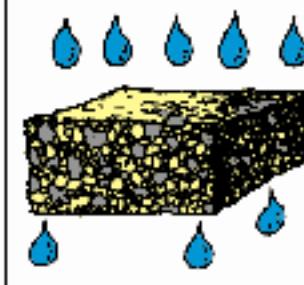
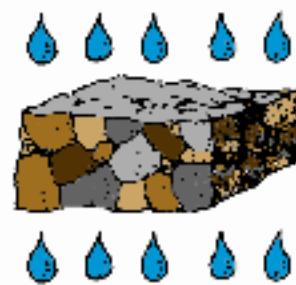
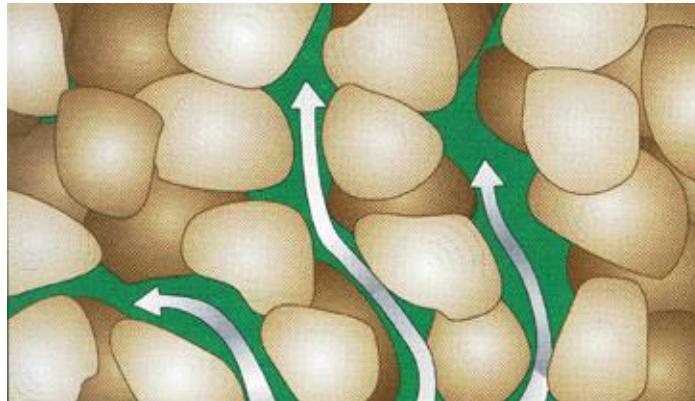


UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

PROPIEDADES

- **Permeabilidad**





UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

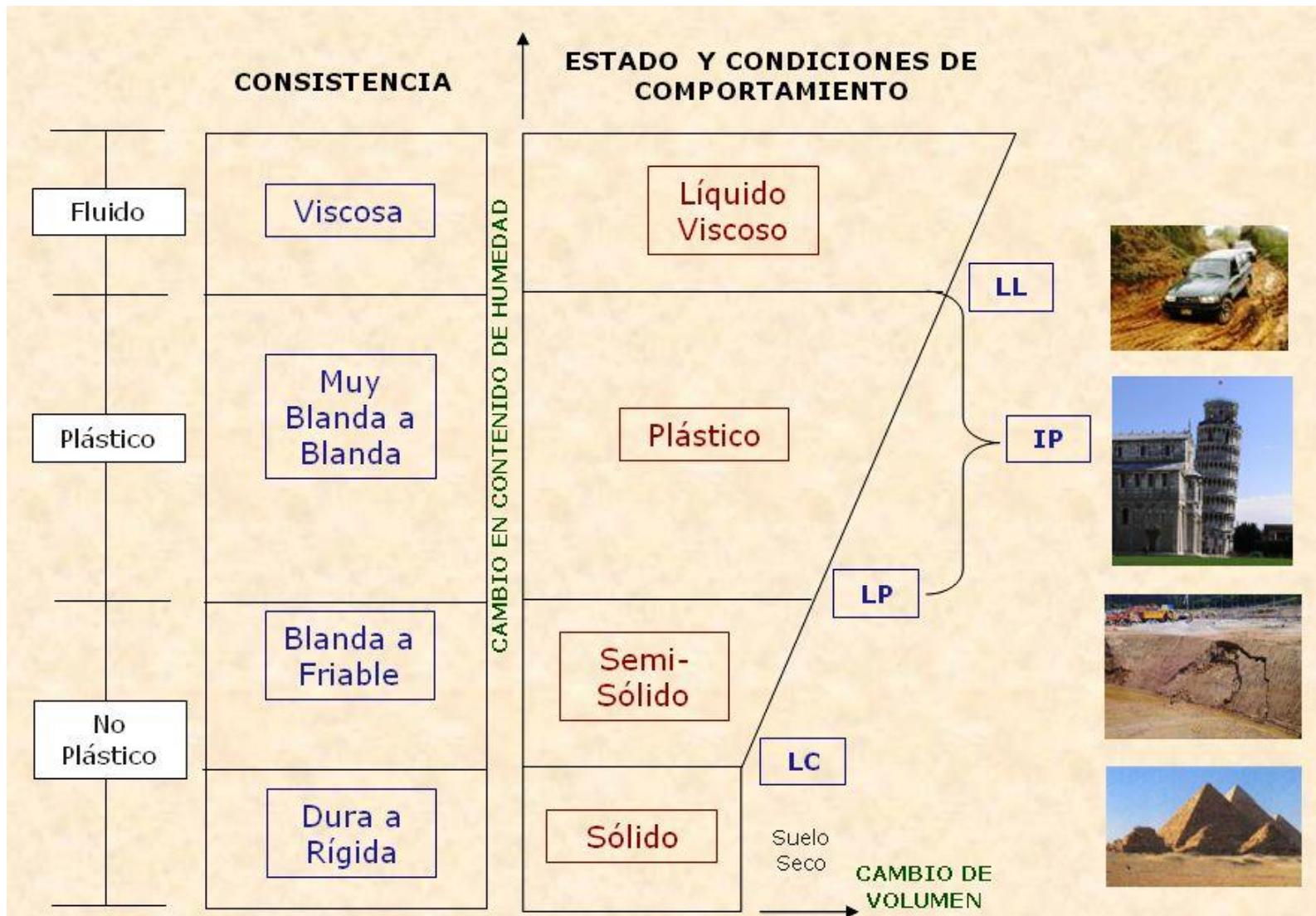
PROPIEDADES



UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

• Interacción suelo - agua





UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

Mecánica de los Materiales

FUERZAS



TENSIONES

DESPLAZAMIENTO



DEFORMACIONES



RELACIONES
CONSTITUTIVAS



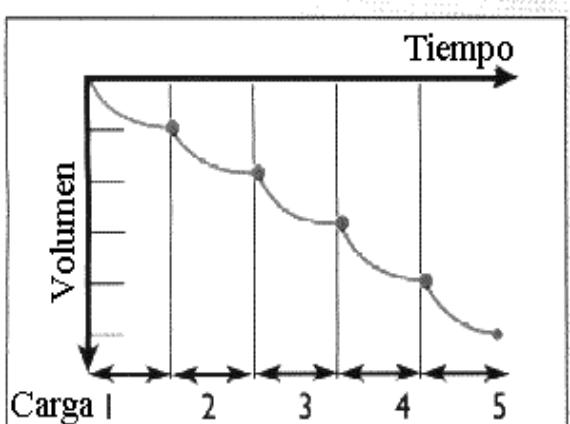


UNC

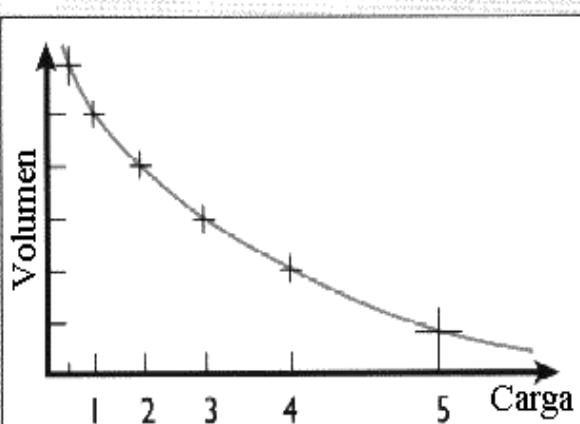
Universidad
Nacional
de Córdoba

PROPIEDADES

• Rigidez (Deformabilidad)



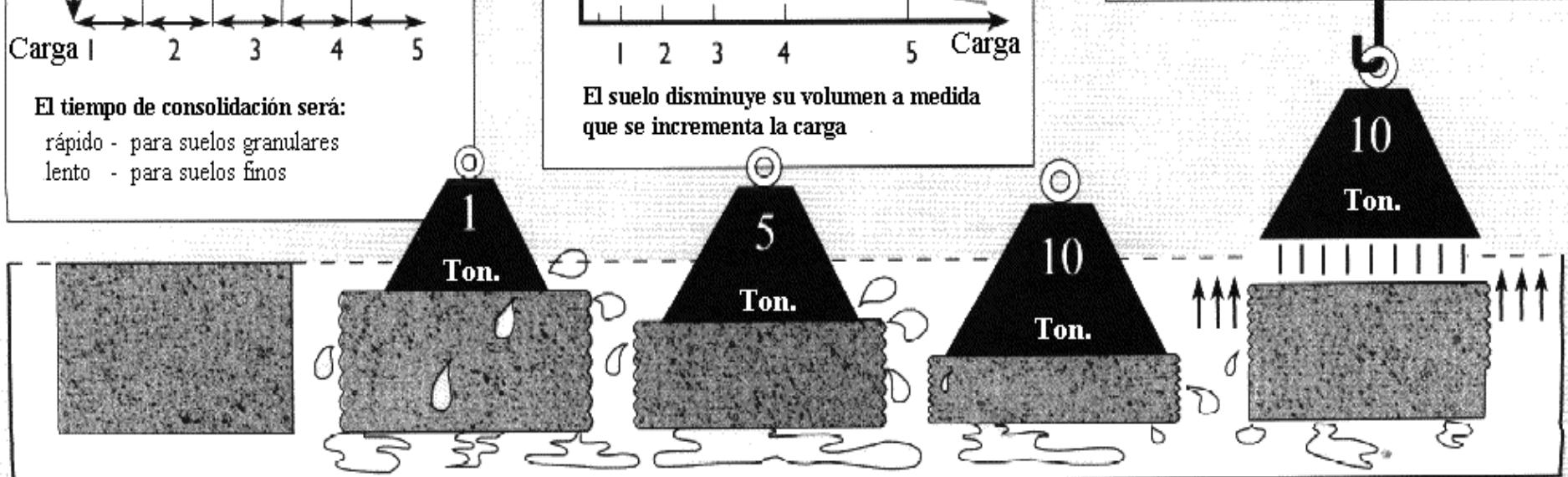
El tiempo de consolidación será:
rápido - para suelos granulares
lento - para suelos finos



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



El estado original del suelo es en parte recuperable al retirar la carga





UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

PROPIEDADES

• **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).

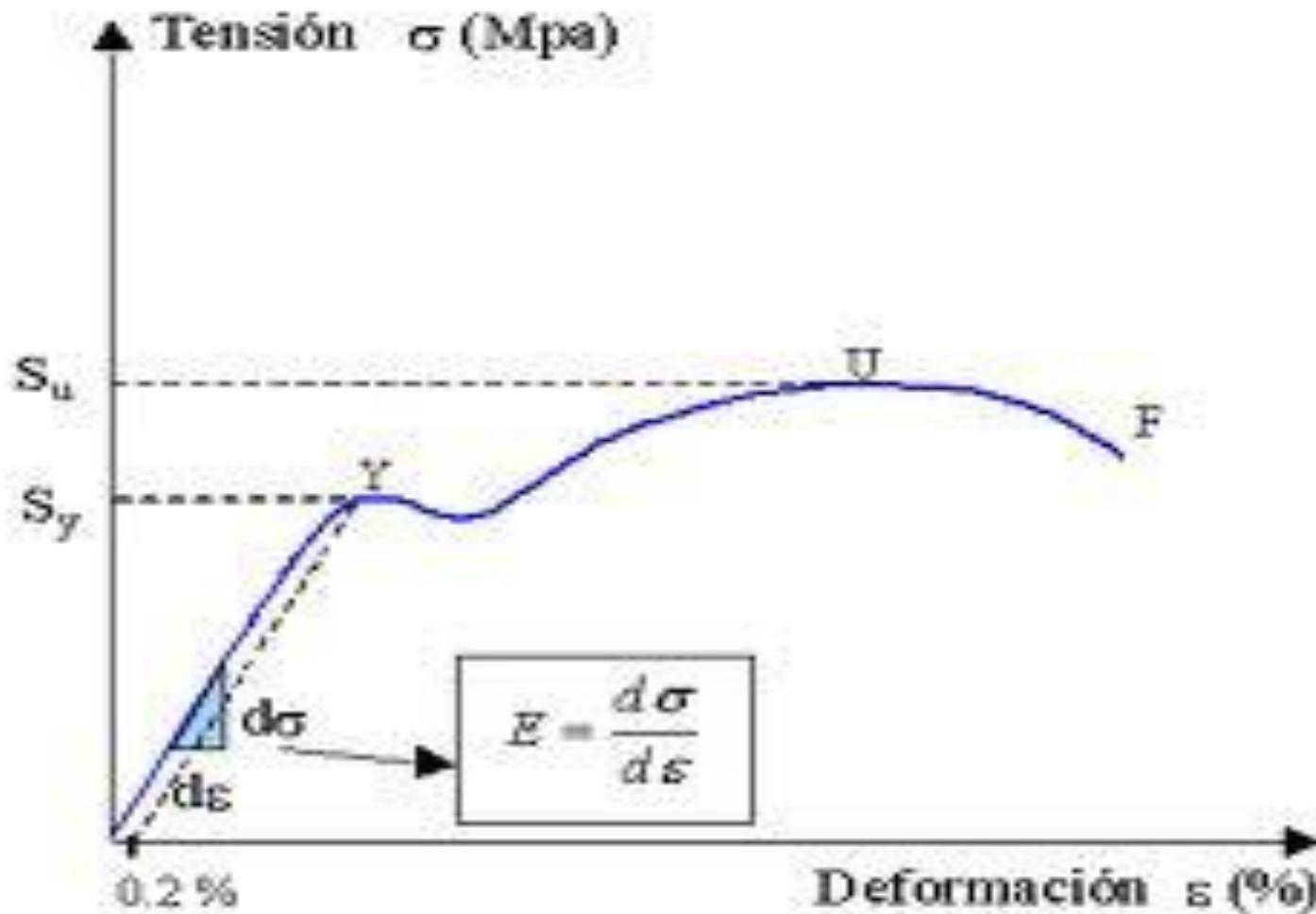


UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

PROPIEDADES

- Rigidez (Deformabilidad)



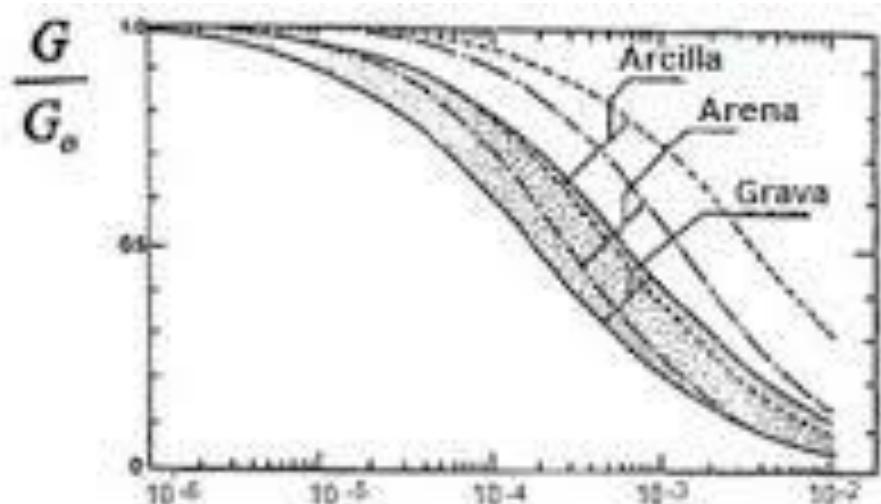
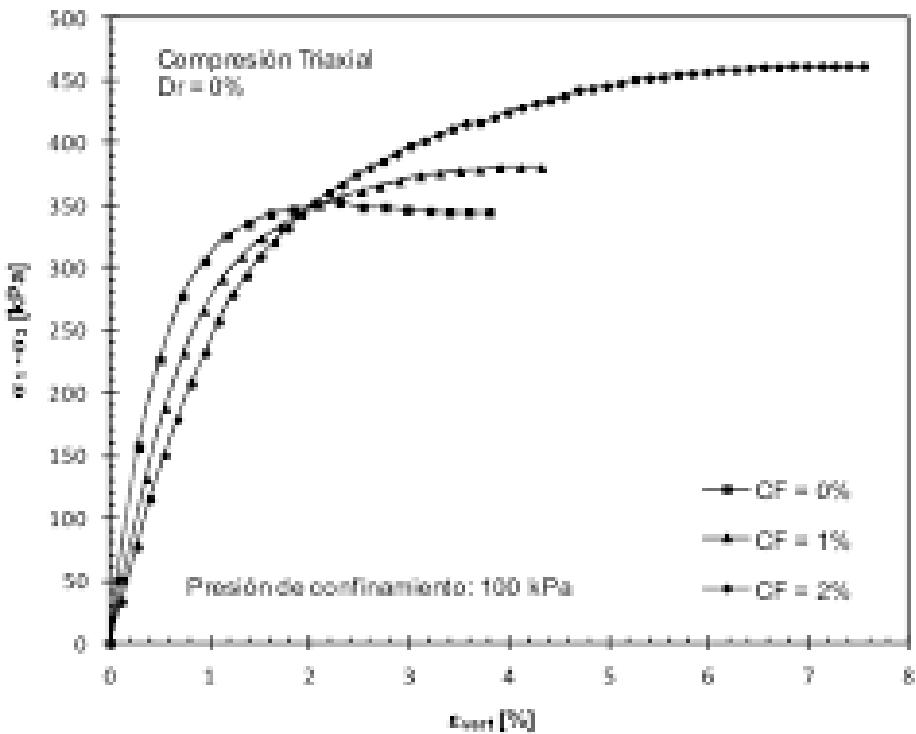


UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

PROPIEDADES

• Rigidez (Deformabilidad)





UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

PROPIEDADES

• 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.

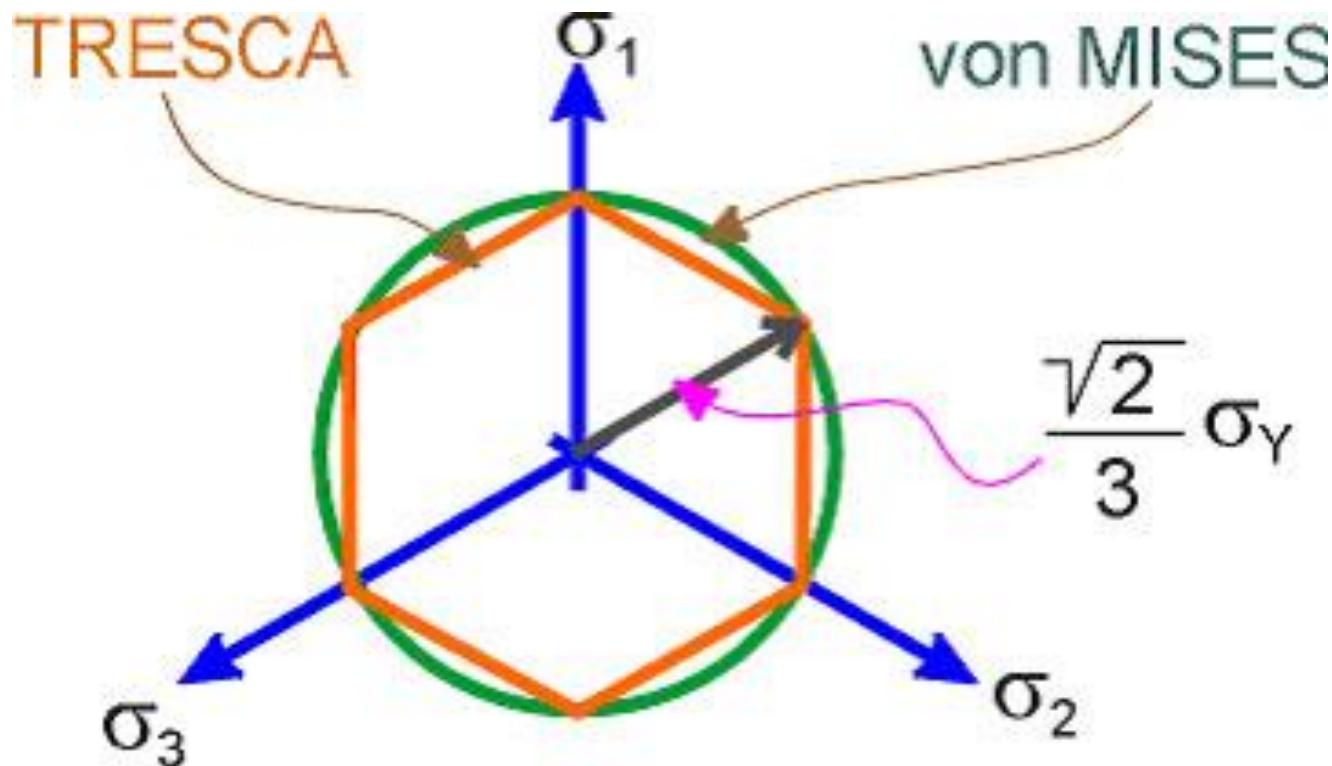


UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

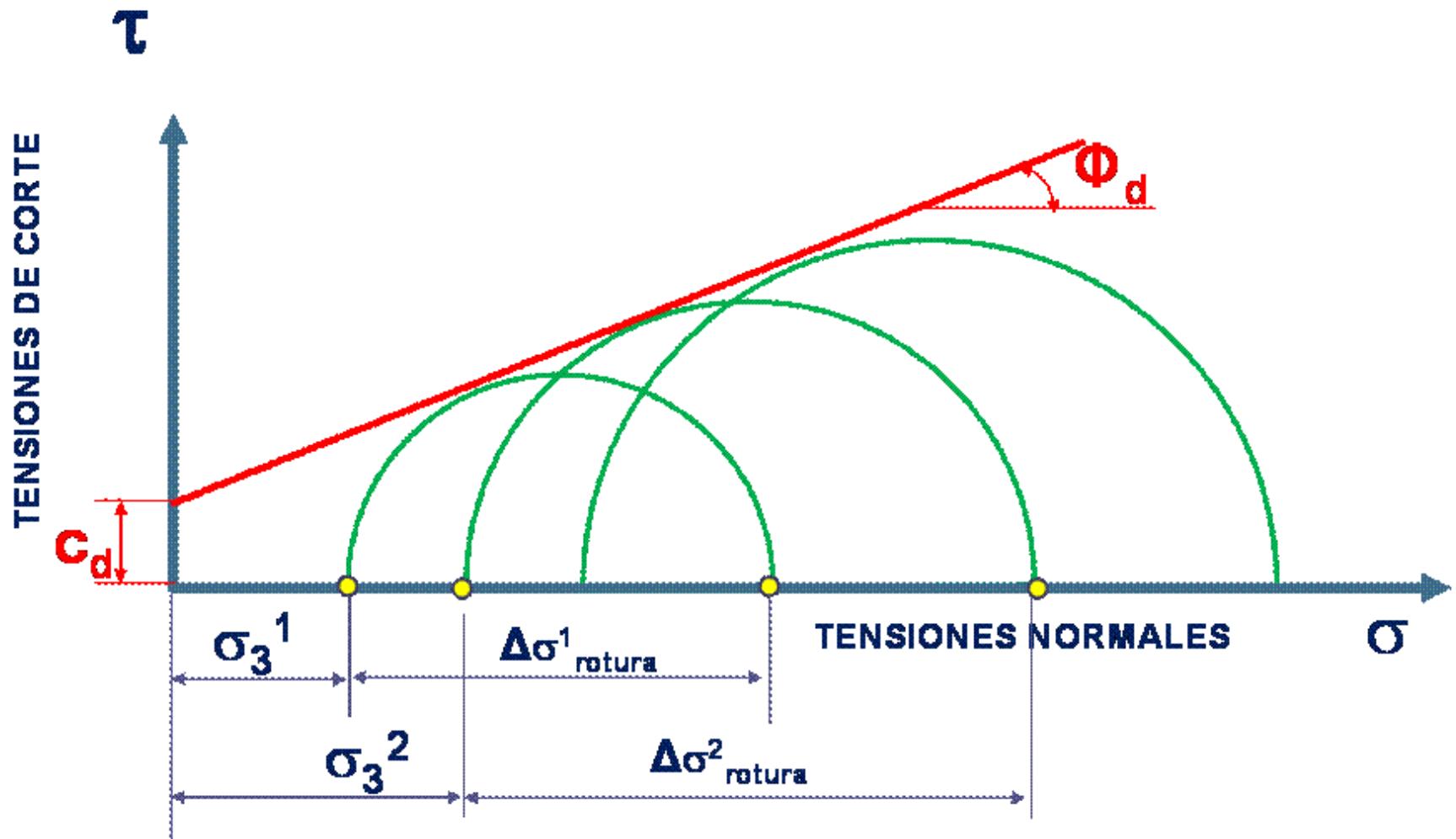
PROPIEDADES

- Resistencia (falla en materiales homogéneos)



PROPIEDADES

- Resistencia (al corte en suelos)





UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

PROPIEDADES

CONCLUSION

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



UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

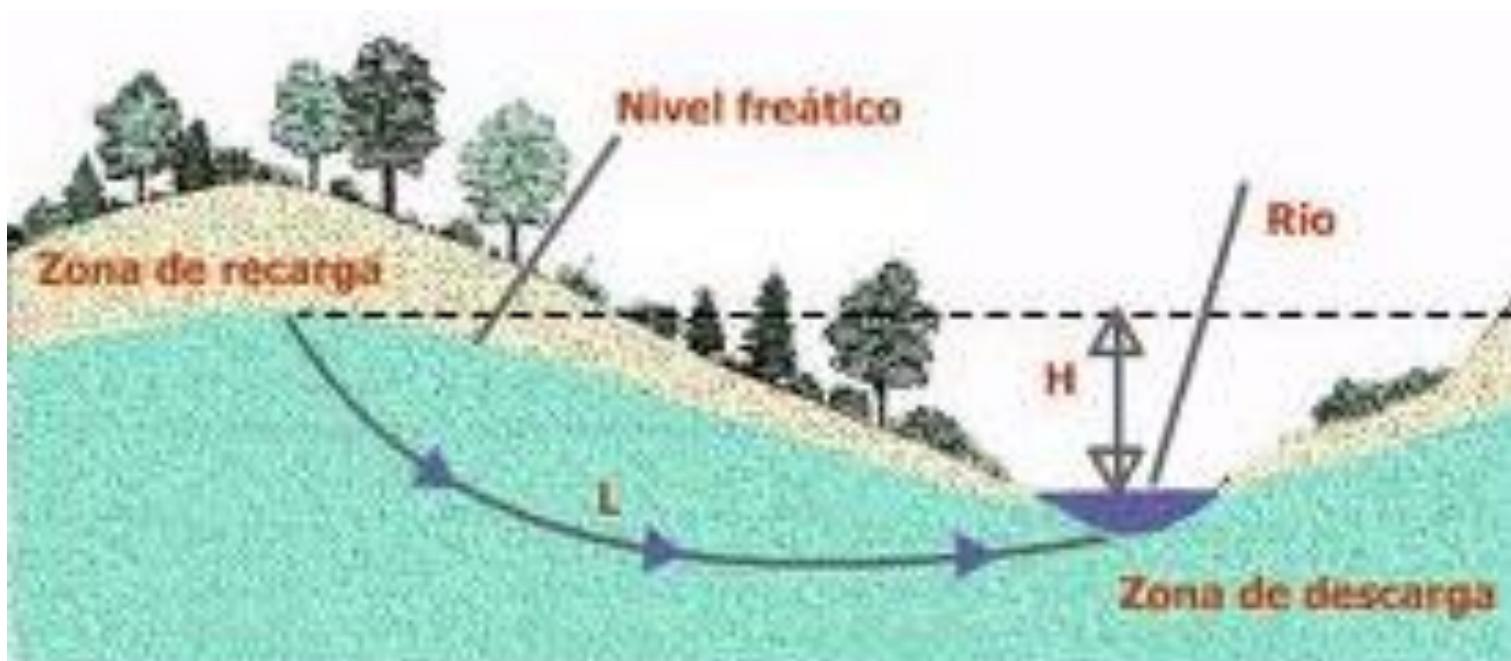
PROPIEDADES

- **Compactabilidad**



TEORIAS DE COMPORTAMIENTO

- Escurrimiento del agua en un medio poroso



Ley de Darcy

$$V = K \frac{H}{L} ; V = K'i$$

V = velocidad del agua

K = coeficiente de permeabilidad

i = gradiente hidráulico

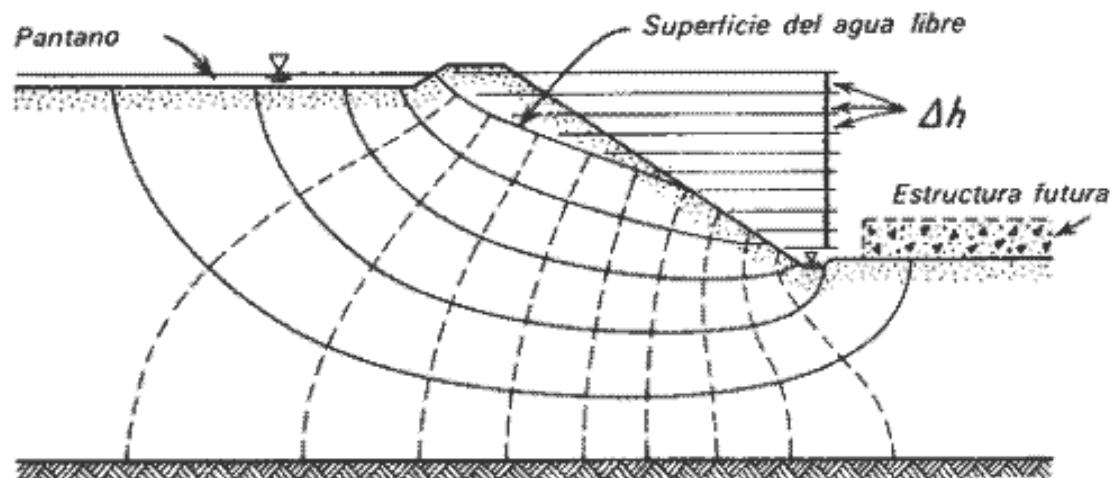
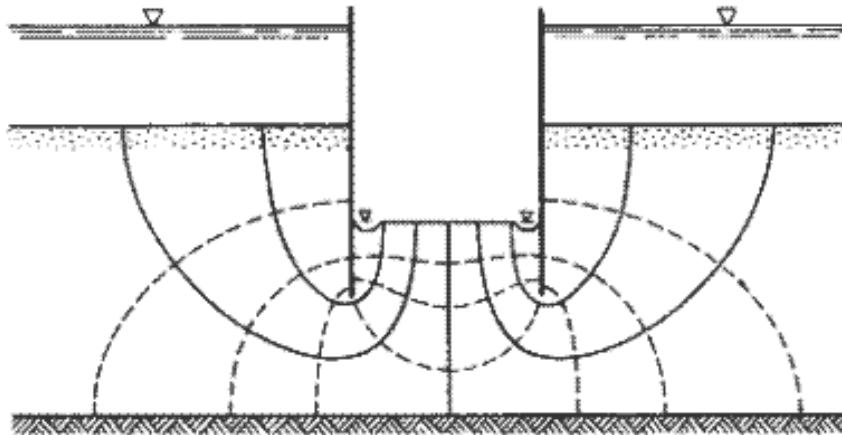


UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

TEORIAS DE COMPORTAMIENTO

- Escurrimiento del agua en un medio poroso



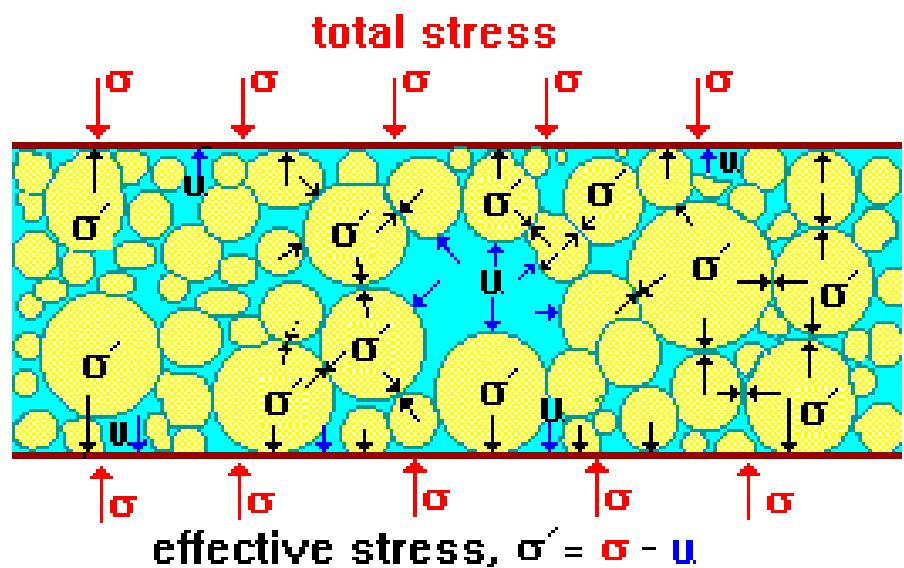
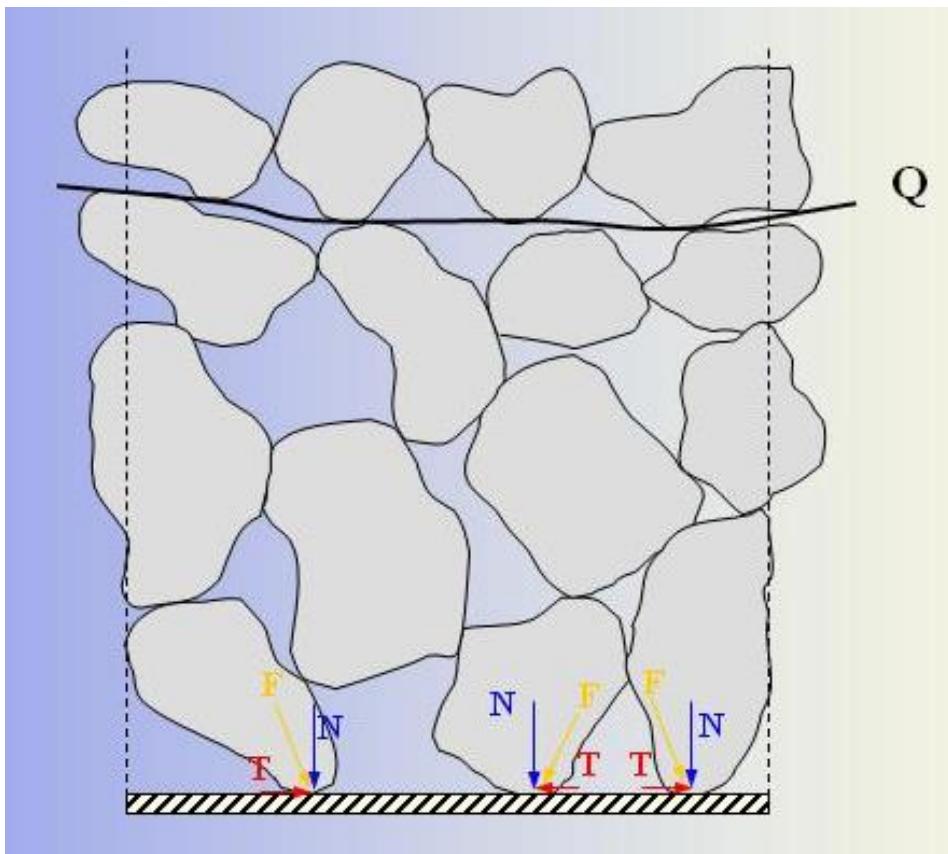


UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

TEORIAS DE COMPORTAMIENTO

- Distribución de presiones



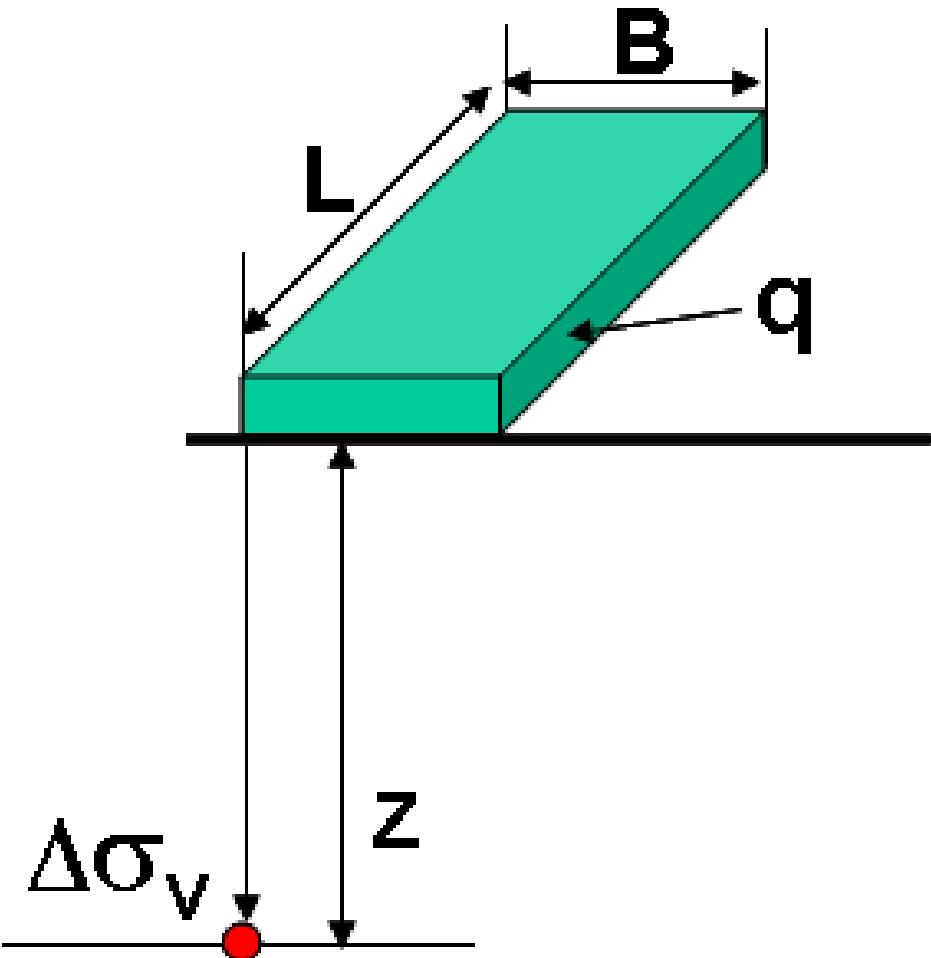
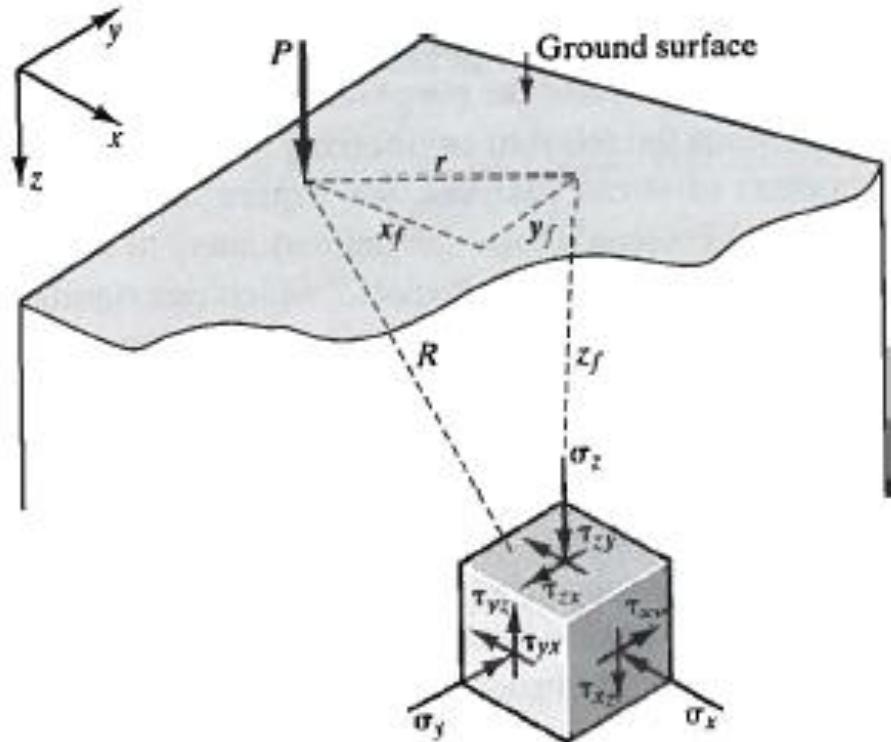


UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

TEORIAS DE COMPORTAMIENTO

- Distribución de presiones





UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

TEORIAS DE COMPORTAMIENTO

- **Empuje activo, empuje pasivo**



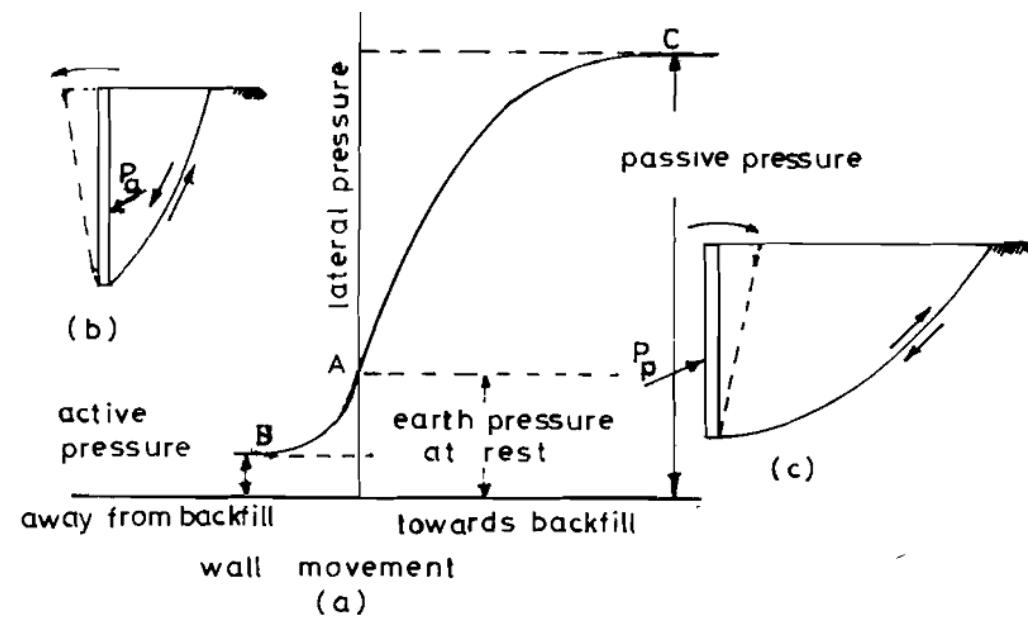
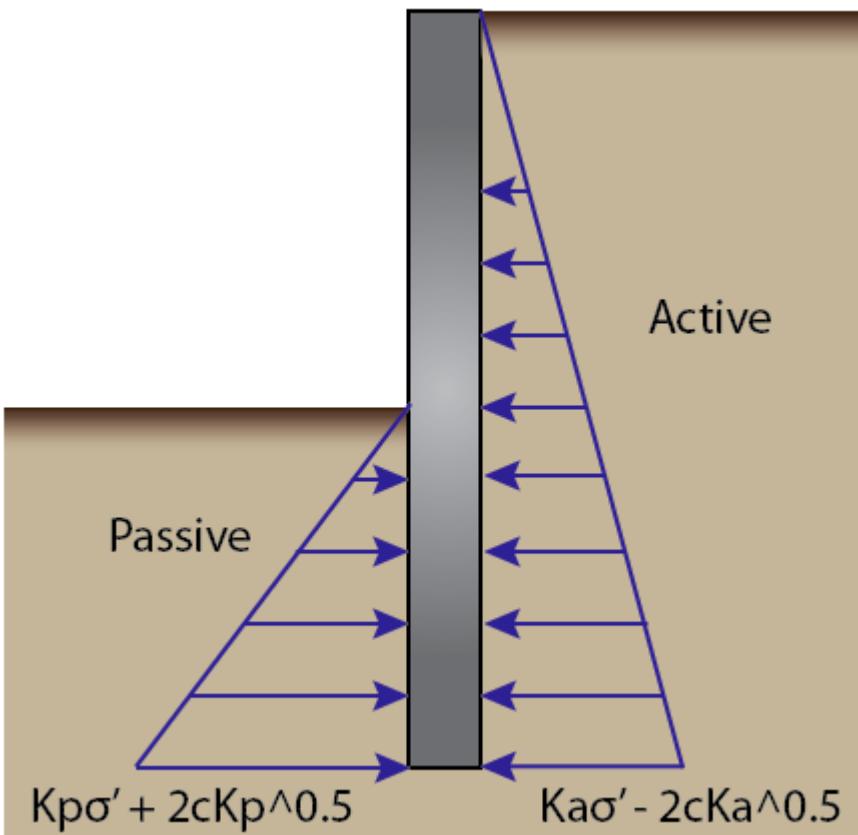


UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

TEORIAS DE COMPORTAMIENTO

- Empuje activo, Empuje pasivo



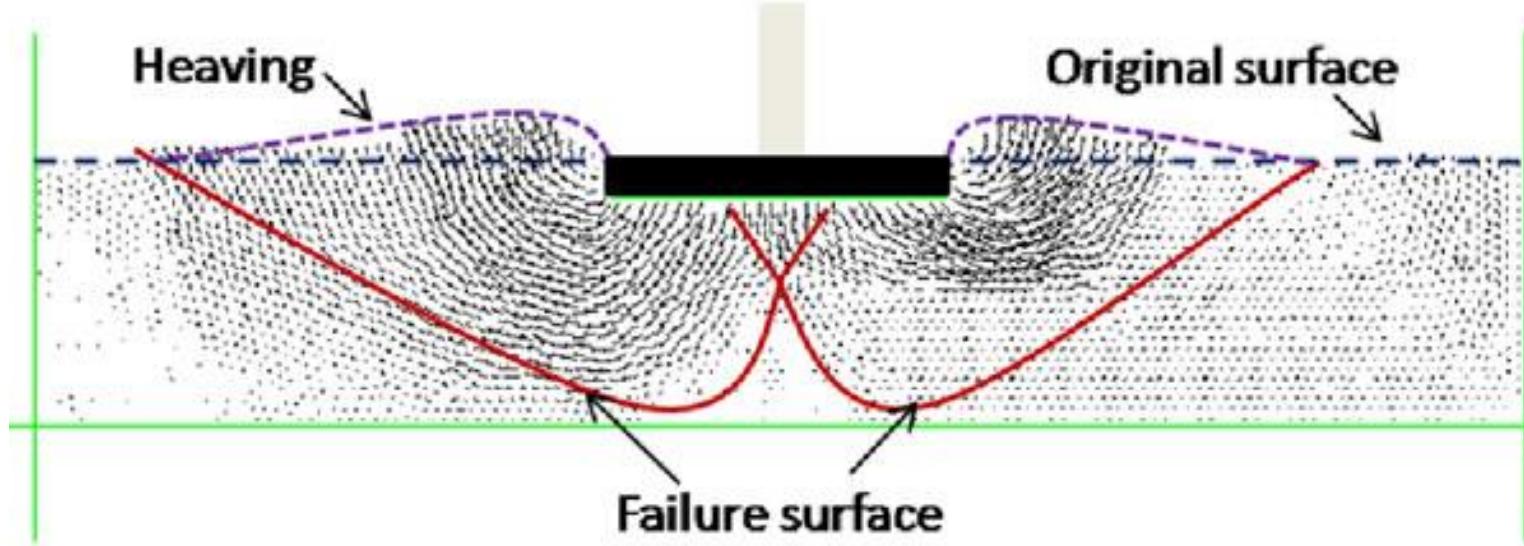
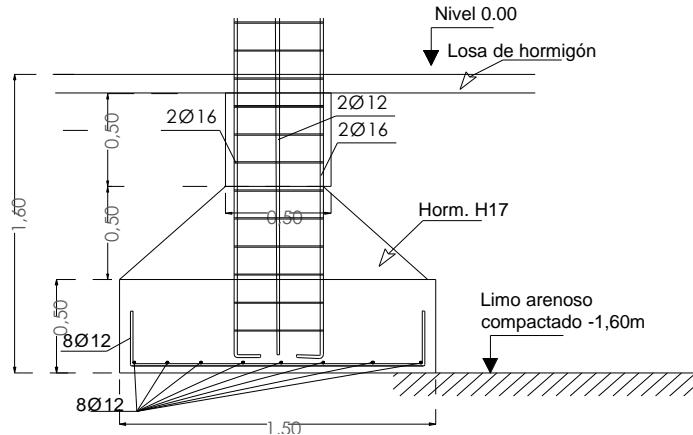


UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

TEORIAS DE COMPORTAMIENTO

• Capacidad de Carga

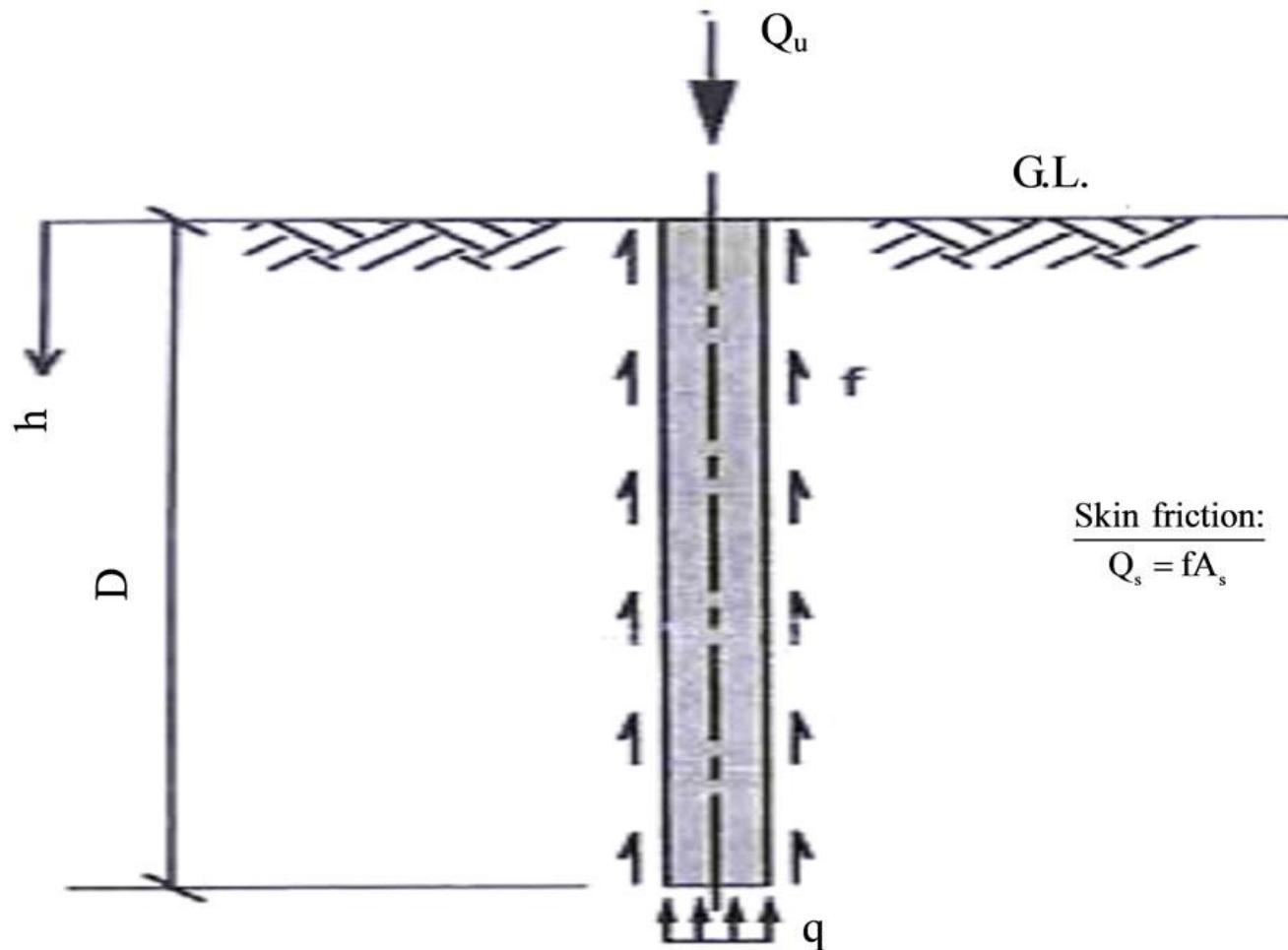




UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

TEORIAS DE COMPORTAMIENTO



End bearing:
$$Q_b = qA_b$$



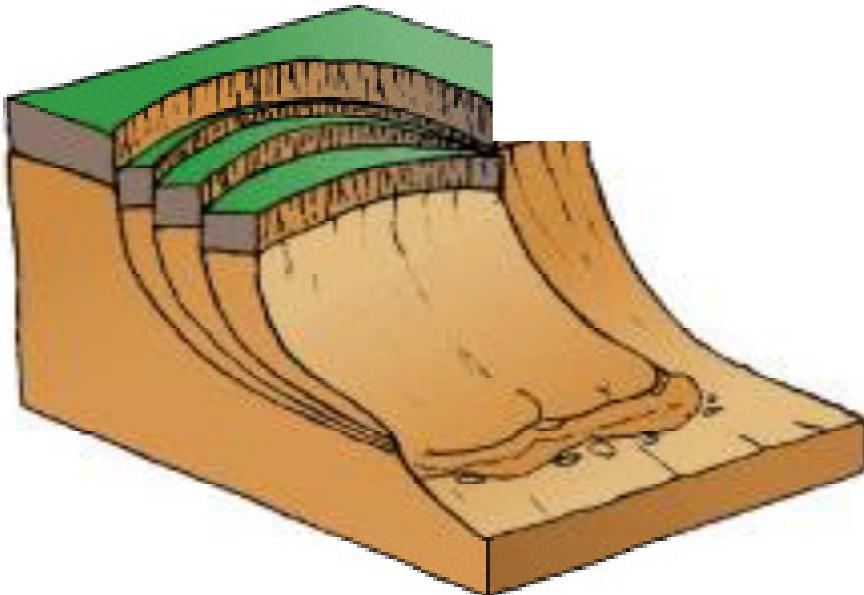
UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

TEORIAS DE COMPORTAMIENTO

- **Estabilidad de taludes**

Falla circular





UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

TEORIAS DE COMPORTAMIENTO

- Estabilidad de taludes

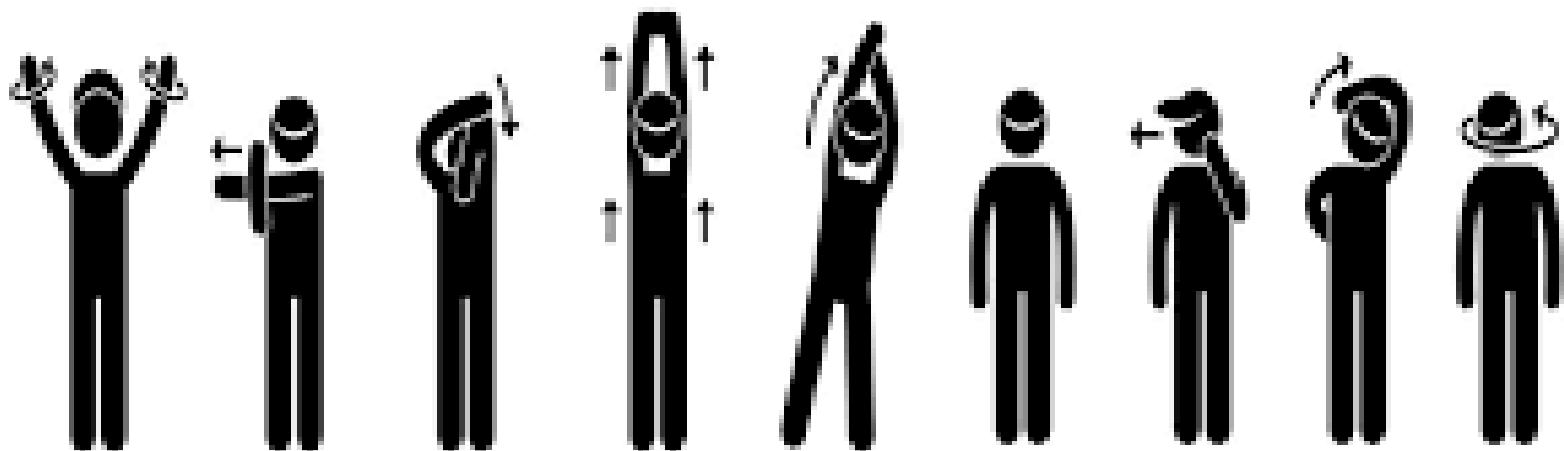




UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

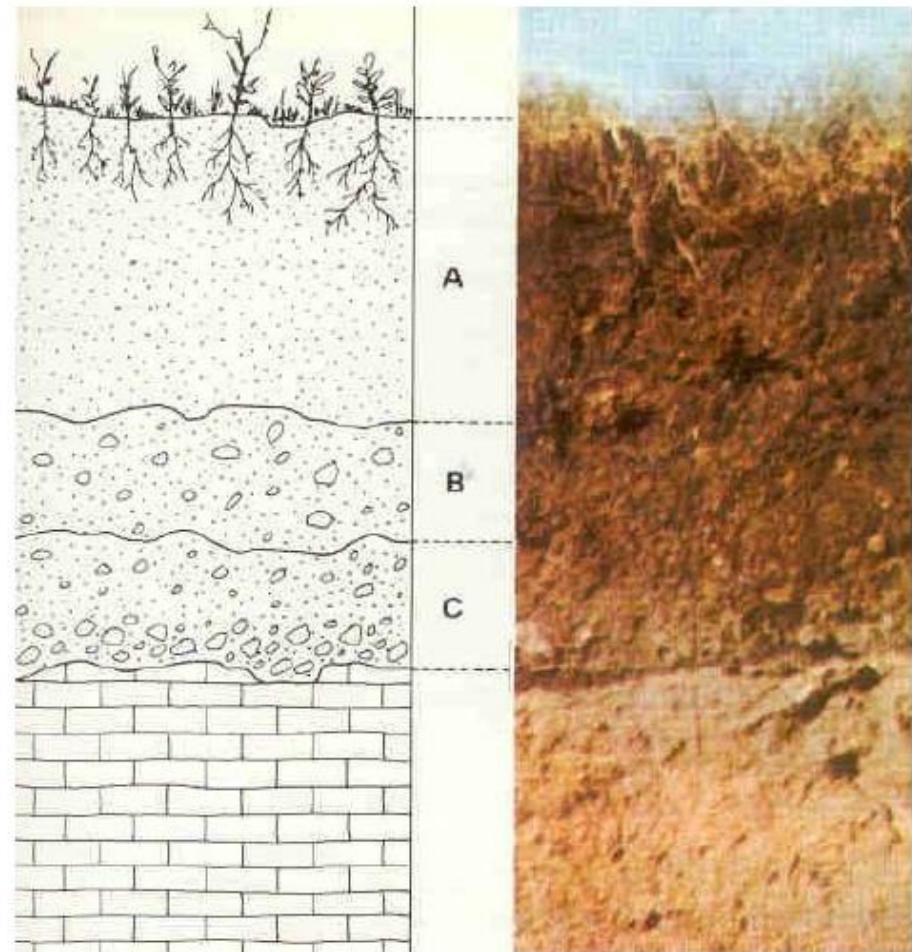
PAUSA



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





UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

Clasificación de los suelos

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

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

Suelos Gruesos: Partículas mayores a los 74μ (0,074 mm)

Suelos Finos: Partículas menores a los 74μ

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

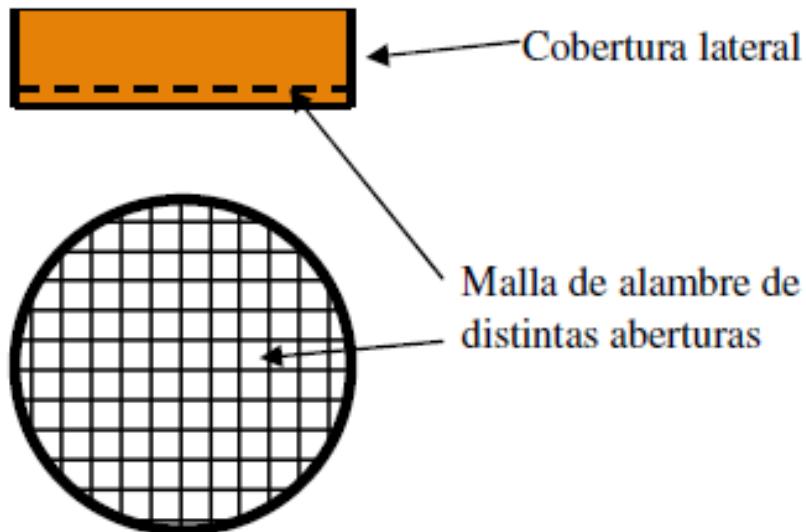
Suelos Finos: Las fuerzas que gobiernan su comportamiento son fundamentalmente en las arcillas, las de atracción y repulsión de origen físico - químicas. (arcillas y limos)



UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

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



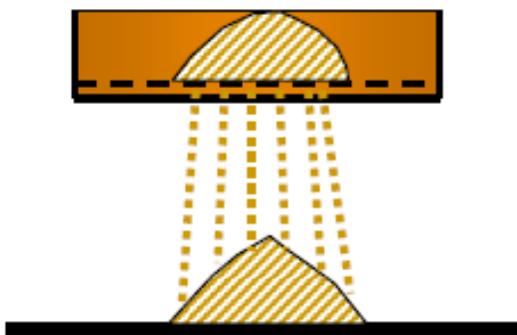
UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

Ensayo granulométrico



Suelo seco a pasar por el tamiz

Peso seco total conocido "Ws_{Total}"Peso de suelo seco retenido por
el tamiz Ws_{Ret}Peso de suelo seco que pasa
el tamiz Ws_{Pasa}

Porcentaje retenido

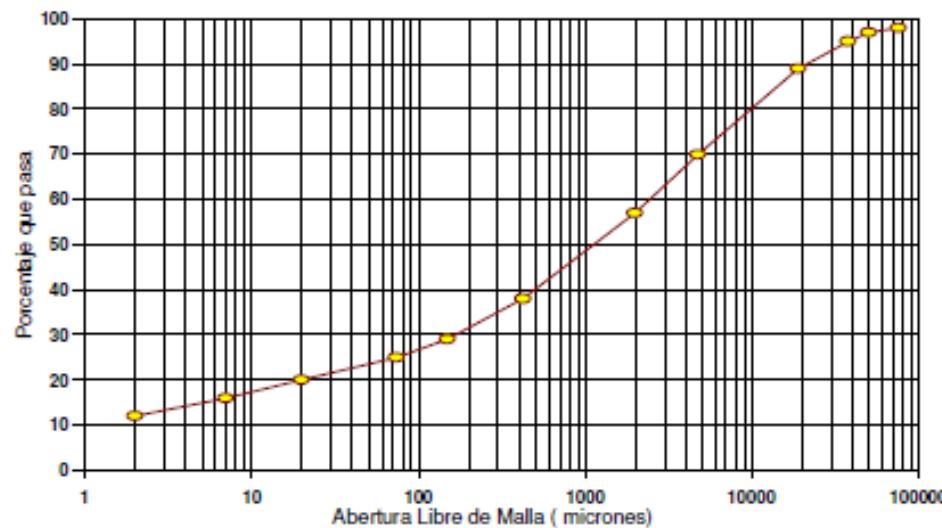
$$\% \text{ Ret.} = \frac{W_{S_{Ret}}}{W_{S_{Total}}} \cdot 100$$

Porcentaje que pasa

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

$$\% \text{ Pasa} = 100 - \% \text{ Retenido}$$

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.

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

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

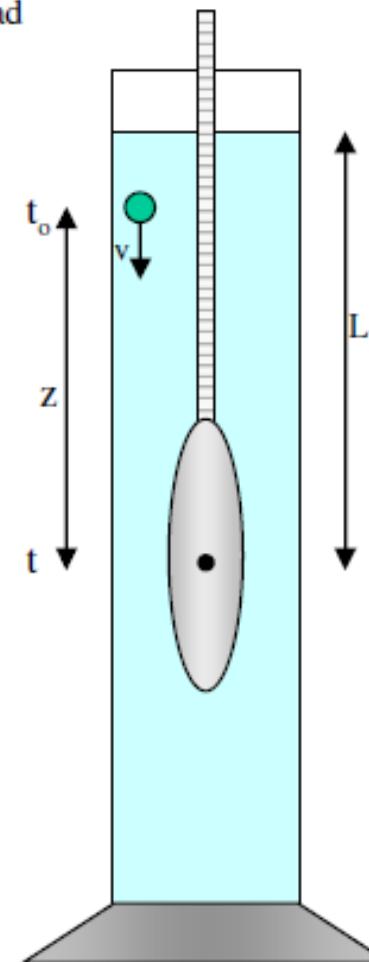
Donde: $\gamma_s = 2,65 \text{ gr/cm}^3$; $\gamma_w = 1 \text{ gr/cm}^3$; $\mu = 9,12 \times 10^{-6} \text{ gr.seg/cm}^2$ por lo tanto a un tiempo "t" y a una profundidad L no se encontrarán partículas mayores a D

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

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)



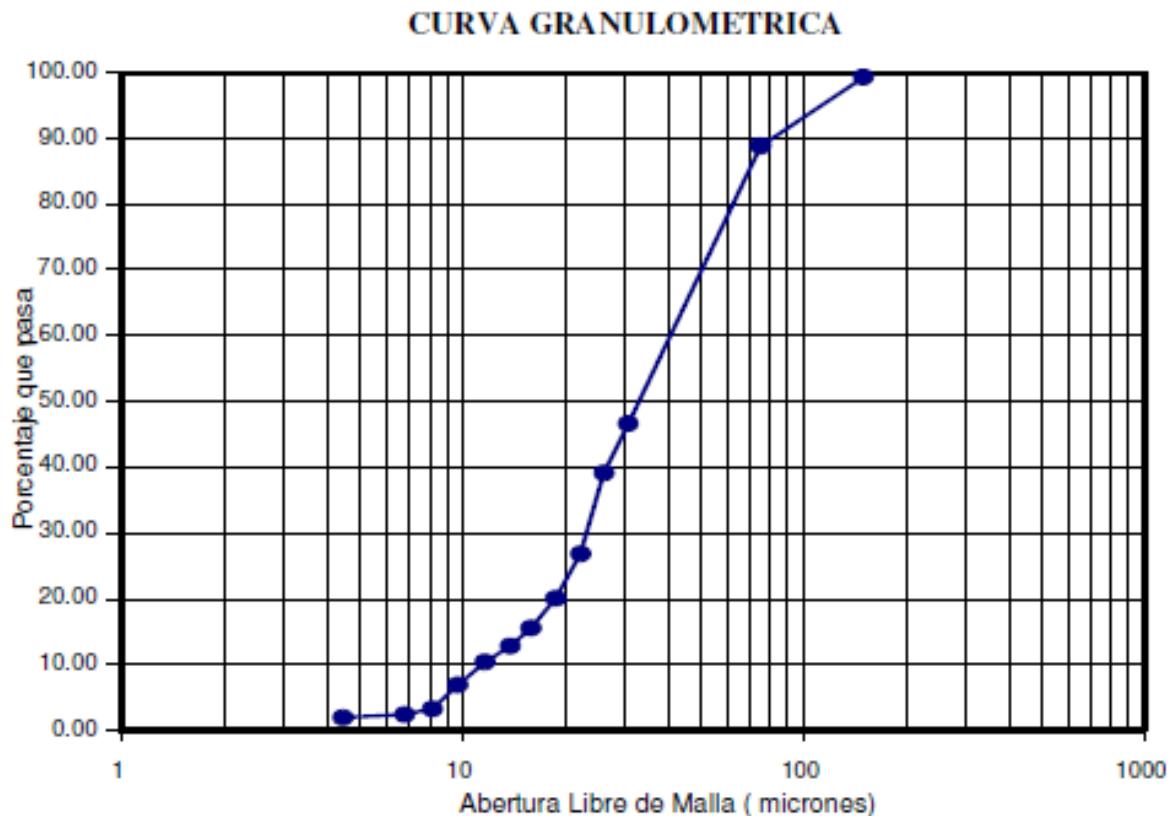


UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

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



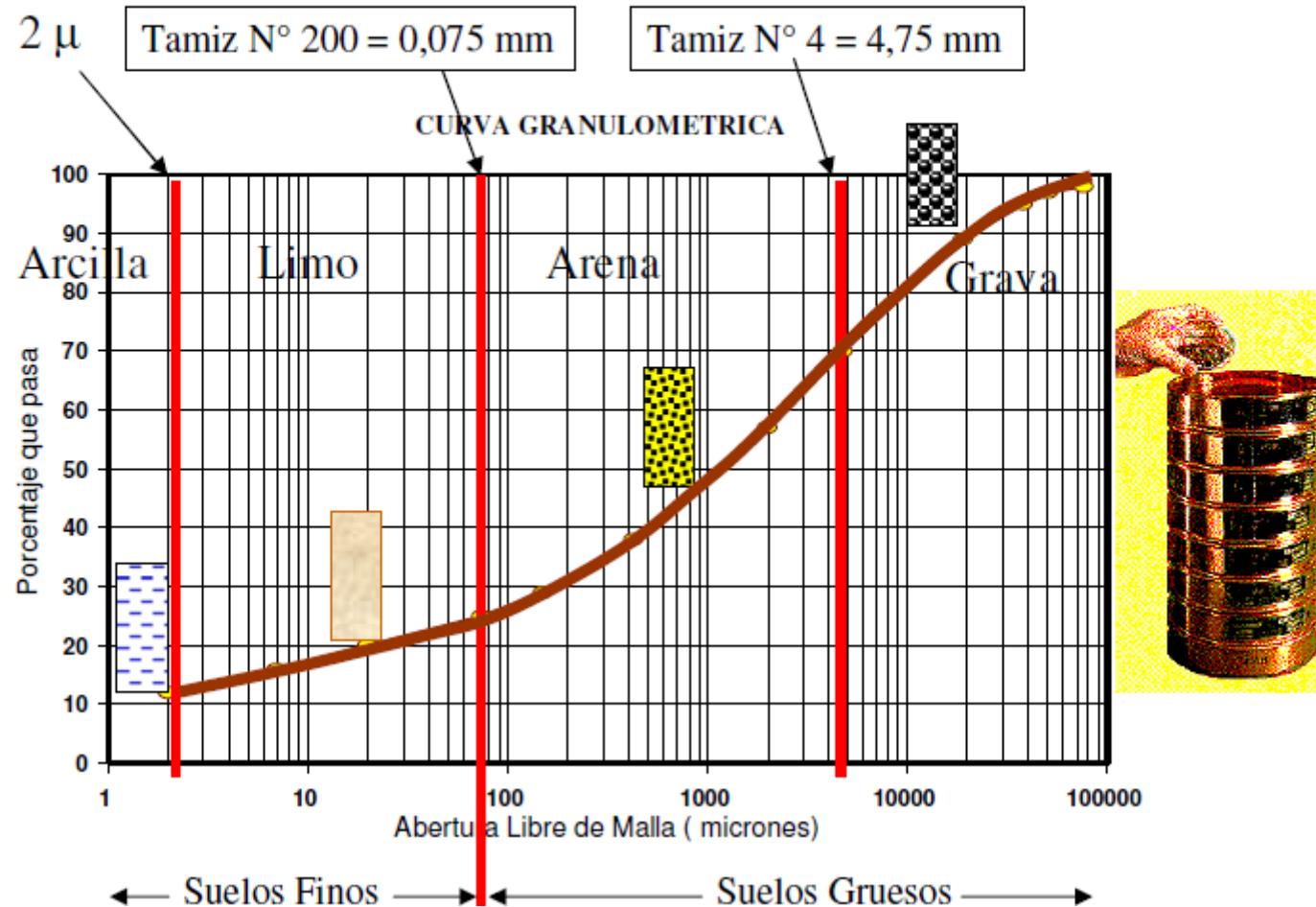


UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

Clasificación de suelos

1º) por tamaños: curva granulométrica



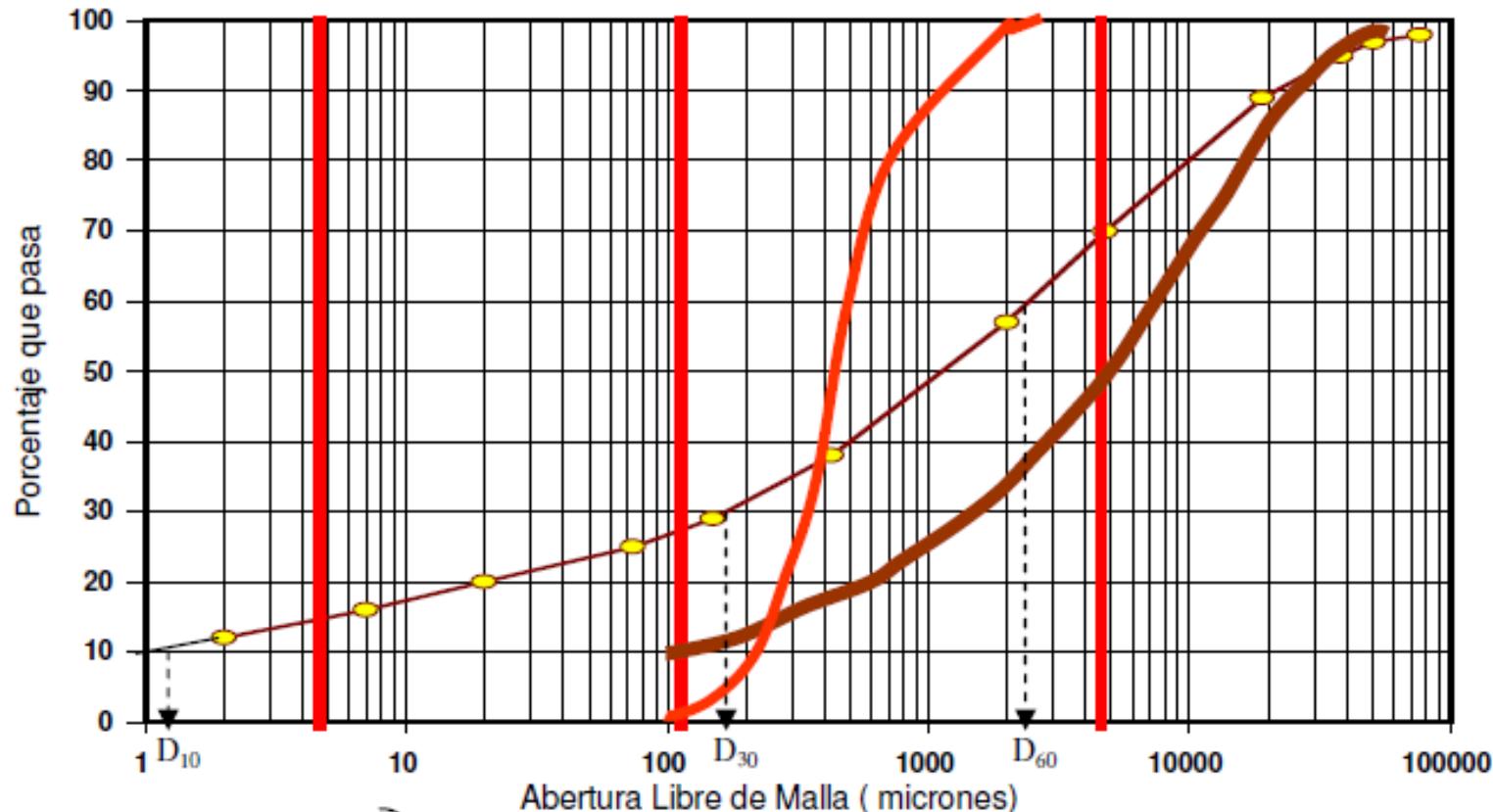
$$Cu = D_{60}/D_{10}$$

Coeficiente de uniformidad

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

Coeficiente de curvatura

CURVA GRANULOMETRICA



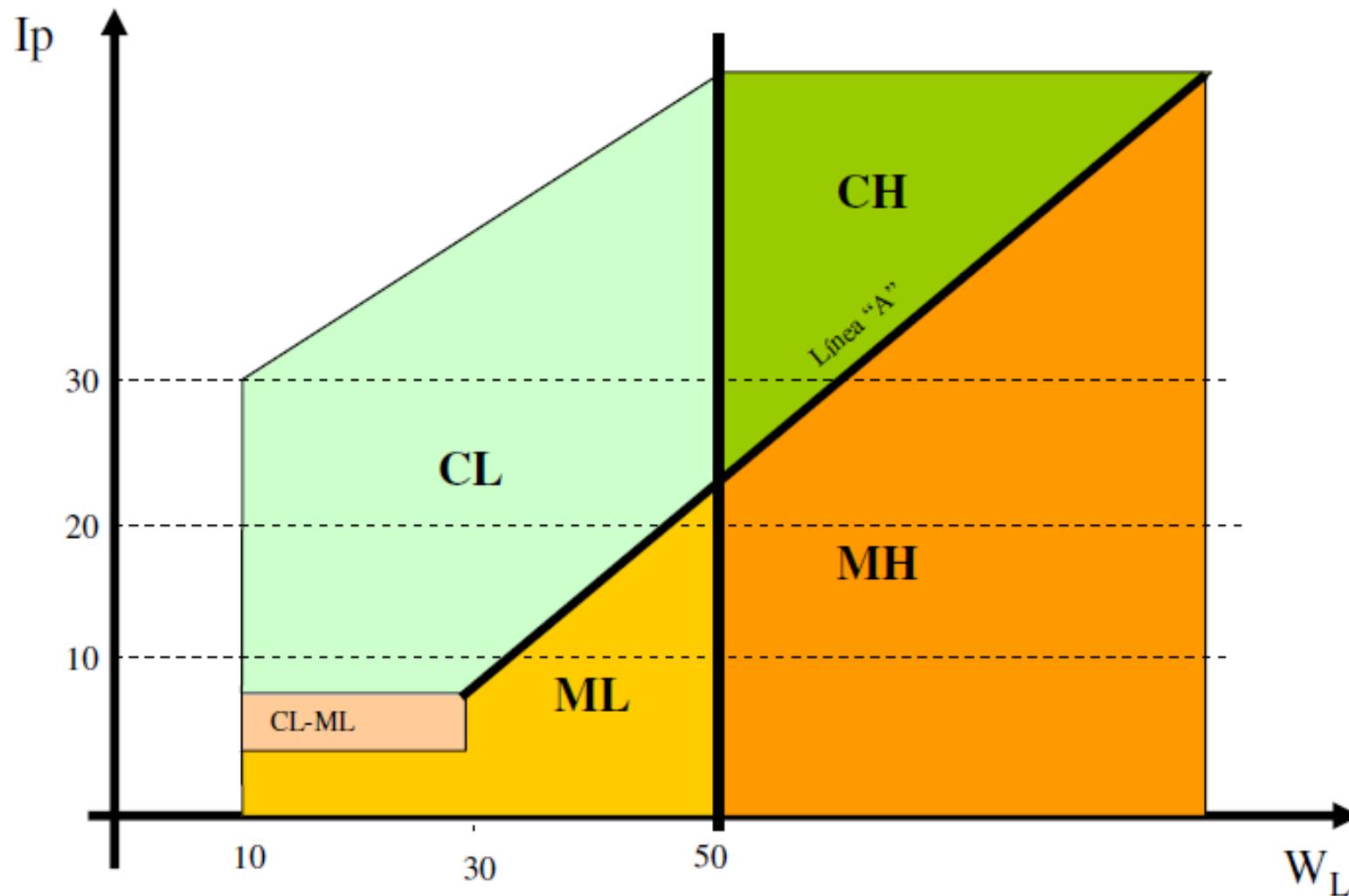
Suelos granulares
bien graduados

$$\left. \right\} 1 < Cc < 3$$

$Cu > 4$ Gravas

$Cu > 6$ Arenas

Carta de clasificación de Suelos Finos (SUC)





UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

Clasificación de los suelos gruesos y finos

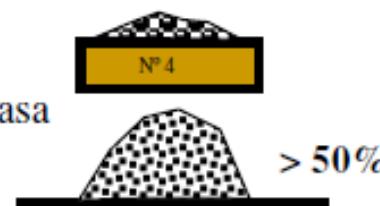
Suelos gruesos
(Pasa # 200 < 50%)

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



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

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

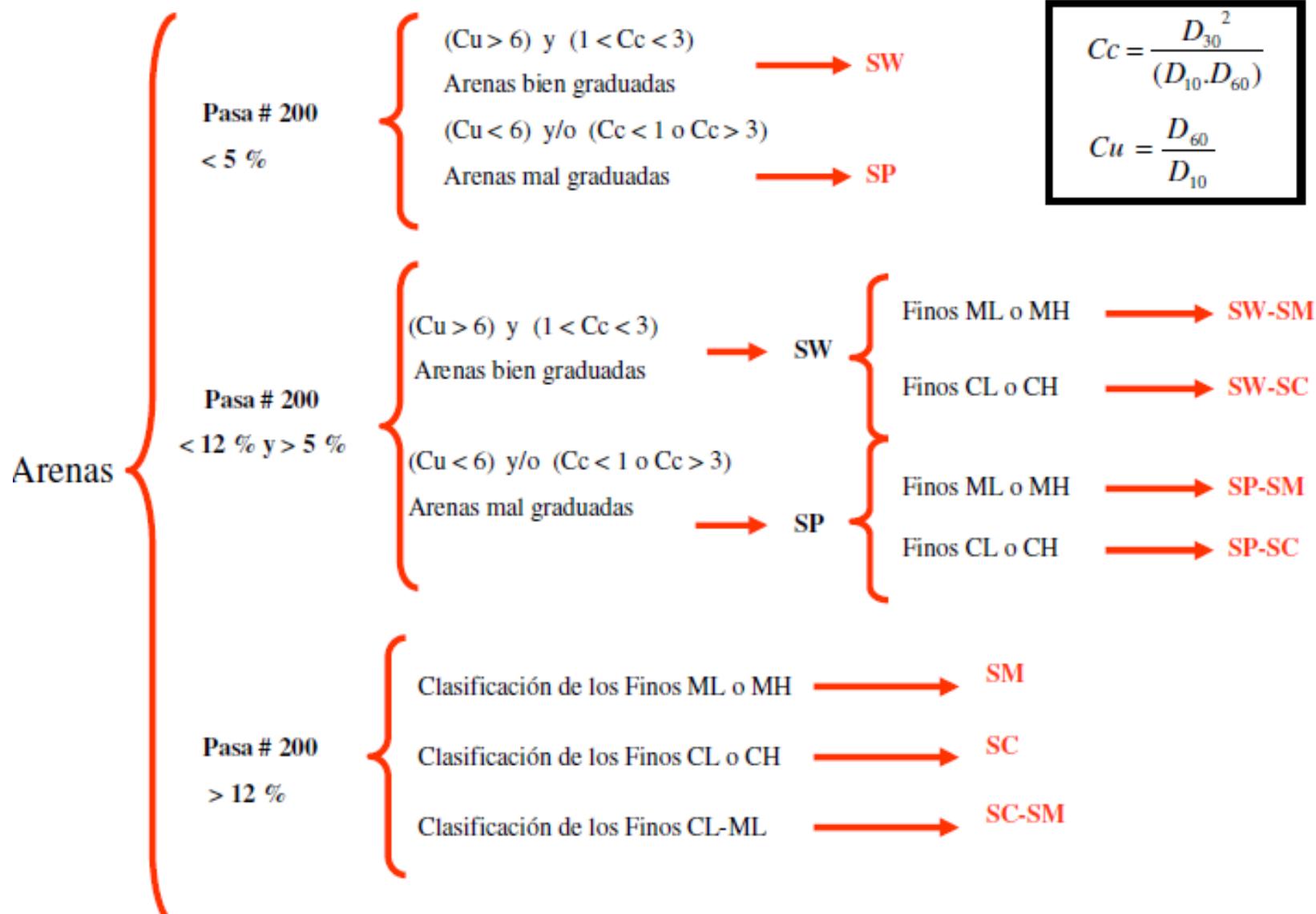
Arcillas y limos con $W_L < 50\%$

Arriba de la línea A: “CL”

Debajo de la línea A: “ML” o “CL-ML”

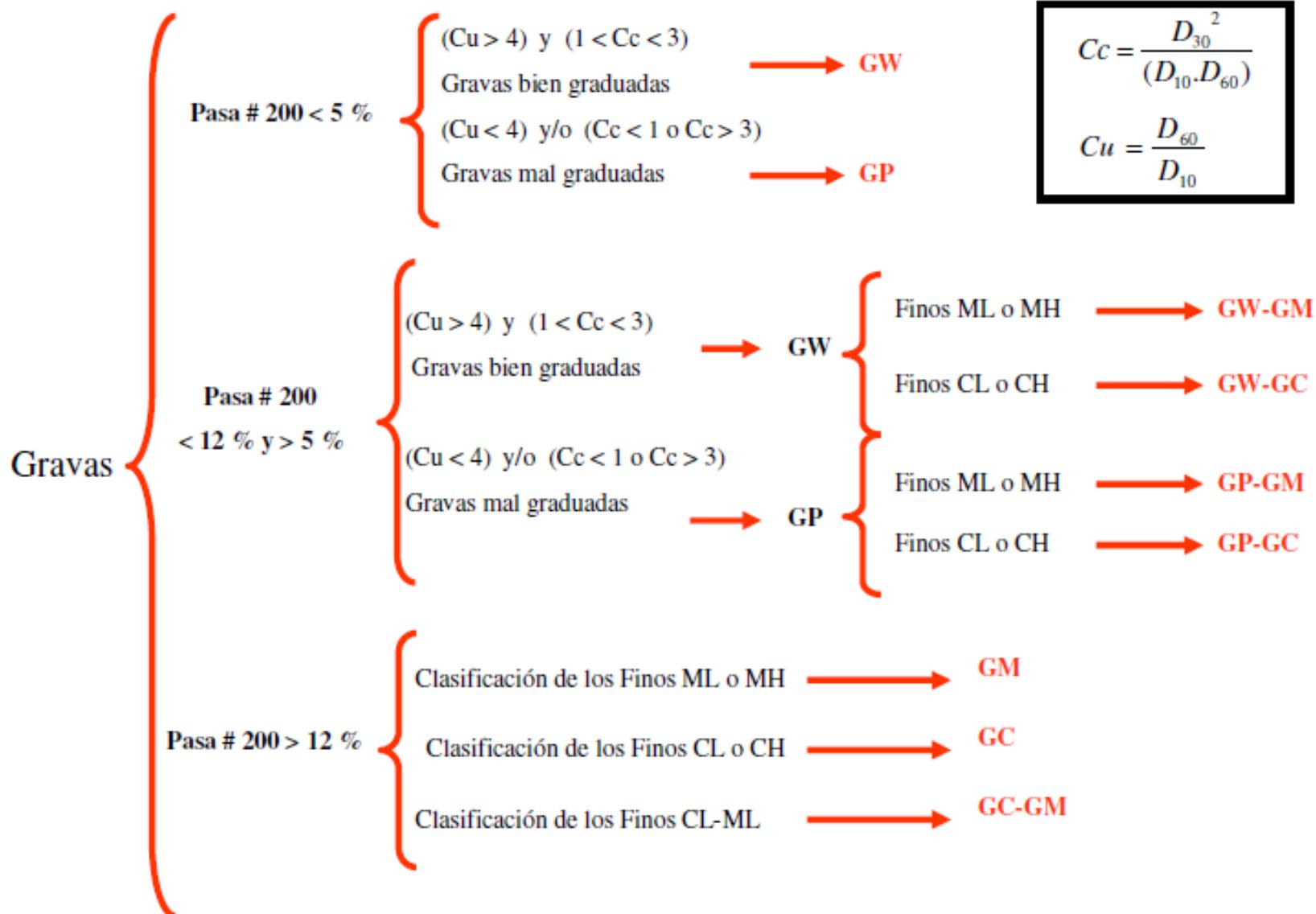


Clasificación de las arenas





Clasificación de las gravas





UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

GRAVAS



ARENAS





UNC

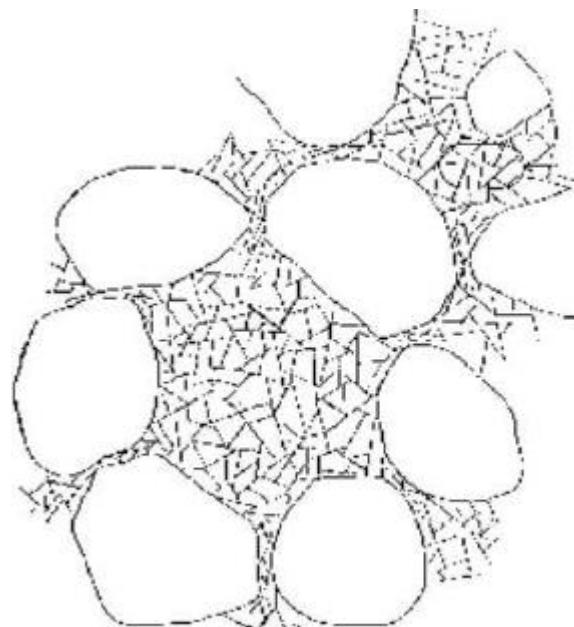
Universidad
Nacional
de Córdoba

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



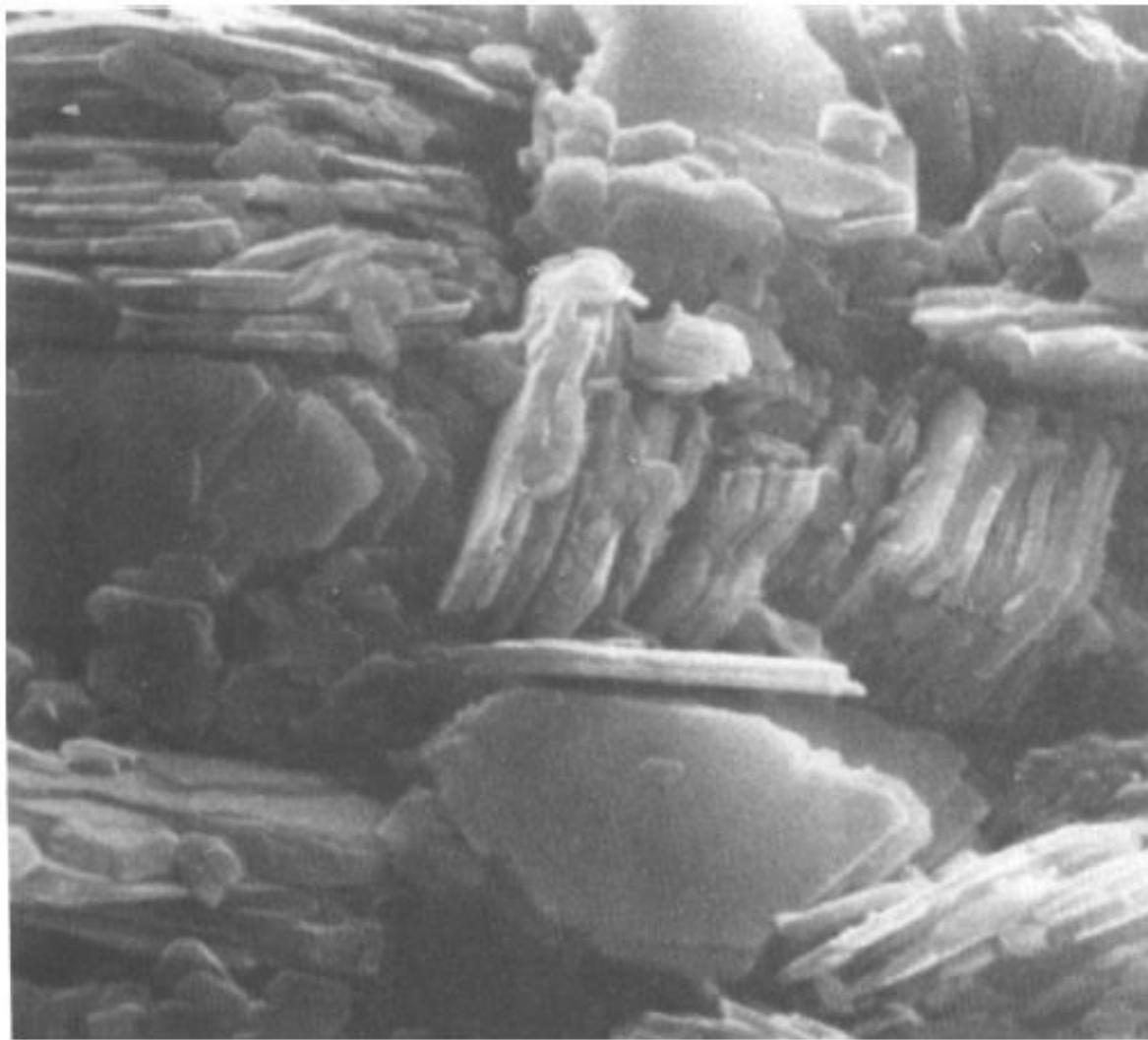


UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

Partículas de arcilla (Kaolinita)

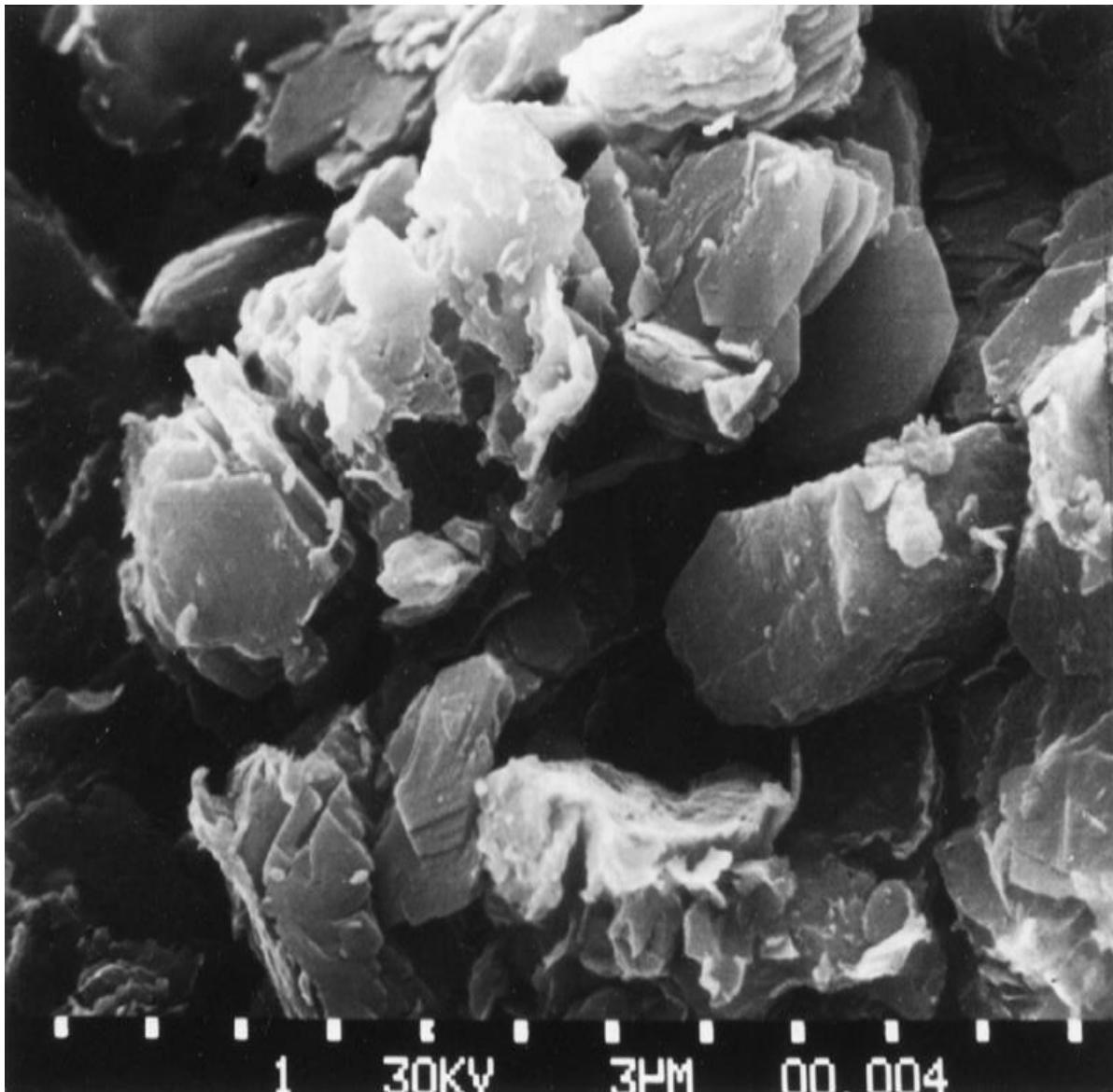
17 μ





UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba



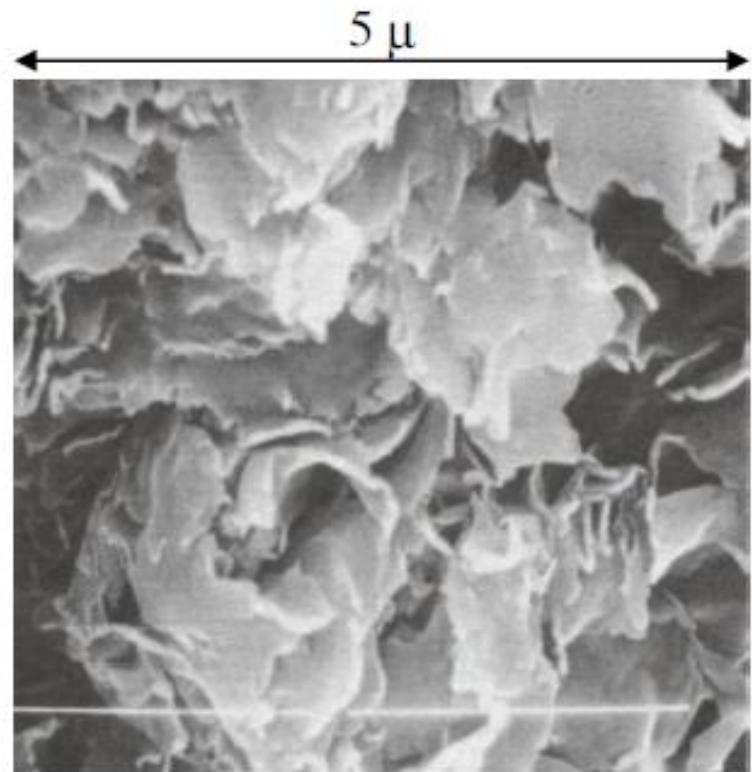
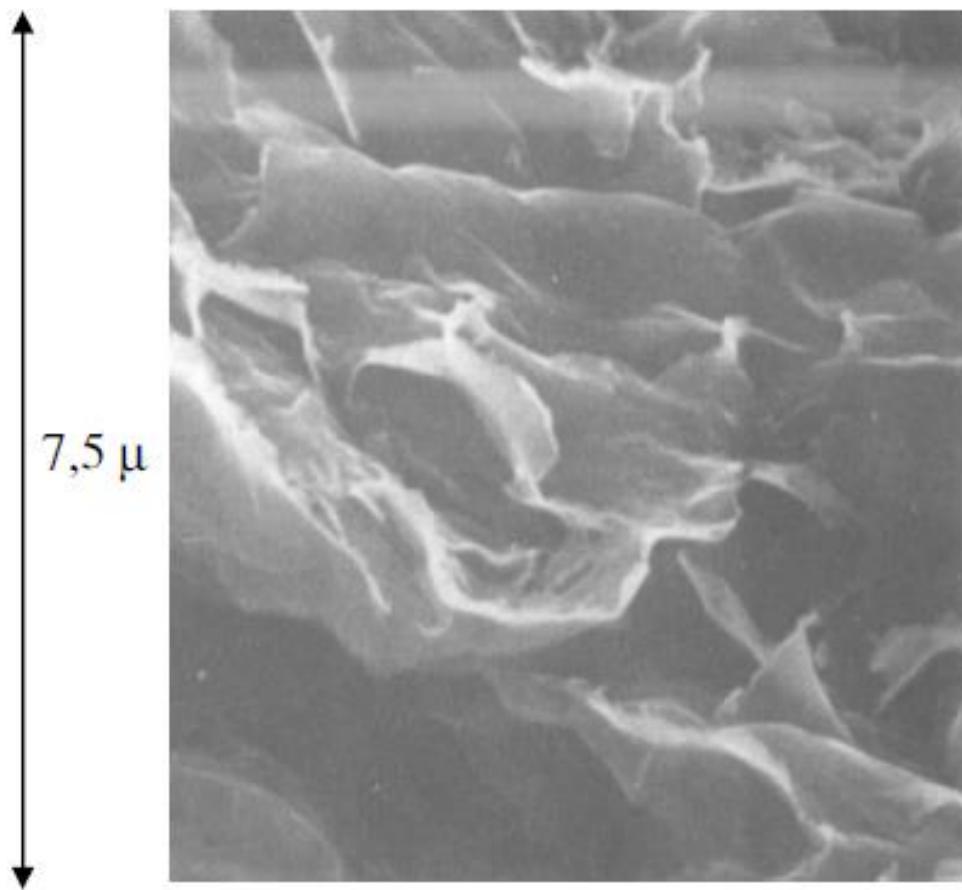
**Scanning electron
micrograph of a
kaolinite specimen
(U.S. Geological
Survey)**



UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

Partículas de bentonita (Monmorillonita)





UNC

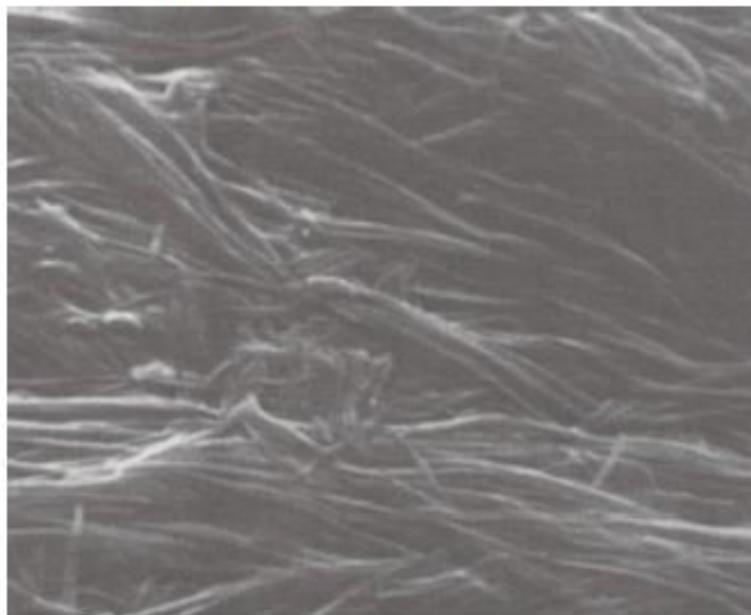
Universidad
Nacional
de Córdoba

Illita

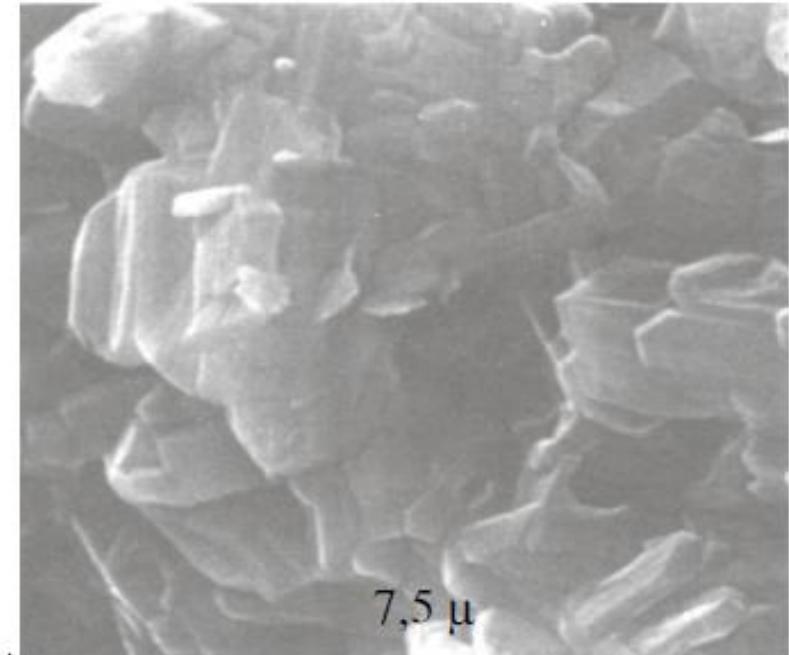
Minerales de arcilla

Halloysita

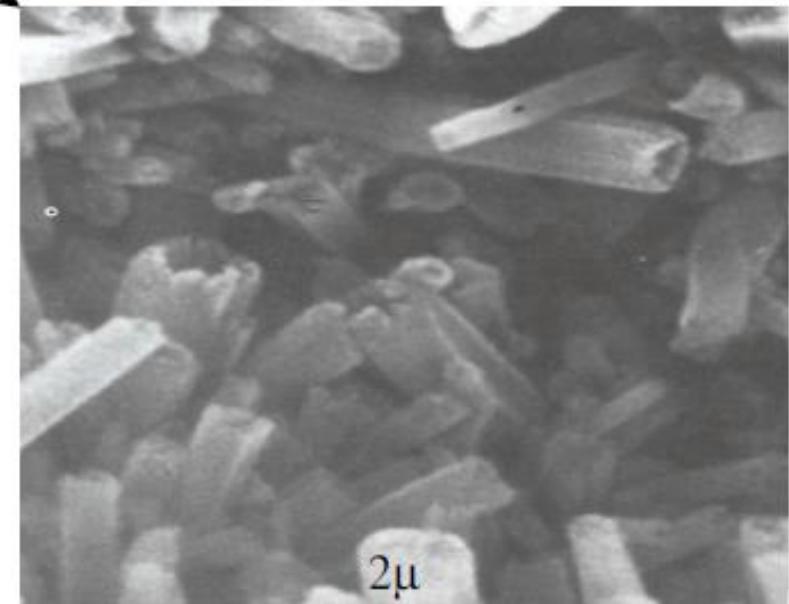
Atapulgita



4.7 μ



7.5 μ

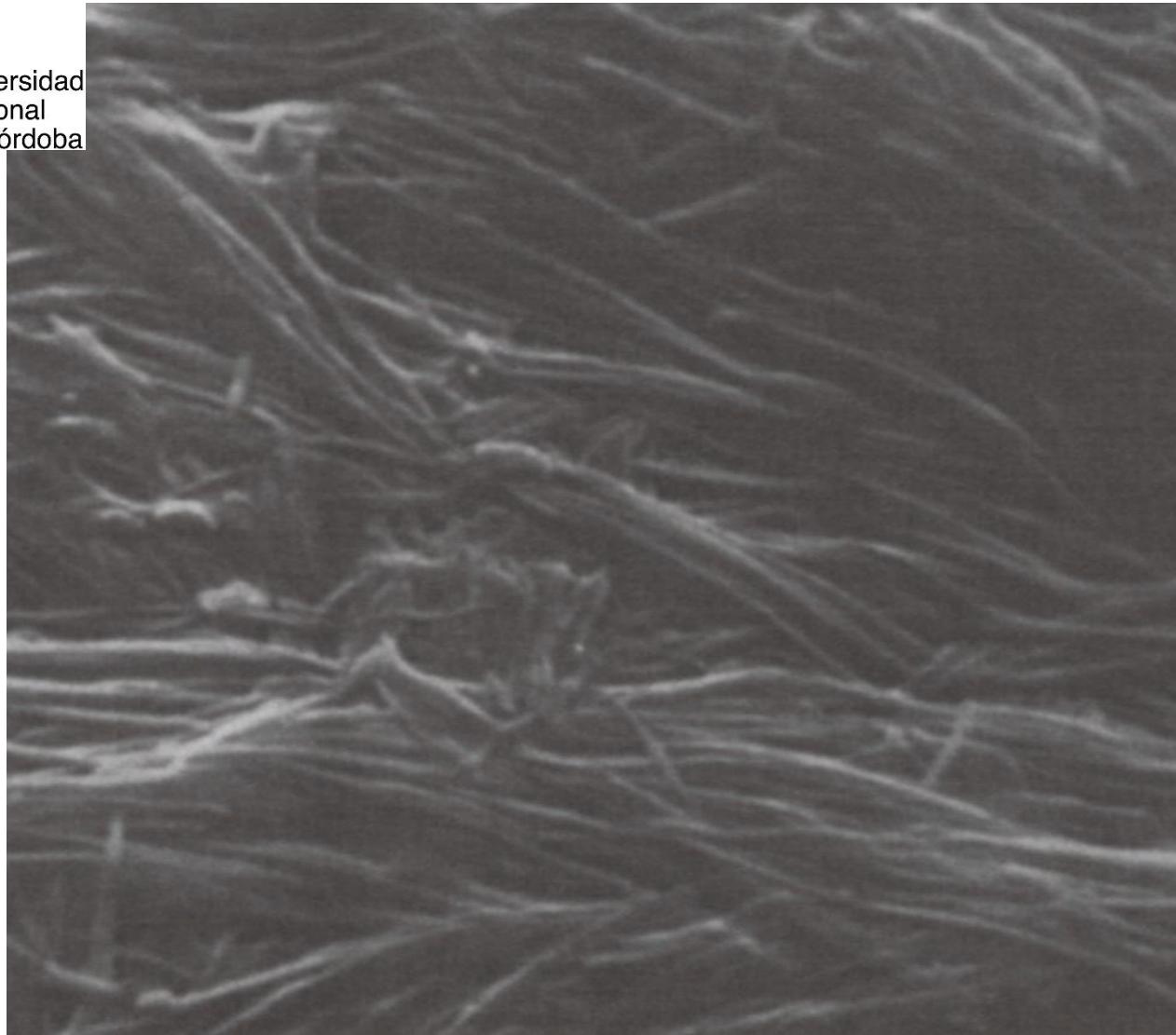


2 μ



UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba



4.7 μm

Trovey, 1971 (from Mitchell, 1993)



UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

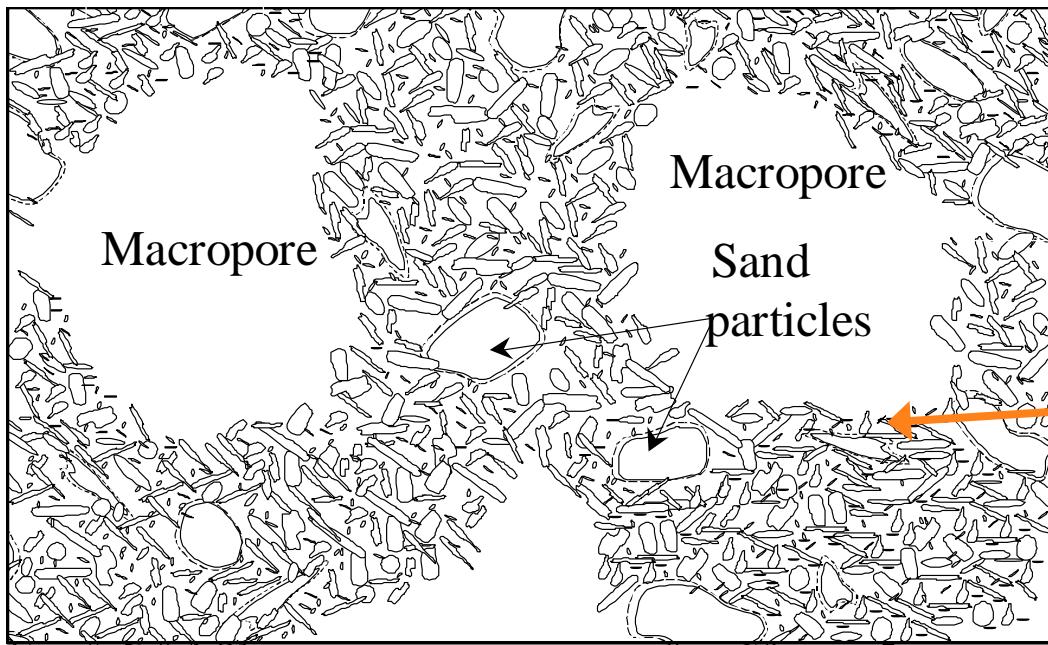
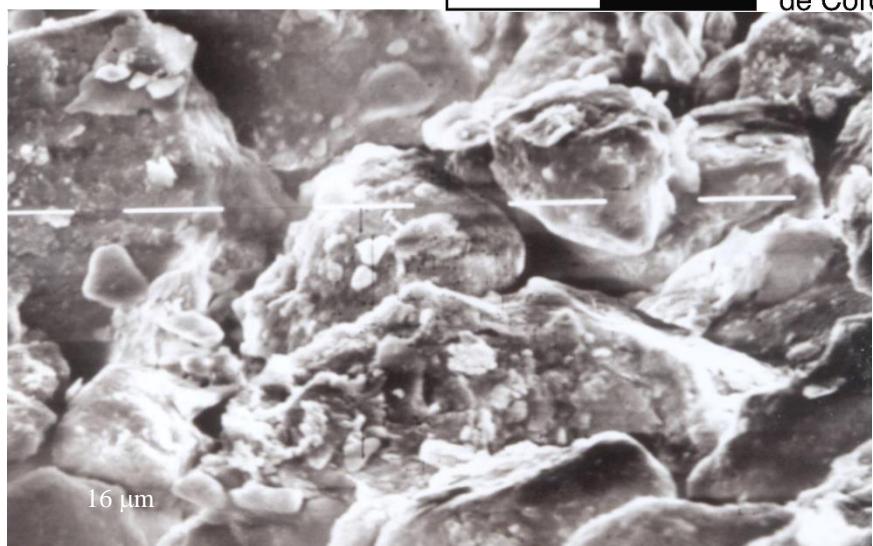


Micrografía del suelo arcilloso de la ciudad de México. En ocasiones los fósiles alineados crean grietas, o discontinuidades en la arcilla, causando debilidades locales y fragilidad en las muestras.

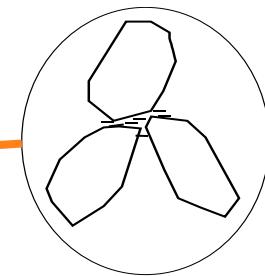


UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba



Generated Loess Structure From SEM images



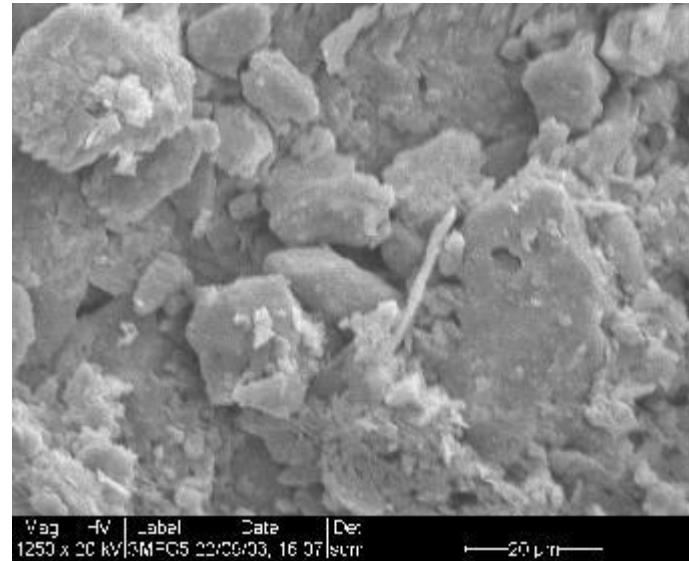
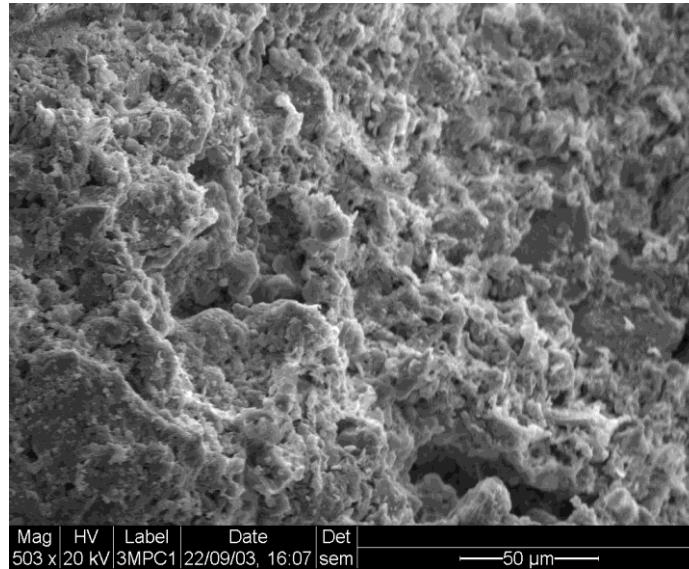
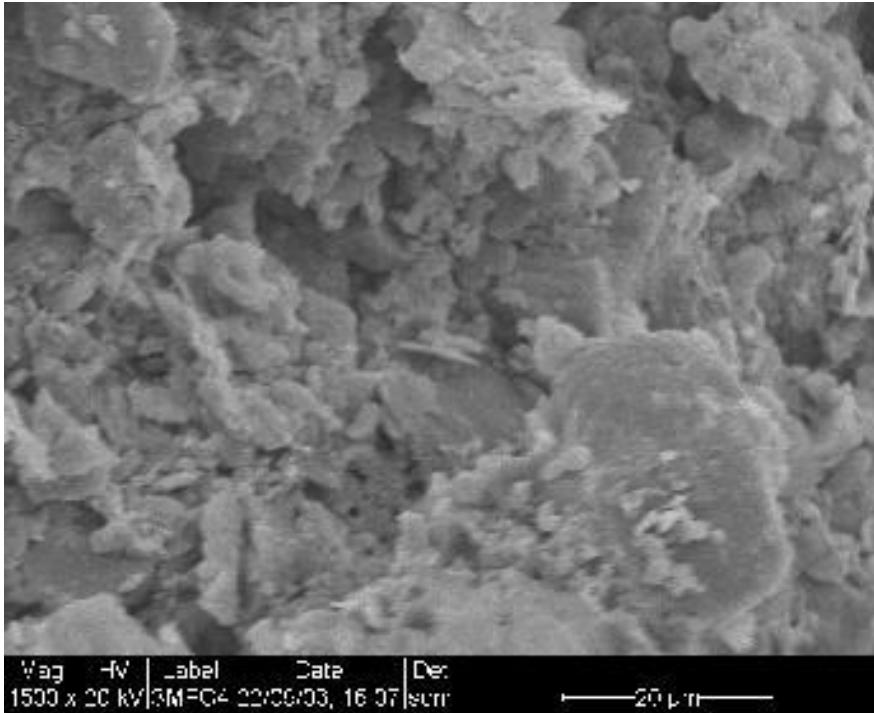
LOESS CORDOBA

LOESS CORDOBA



UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

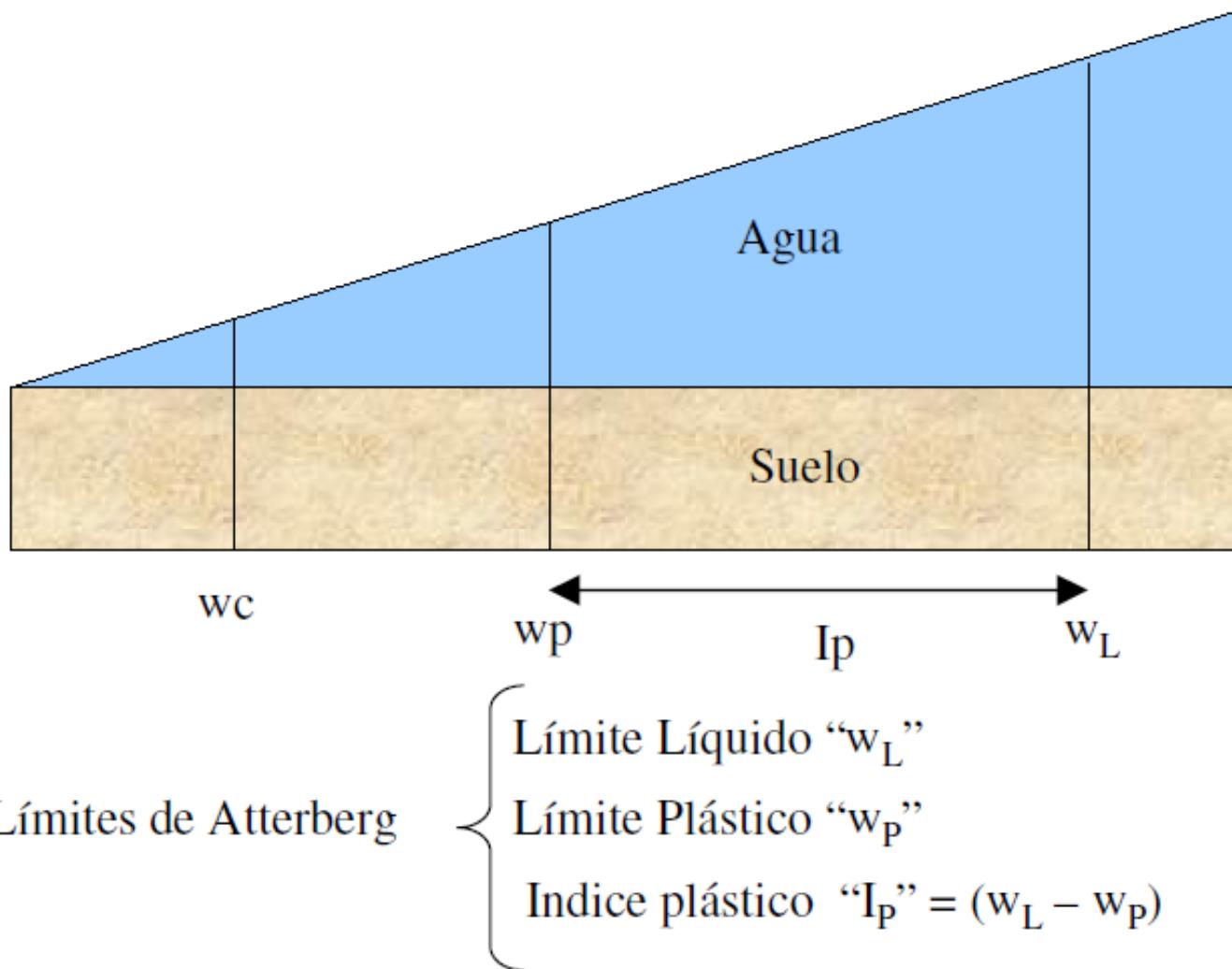




UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

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





UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

Limite Líquido

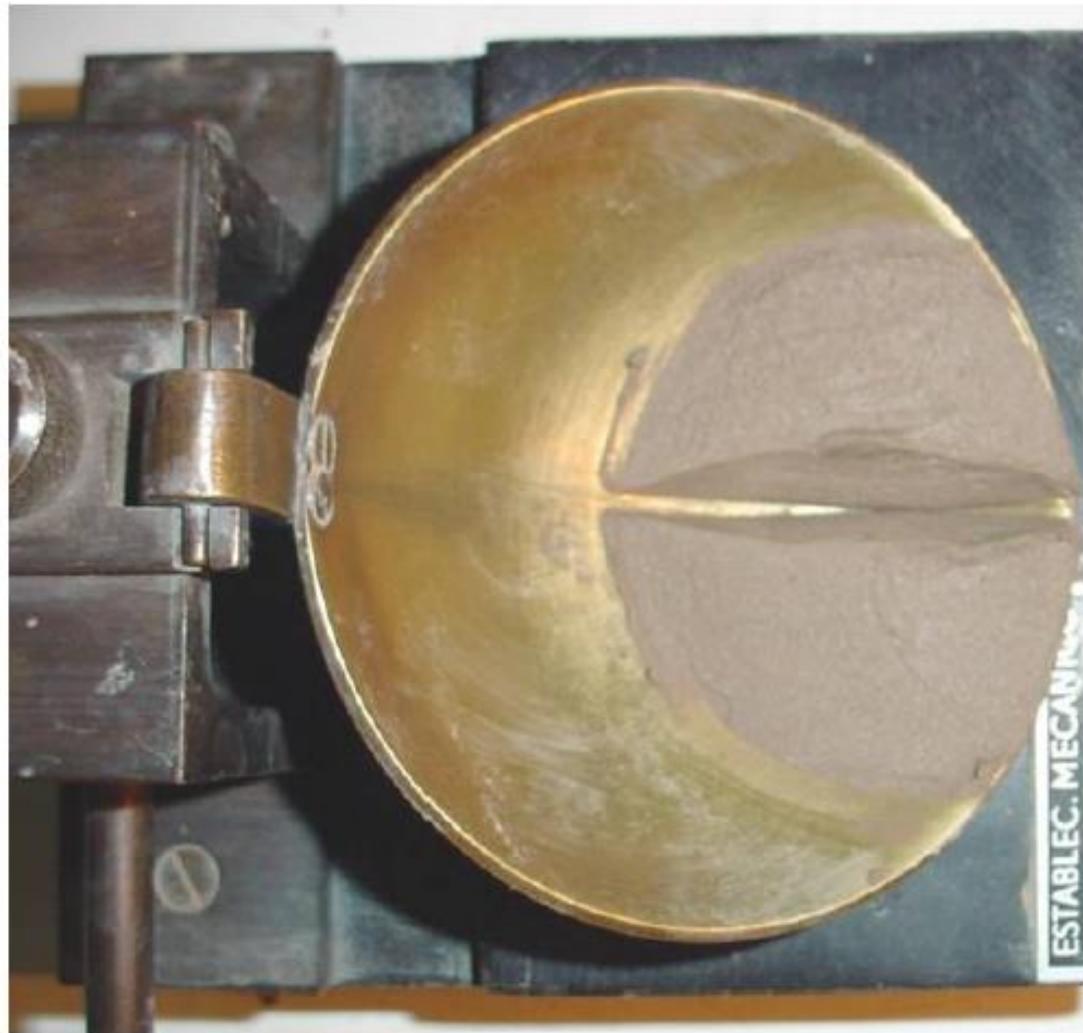
wl

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





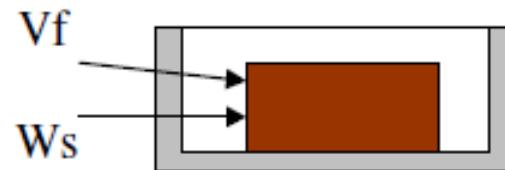
UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

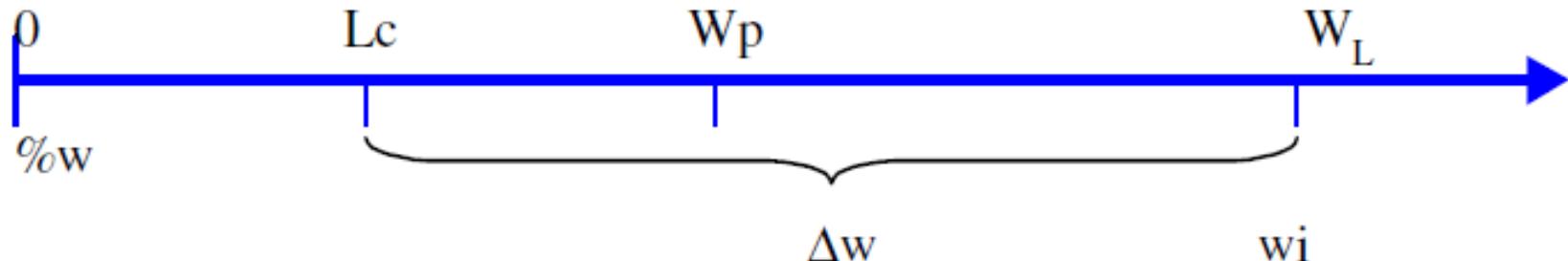
$$\text{Límite de Contracción} = L_c = w_i - \Delta w$$



Límite de Contracción w_c



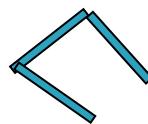
$$L_c = \underbrace{\frac{W_h - W_s}{W_s - \text{Tara}}}_{w_i} \cdot 100 - \underbrace{\frac{V_i - V_f}{W_s - \text{Tara}} \cdot \gamma_w}_{\Delta w} \cdot 100$$



Floculada

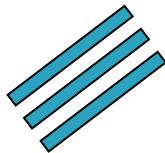


Borde con Cara

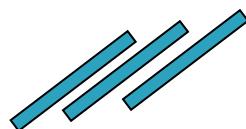


Borde con Borde

Agregada



Cara con Cara



*Cara con Cara
Desplazadas*

Dispersa

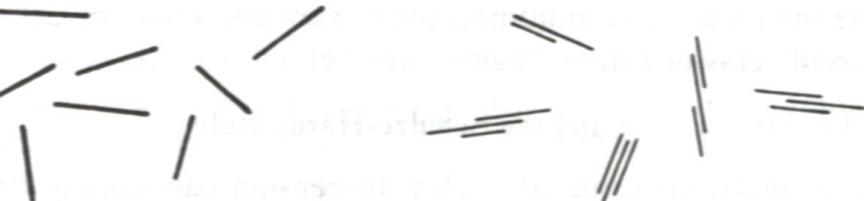


Carga Neta repulsion

**Arreglos Basicos Arcillas
(Fabrica)**

ASOCIACION DE PARTICULAS

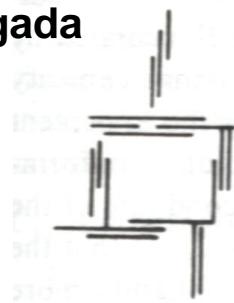
Dispersa y defloculada



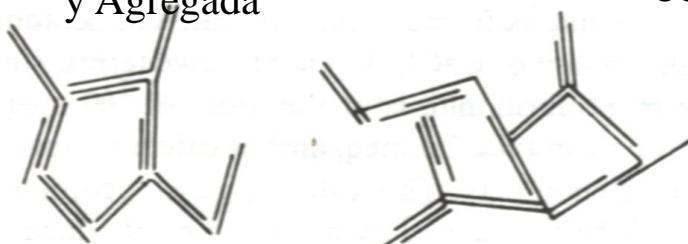
borde-con-cara floculada y dispersa



Borde con Cara Floculada y Agregada



Borde con borde Floculada y Agregada



Agregada y defloculada

Borde con borde floculada pero dispersa

Borde con cara y borde con borde floculada y agregada

van Olphen, 1991

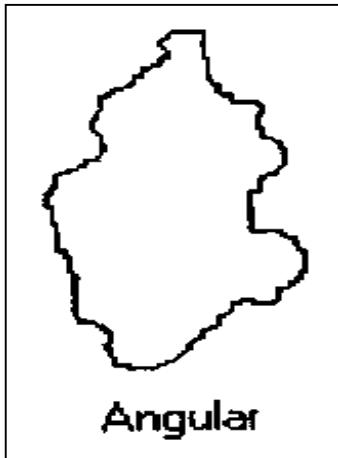


UNC

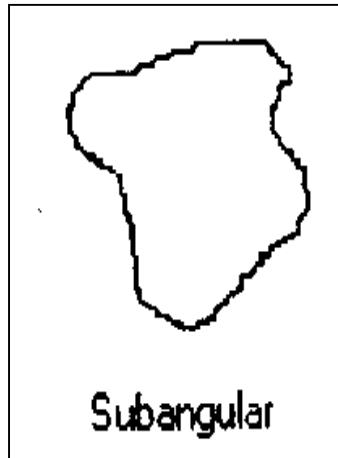
Universidad
Nacional
de Córdoba

Particulas Limos y Arenas

Formas



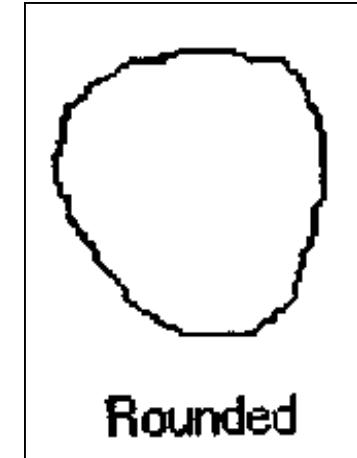
Angular



Subangular



Subrounded



Rounded



UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

**Individual clay
platelet interaction**



(a)

**Clay platelet
group interaction**



(b)

**Clothed silt or sand
particle interaction**



(d)

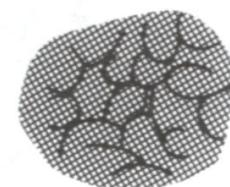


(a)

**Individual silt or
sand particle
interaction**



(c)



(e)

Particle discernible

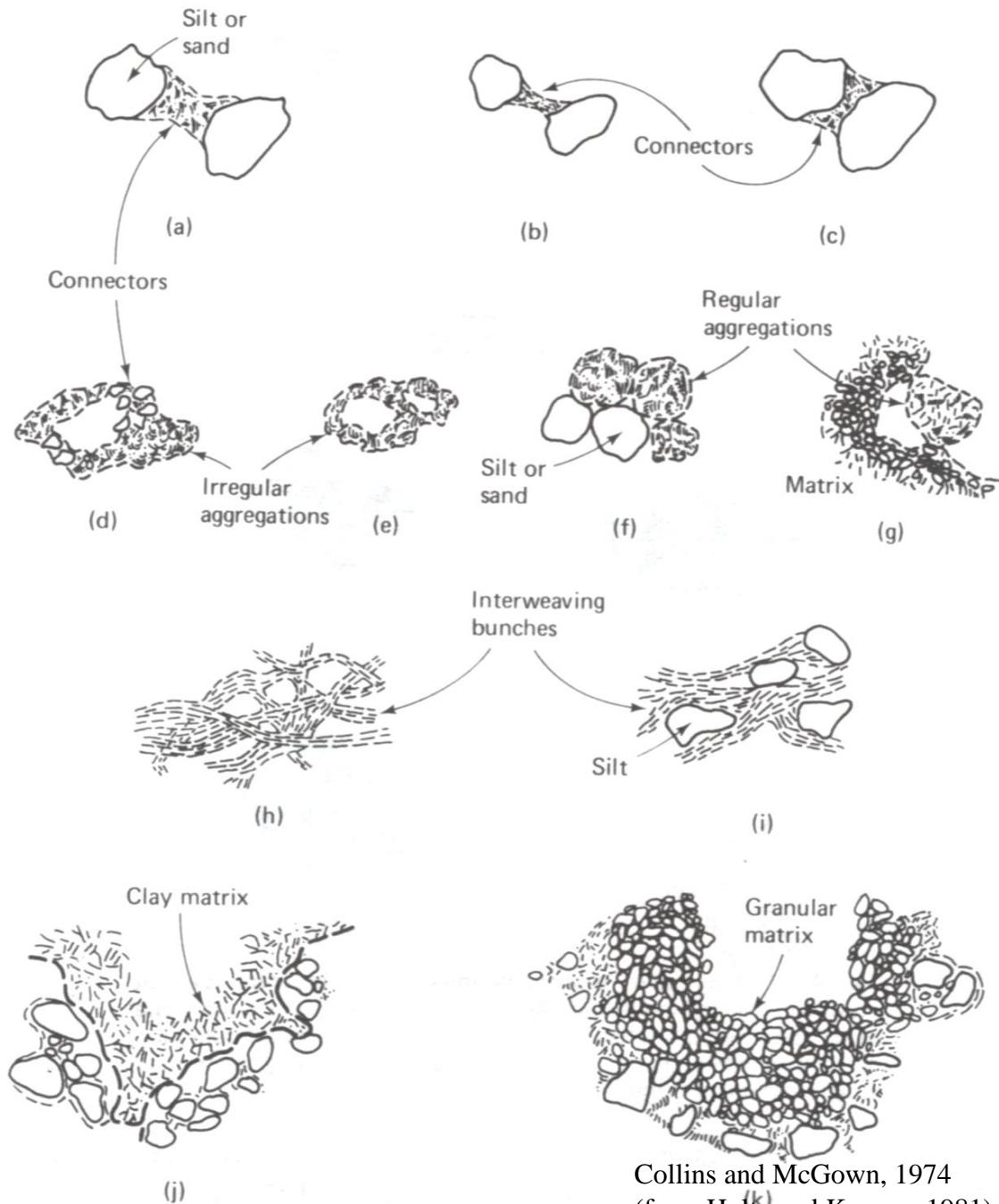
Arreglo Elemental entre Partículas

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



UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

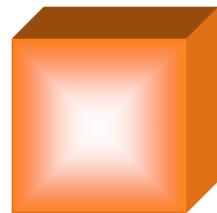


Arreglos Multiples

SUPERFICIE ESPECIFICA

$$\text{Superficie Específica} = \frac{\text{Superficie}}{\text{Masa}}$$

Ejemplo:



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

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

S_s



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

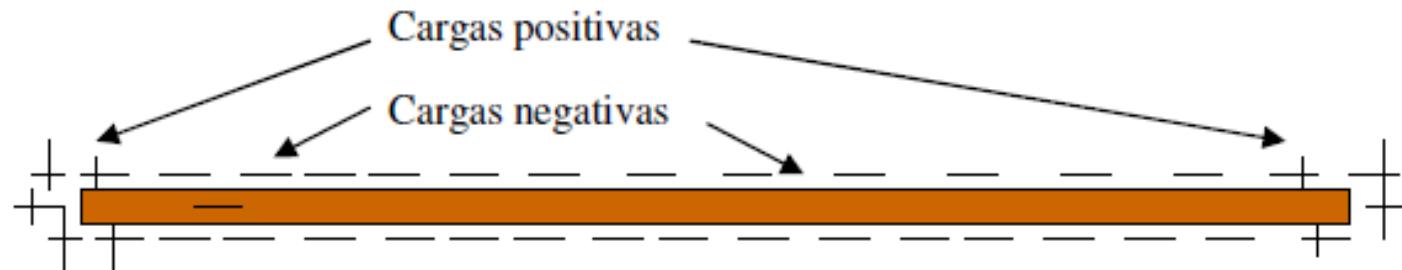
$$S_s = \frac{6 \cdot 1 \mu\text{m}^2}{1 \mu\text{m}^3 \cdot 2.65 \text{ g/cm}^3} = 2.3 \cdot \text{m}^2/\text{g}$$



Inversamente
Proporcional al
tamaño de la
Particula

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, esféricos o prismáticas y que presentan una menor superficie expuesta (superficie específica), conllevan una menor carga eléctrica.

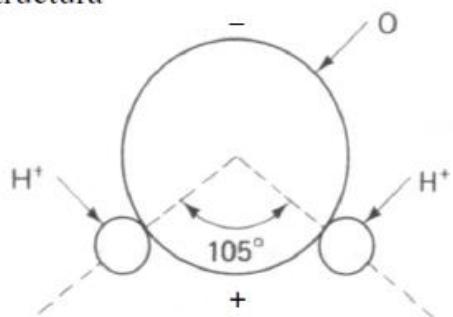


UNC

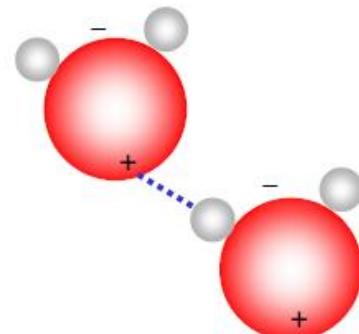
Universidad
Nacional
de Córdoba

Estructura de la molécula de agua

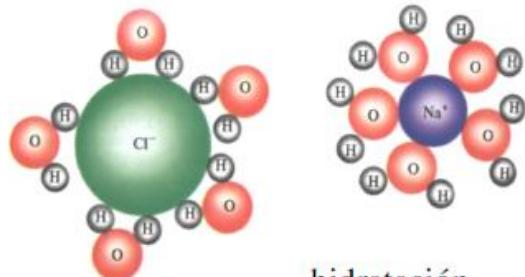
Estructura



Ligazón del Hidrógeno



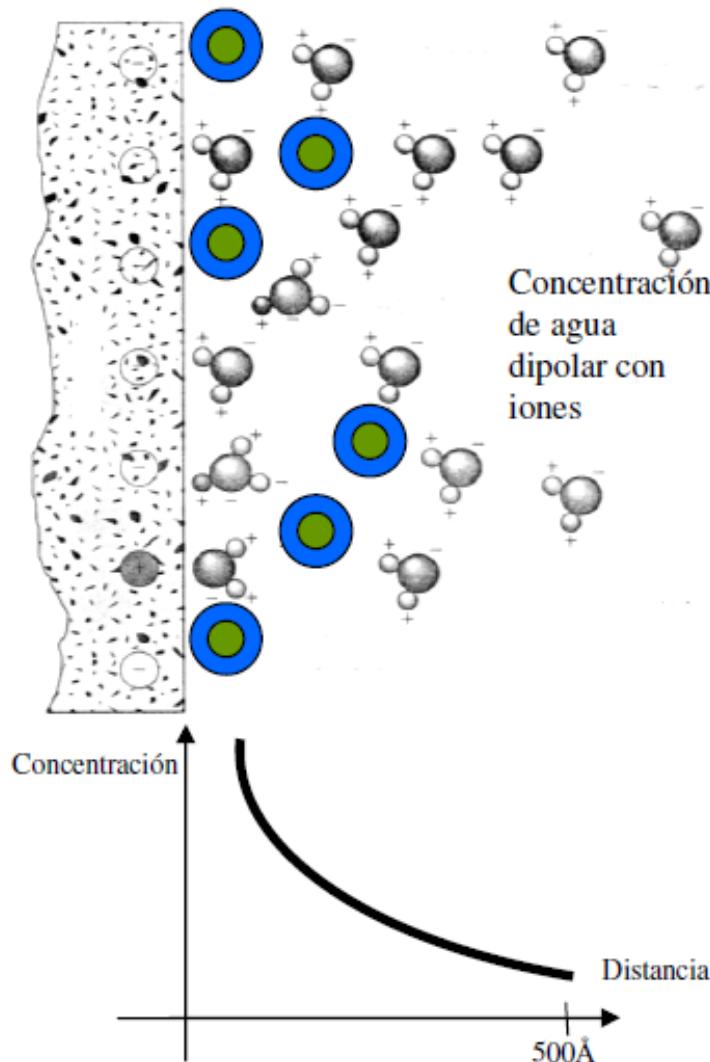
Solución salina



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 \AA^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).

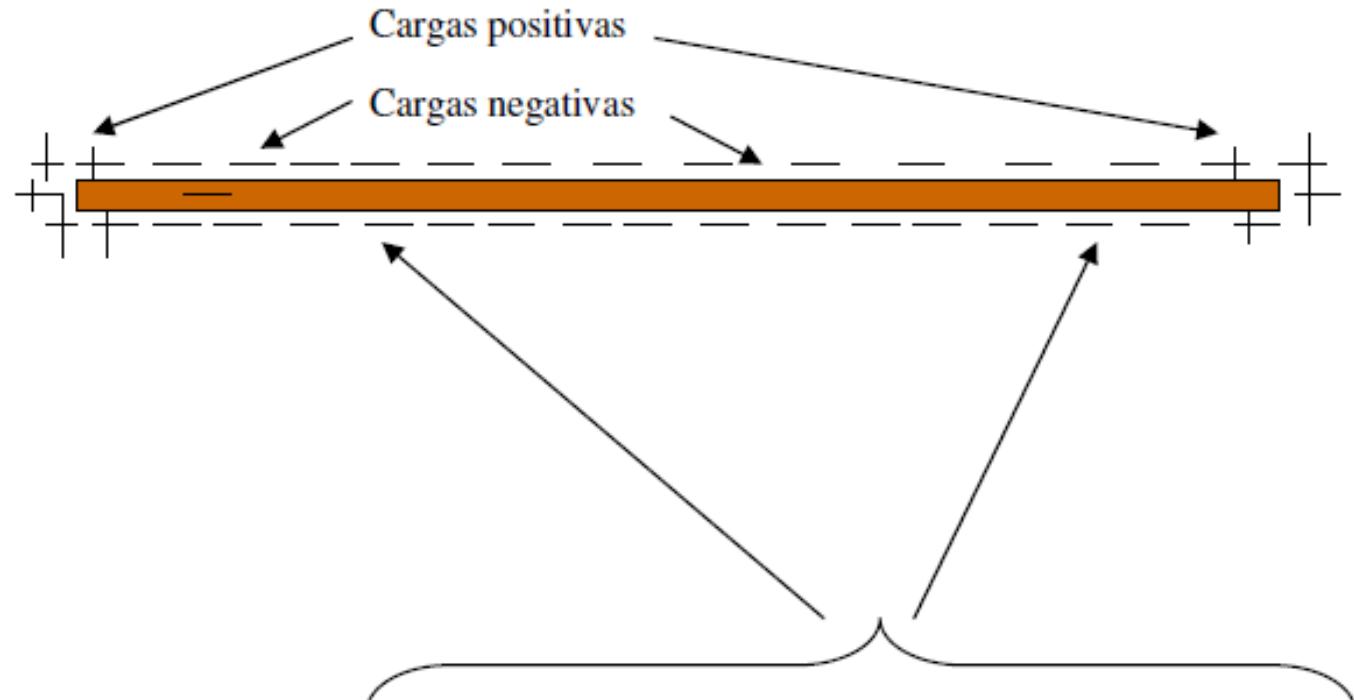
En cambio Un cation Ca^{++} tiene un volumen de 288 \AA^3 con lo cual la doble capa disminuye y en la superficie del cristal de arcilla reemplaza a dos iones de Na^+ con una unión mucho mayor



UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

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^+



UNC

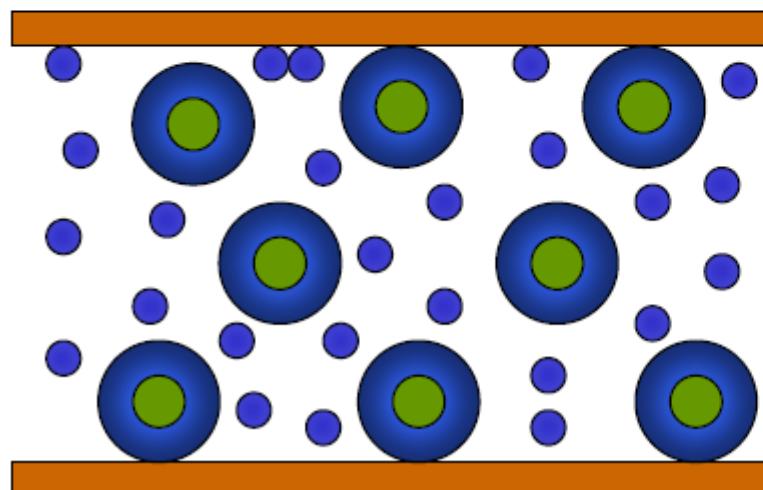
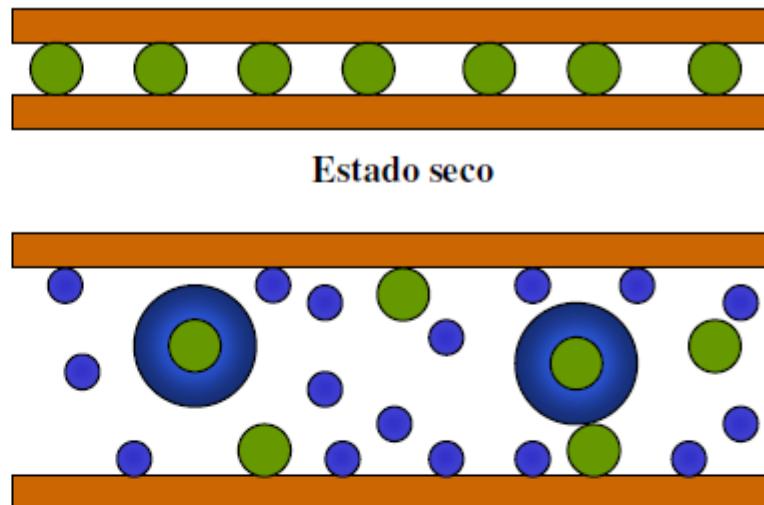
Universidad
Nacional
de Córdoba

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

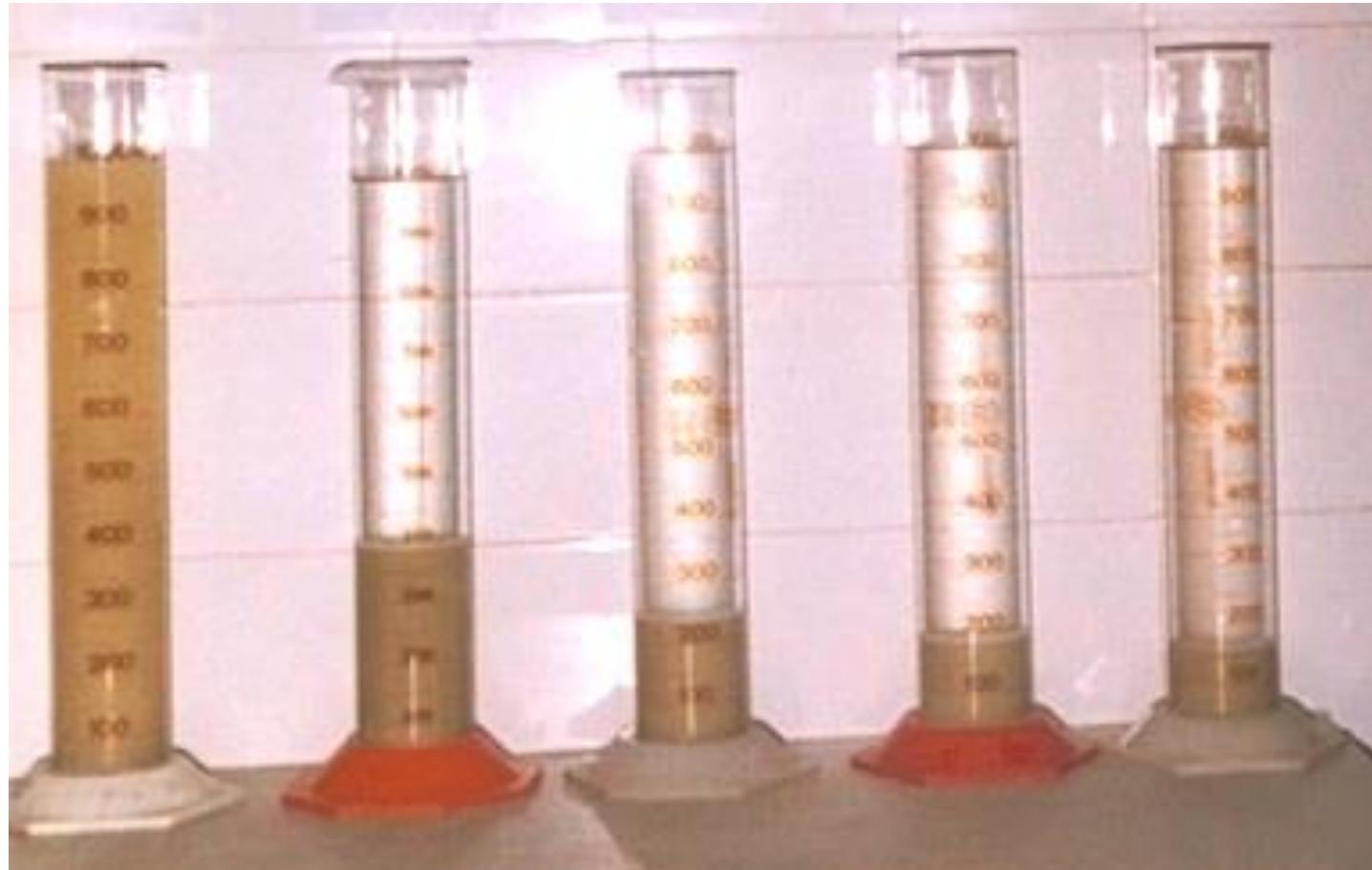
Iones de intercambio: Na⁺ Ca⁺⁺ Mg⁺⁺ Al⁺⁺⁺ Fe⁺⁺⁺

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	



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

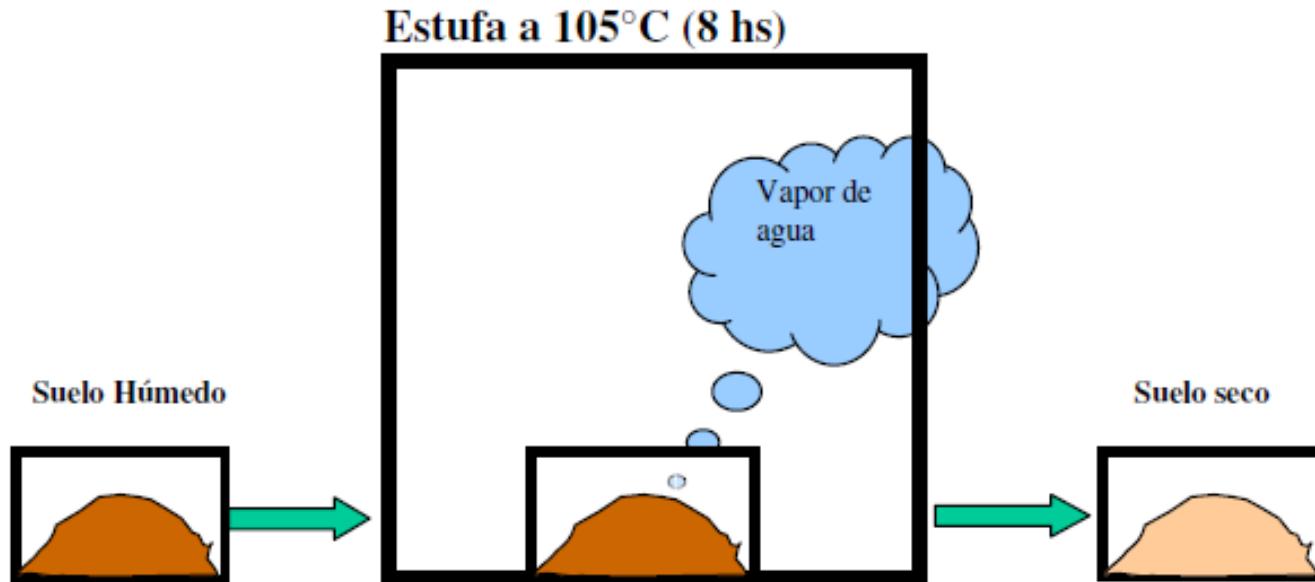
22.5 g/l

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.



1º) Se coloca la muestra húmeda en una cápsula de aluminio de peso conocido y se la pesa. Se obtiene así el peso $W_h = W_{\text{suelo húmedo}} + \text{peso de la cápsula}$

2º) Se lleva la cápsula a la estufa y se la deja durante 8 hs a 105°C

3º) Se pesa la cápsula con el peso seco (W_s) y por diferencia de pesada $W_h - W_s = W_a$ se obtiene el peso del agua evaporada

Porcentaje de humedad



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



UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

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 ”

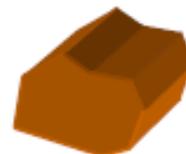
densidad saturada “ γ_{sat} ”

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)

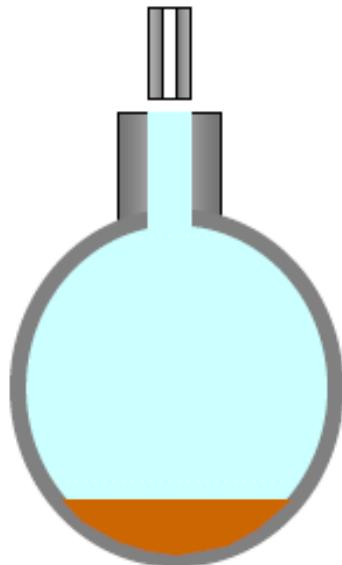




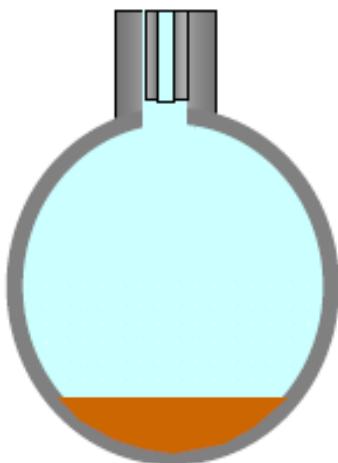
UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

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:

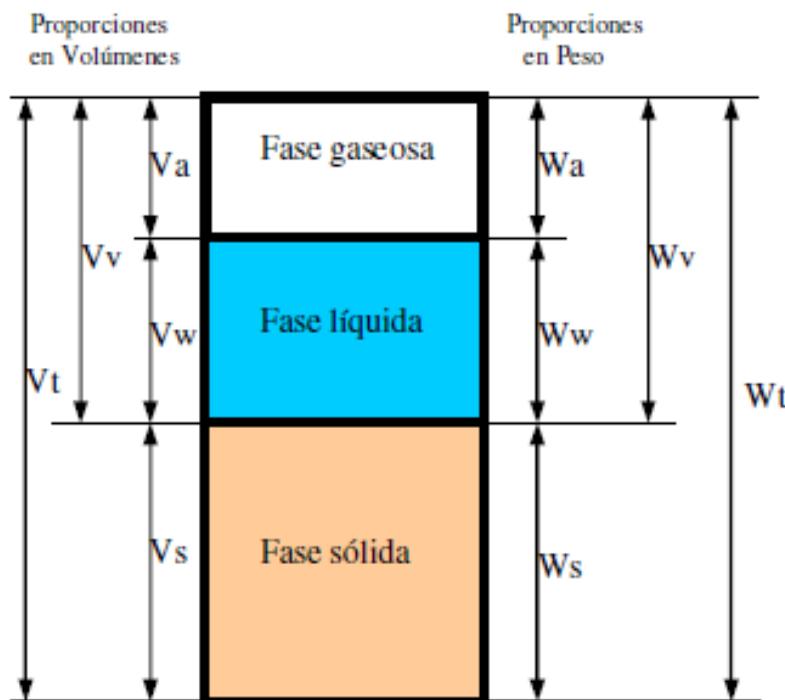
$$G_s = \gamma_s = \frac{W_s}{V_a}$$



UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

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_o: 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).

$$V_v = V_o + V_a$$

$$V_t = V_v + V_s$$

$$V_t = V_o + V_a + V_s$$

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

W_s : Peso de la fase sólida de la muestra.

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

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



UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

Densidad o Peso por Unidad de Volumen.

- * Con una humedad diferente a la correspondiente a su saturación

$$\gamma_h = \frac{W_t}{V_t} = \frac{W_s + W_w + W_a}{V_s + V_v} = \frac{W_s + W_w}{V_s + V_v}$$

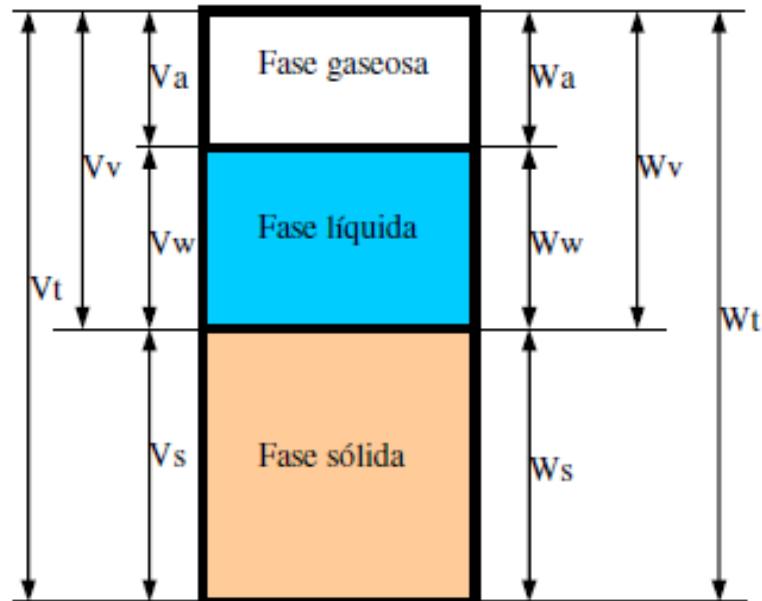
Convencionalmente $W_a = \text{cero}$

- * Para $\omega = \omega_{\text{sat}}$ Humedad de saturación ($V_a = 0$)

$$\gamma = \frac{W_t}{V_t} \left\{ \begin{array}{l} \gamma_{\text{sat}} = \frac{W_t}{V_t} = \frac{W_s + W_w}{V_s + V_v} \\ \end{array} \right.$$

- * Cuando $W\omega = 0$ (Totalmente seco) $V_v = V_a$

$$\gamma_d = \frac{W_t}{V_t} = \frac{W_s}{V_s + V_v}$$



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



UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

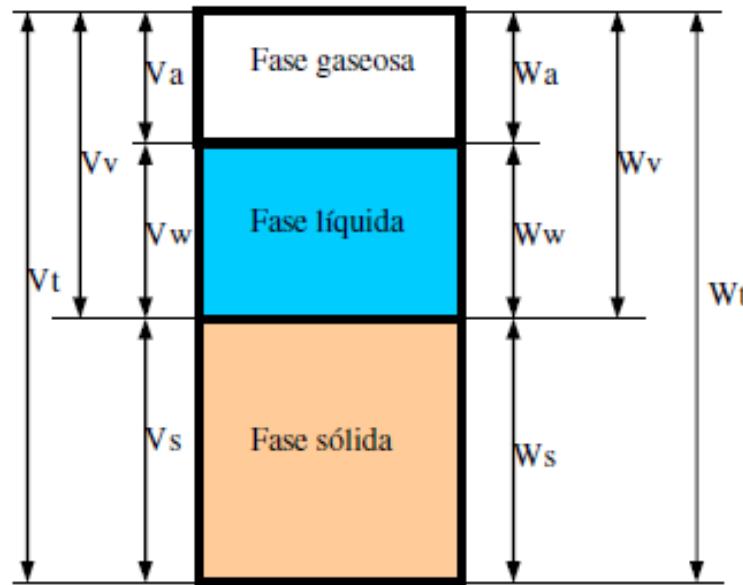
Humedad Grado de Saturación, Peso seco y Pesos húmedo

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**

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

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

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



UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

RELACIONES FUNDAMENTALES

Relación de vacíos

$$e = \frac{Vv}{Vs}$$

Porosidad

$$n = \frac{Vv}{Vt}$$

$$e = \frac{Vv}{Vs} = \frac{Vv}{Vt - Vv}$$

$$e = \frac{\frac{Vv}{Vt}}{1 - \frac{Vv}{Vt}}$$

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

$$n = \frac{Vv}{Vt} = \frac{Vv}{Vs + Vv}$$

$$n = \frac{\frac{Vv}{Vs}}{1 - \frac{Vv}{Vs}}$$

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



UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba**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	$\frac{(G_s+S)e\gamma_w}{1+e}$	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}	$\left(\frac{1+w_{\text{sat}}}{1+w_{\text{sat}}G_s}\right)G_s\gamma_w$
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}	$\left(\frac{e}{w_{\text{sat}}}\right)\left(\frac{1+w_{\text{sat}}}{1+e}\right)\gamma_w$
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}	$n\left(\frac{1+w_{\text{sat}}}{w_{\text{sat}}}\right)\gamma_w$
		γ_{sat}, e	$\gamma_{\text{sat}} - \frac{e\gamma_w}{1+e}$	γ_d, e	$\gamma_d + \left(\frac{e}{1+e}\right)\gamma_w$
		γ_{sat}, n	$\gamma_{\text{sat}} - n\gamma_w$	γ_d, n	$\gamma_d + n\gamma_w$
		γ_{sat}, G_s	$\frac{(\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w)G_s}{(G_s - 1)}$	γ_d, S	$\left(1 - \frac{1}{G_s}\right)\gamma_d + \gamma_w$
				γ_d, w_{sat}	$\gamma_d(1+w_{\text{sat}})$



UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

Densidad Relativa D_r

$$\begin{aligned}D_r &= \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \times 100\% \\&= \frac{\gamma_{d\max}}{\gamma_d} \times \frac{\gamma_d - \gamma_{d\min}}{\gamma_{d\max} - \gamma_{d\min}} \times 100\%\end{aligned}$$

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)



UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

Densidad Relativa D_r

Empaquetamiento
Suelto

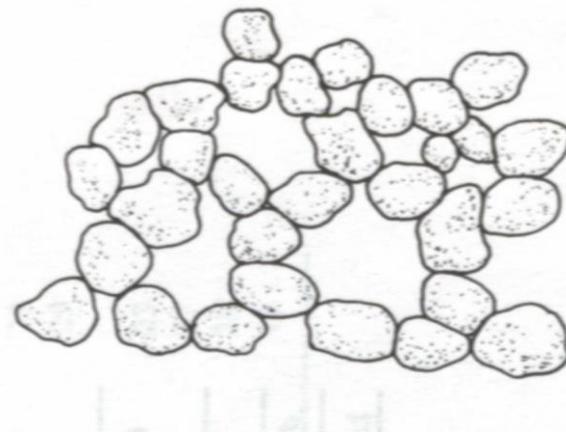


Empaquetamiento
Denso



Holtz and Kovacs, 1981

Tipo Panal



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



UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

EJERCITACIÓN DE REPASO

PROPIEDADES GRAVIMETRICAS Y VOLUMÉTRICAS



UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

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



UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

a.

A partir del peso unitario húmedo y la humedad tenemos:

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



UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

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:

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

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

C.

De la definición de porosidad:

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

$$n = \frac{0,75}{07,5 + 1} = 0,43$$

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:

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

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

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