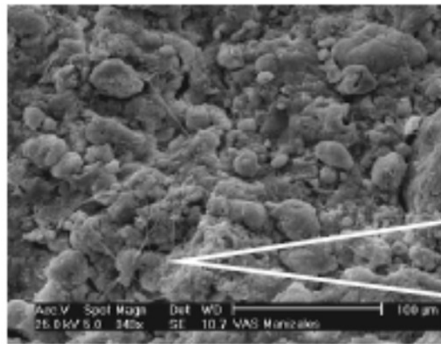




Clasificación de suelos y propiedades índice



Mecánica de Suelos y Geología
Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires

Índice



- Origen de los suelos y sistema de clasificación
- Suelos gruesos
- Suelos finos
- Carta de clasificación de suelos
- Propiedades índice
- Otras propiedades físicas
- Fisicoquímica de las arcillas

virtualuniversity.issmge.org

The advertisement is a rectangular banner with a red header. The header contains the ISSMGE logo (a stylized globe with a cross) and the text "International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering". Below the header, the text "is inviting you to attend its Webinar on" is written in white. The main title "Geotechnical Aspects of Peats" is in yellow. Below the title, a photo of Dr. Cor Zwanenburg is shown. To the right of the photo, the text "Part of ISSMGE's webinar series" and "Launching date: 1st December 2014 @ 12 noon GMT" is displayed. At the bottom, the text "Dr. Cor Zwanenburg Researcher, Deltares, Geo - Engineering" is shown next to the Deltares logo. A small text at the bottom right says "A two day Q&A session will follow the Launching on the ISSMGE website!".

International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering

is inviting you to attend its Webinar on

Geotechnical Aspects of Peats

Delivered by

Dr. Cor Zwanenburg
Researcher, Deltares,
Geo - Engineering

Part of ISSMGE's webinar series
Launching date: 1st December 2014
@ 12 noon GMT

Deltares
Enabling Delta Life

A two day Q&A session will follow the Launching on the ISSMGE website!



Origen de los suelos: suelos residuales (intemperismo en origen)



http://es.wikipedia.org/wiki/Saprolito#/media/File:Laterite_formation_on_basaltic_tuff,_Madagascar._C_005.jpg



Origen de los suelos: suelos transportados (intemperismo en sitio depositado)



Agentes de transporte: cursos de agua,
viento, glaciares, campo gravitatorio

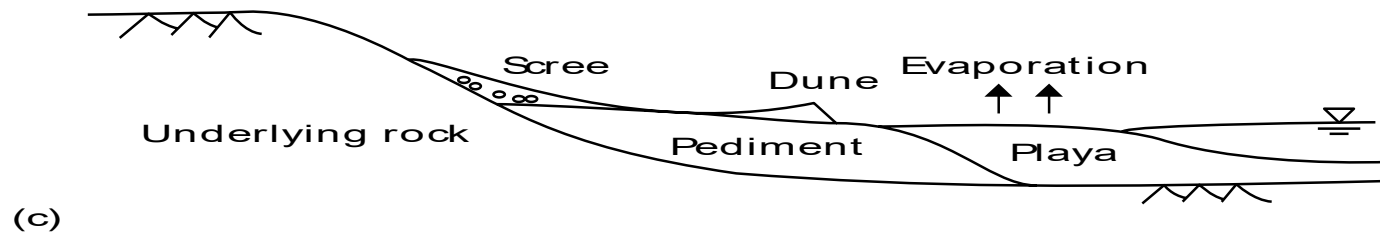
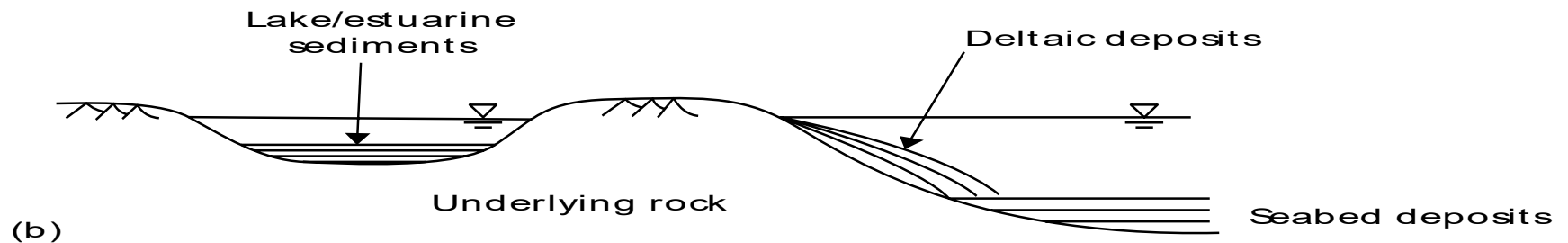
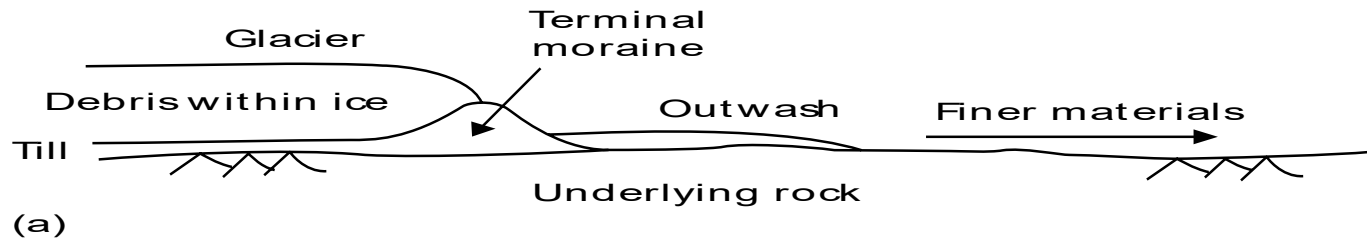


Origen de los suelos: ambientes de deposición (diferentes propiedades)

a) Glaciar

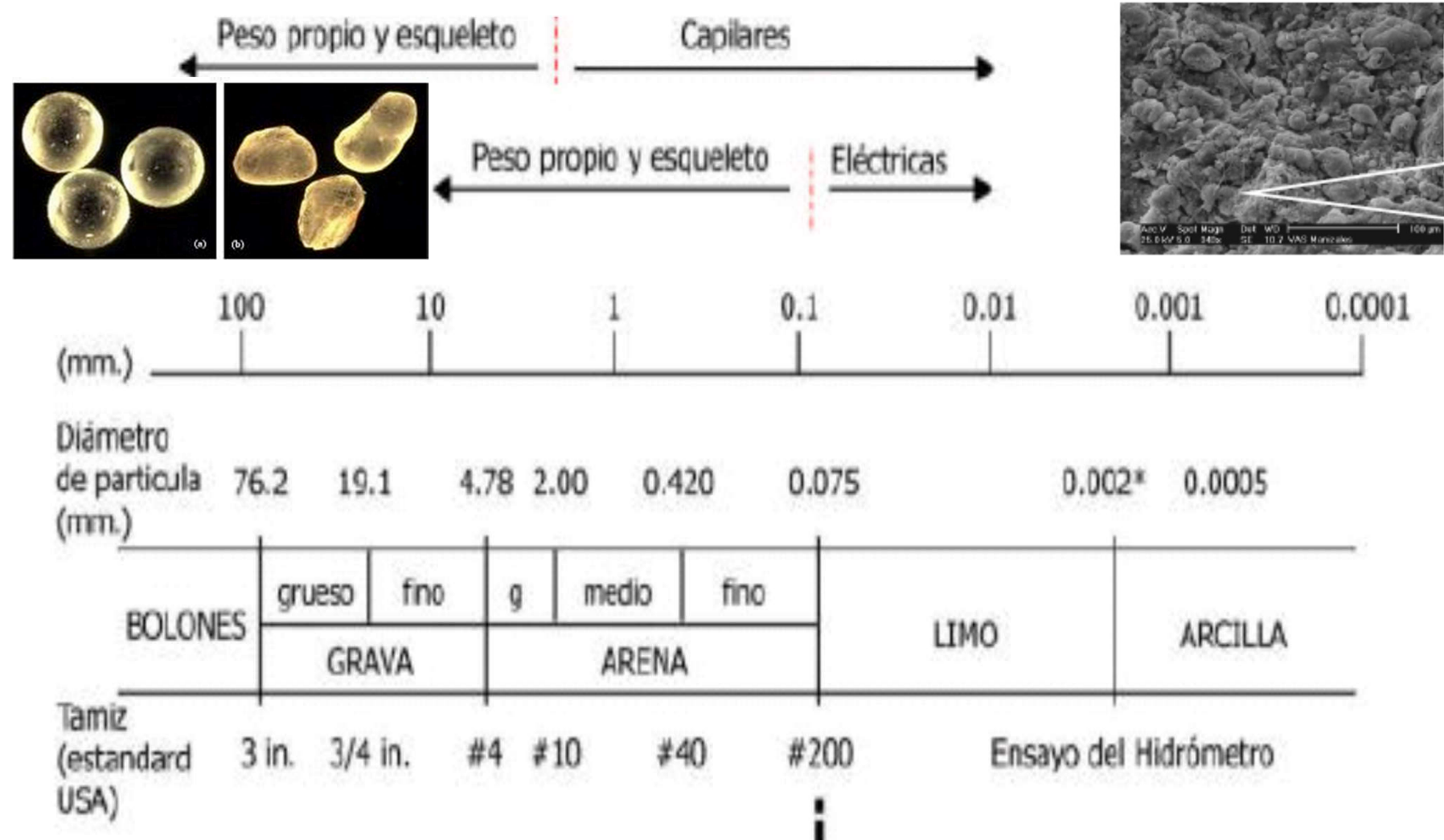
b) Fluvial

c) Desértico





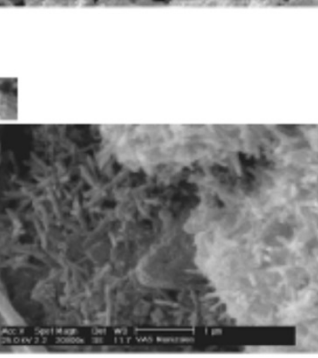
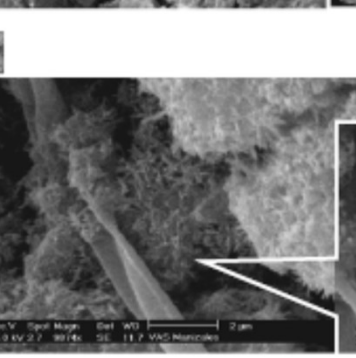
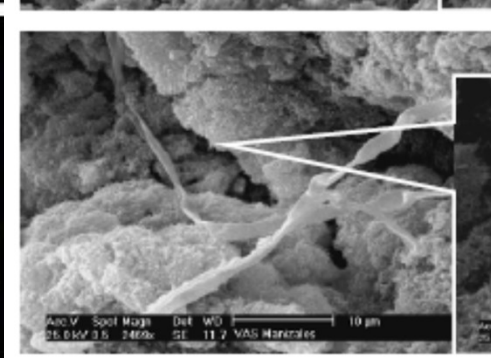
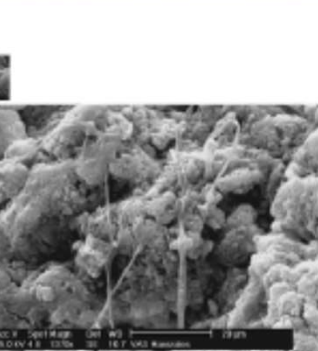
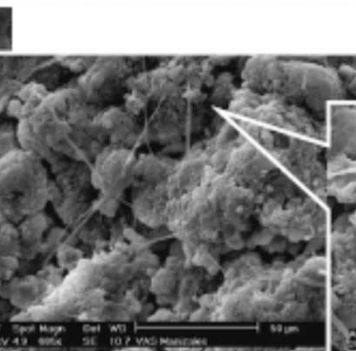
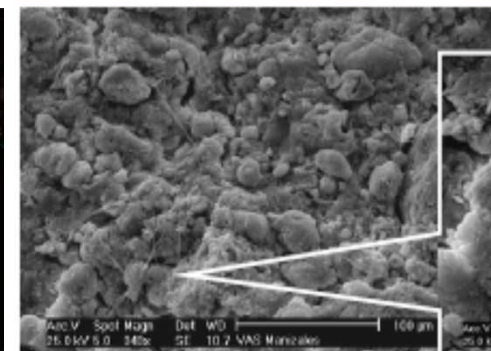
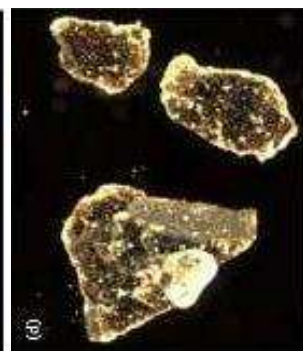
Clasificación de suelos: fundamentos físicos



Clasificación de suelos: tamaño partículas



| Clay | Silt | | | Sand | | | Gravel | | | Cobbles | Boulders |
|--------------------|-------|--------|--------|------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|----------|
| | Fine | Medium | Coarse | Fine | Medium | Coarse | Fine | Medium | Coarse | | |
| 0.001 | 0.002 | 0.006 | 0.02 | 0.06 | 0.2 | 0.6 | 2 | 6 | 20 | 60 | 200 |
| | | 0.01 | | 0.1 | | 1 | | 10 | | 100 | |
| Particle size (mm) | | | | | | | | | | | |



Clasificación de suelos: tamaño partículas



La clasificación le da el “nombre” a un suelo (lo que el suelo “es”)

- Suelos de grano grueso: Grava (**G**) y Arena (**S**)

- Las partículas se tocan (fuerzas de masa)
- Controla: granulometría, forma y dureza de partículas

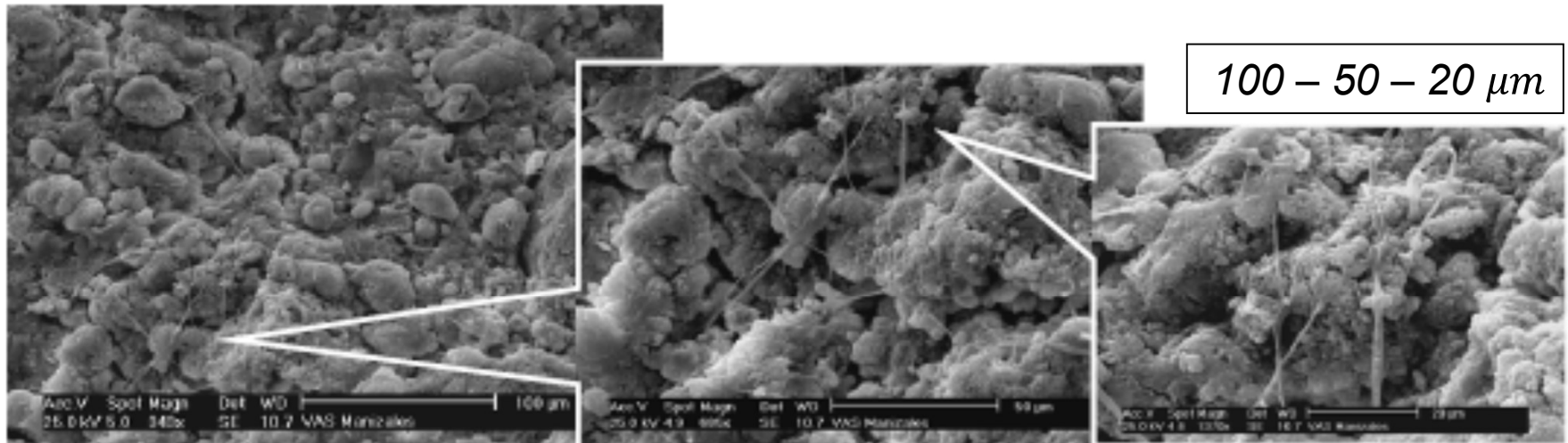
- Suelos de grano fino: Limo (**M**) y Arcilla (**C**)

- Las partículas no se tocan entre sí (cargas eléctricas, f. superficiales)
- Controla: capacidad de absorber agua

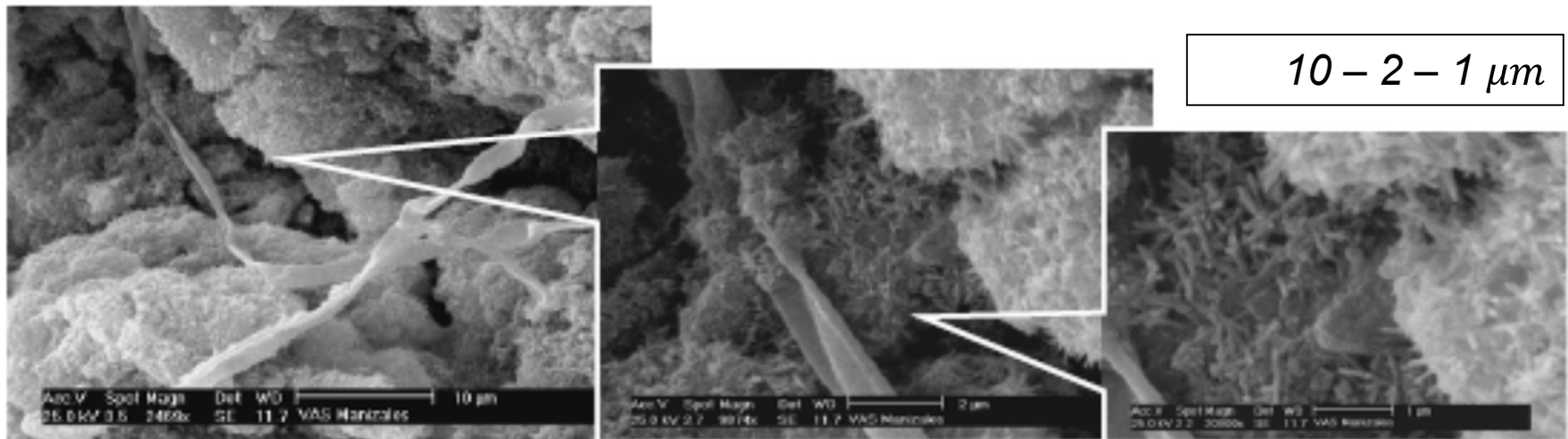




Clasificación de suelos: tamaño limos y arcillas



$100 - 50 - 20 \mu m$



$10 - 2 - 1 \mu m$

Índice



- Origen de los suelos y sistema de clasificación
- **Suelos gruesos**
- Suelos finos
- Carta de clasificación de suelos
- Propiedades índice
- Otras propiedades físicas
- Fisicoquímica de las arcillas

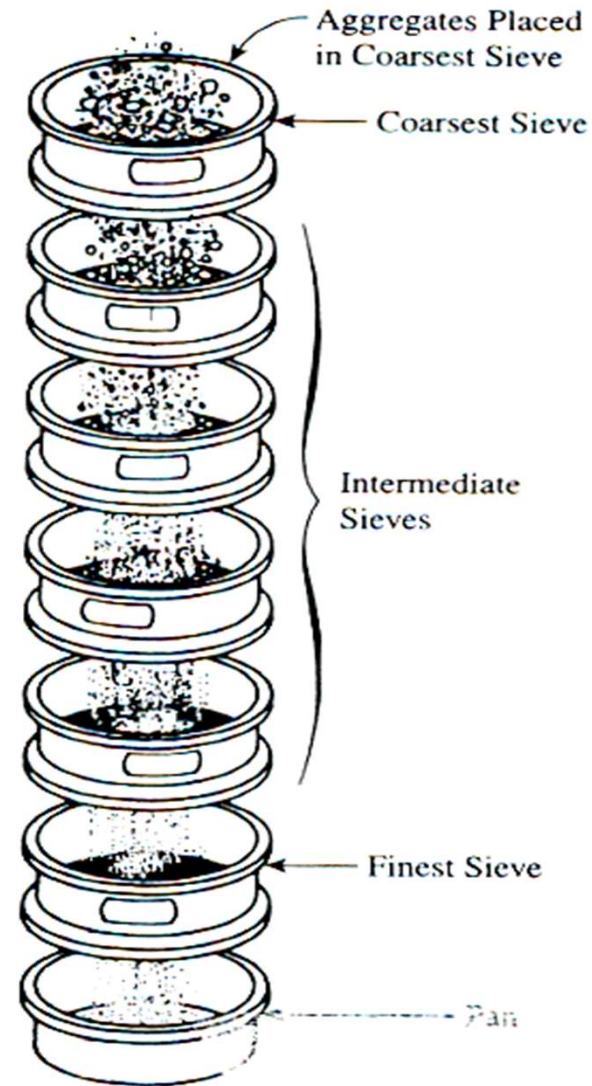
Suelos gruesos



- Fracción suelo: tamaño menor a 75mm (criba 3")
- Tamaño grava: 75mm a 4.75mm (tamiz #4)
- Tamaño arena: 4.75mm a $74\mu\text{m}$ (tamiz #200)
- Suelo grueso: $P_{\#200} < 50\%$

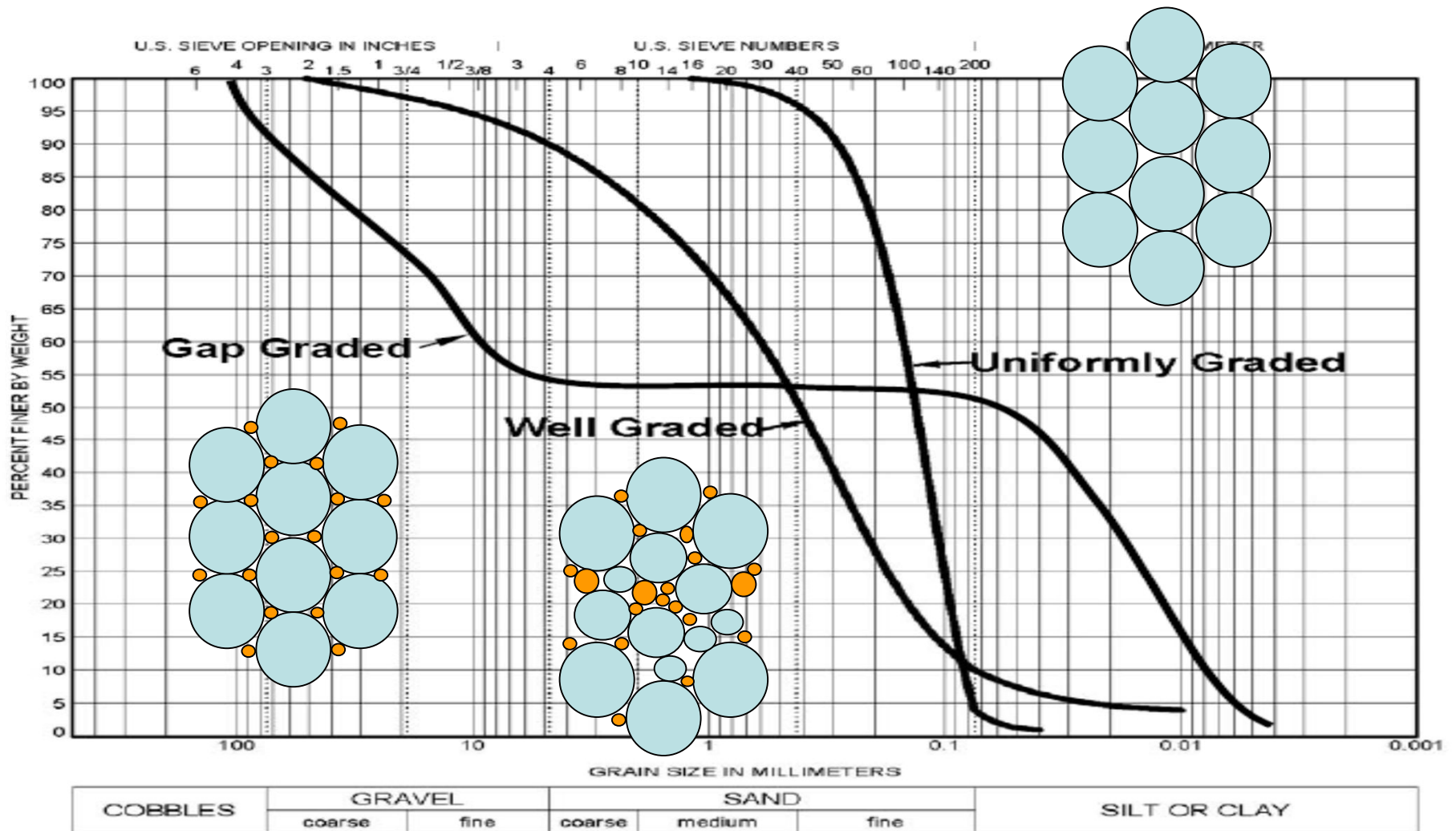


Suelos gruesos: análisis granulométrico





Suelos gruesos: análisis granulométrico



Suelos gruesos: análisis granulométrico



Coeficiente de uniformidad $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$

Coeficiente de curvatura $C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \cdot D_{10}}$

Los coeficientes miden la forma de la curva granulométrica

- Curva granulométrica “suave”: suelos bien graduados
 - Pueden densificarse mediante vibración
 - Más rígidos y resistentes
 - Mas resistentes a erosión
- Curva granulométrica “con saltos”: suelos mal graduados



Suelos gruesos: clasificación según el sistema unificado (USCS)

Suelo grueso limpio: $P_{\#200} < 5\%$

- Si $R_{\#4} > 50\% R_{\#200}$ Grava (G)
- Si $R_{\#4} \leq 50\% R_{\#200}$ Arena (S)
- Arena con $C_u \geq 6$ y $1 \leq C_c \leq 3$ Bien graduada (**SW**)
- Arena que no es SW Mal graduada (**SP**)
- Grava con $C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3$ Bien graduada (**GW**)
- Grava que no es GW Mal graduada (**GP**)

Si $5\% < P_{\#200} < 50\%$ son suelos gruesos con finos

Índice



- Origen de los suelos y sistema de clasificación
- Suelos gruesos
- Suelos finos
 - Límite líquido y límite plástico
 - Carta de Casagrande
- Carta de clasificación de suelos
- Propiedades índices
- Otras propiedades físicas
- Fisicoquímica de las arcillas



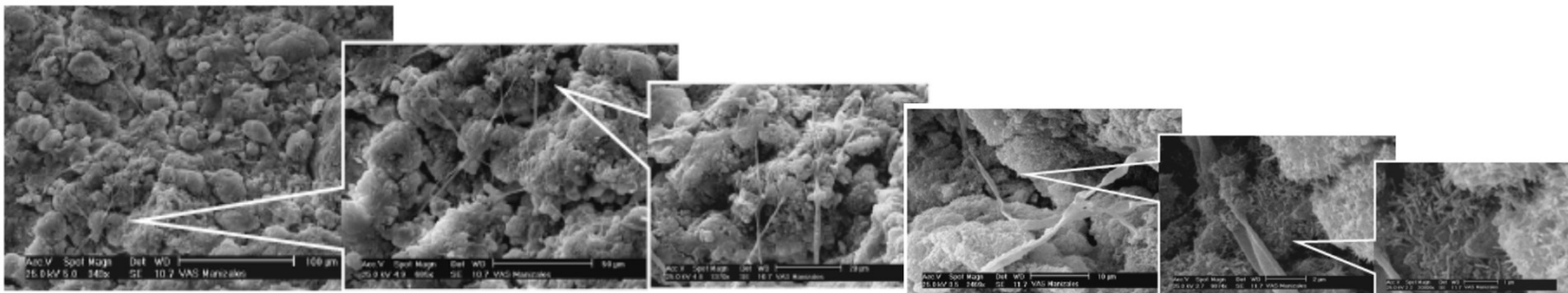
Suelos finos

Predominan las fuerzas de interacción electroquímica

La “granulometría” no controla el comportamiento

- Tamaño limo: $74\mu m$ (tamiz #200) a $2\mu m$
- Tamaño arcilla: menor a $2\mu m$

Lo que decide si es limo o arcilla es su capacidad de absorber agua





Suelos finos: Límites de Atterberg necesarios para clasificar al suelo

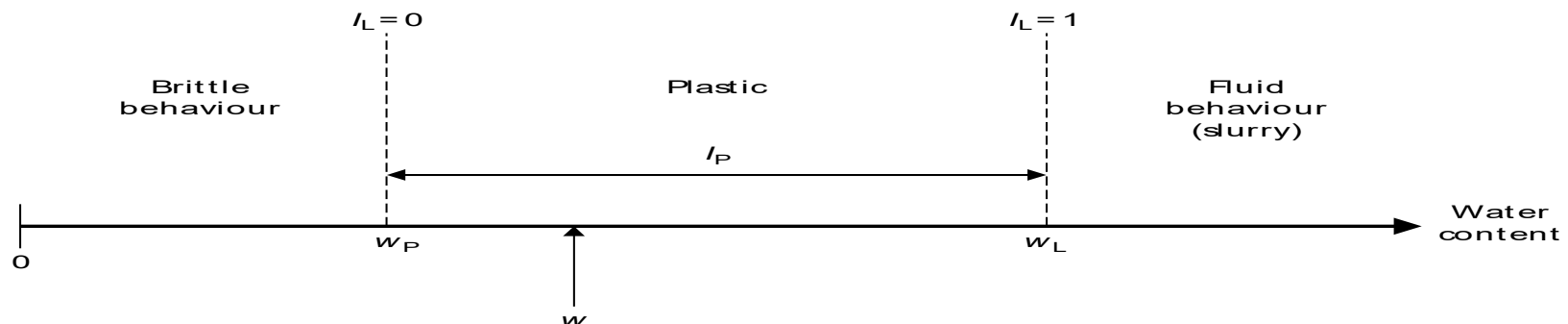
Límite líquido (LL , w_L)

- Mas humedad que LL , se comporta “líquido”
- Menos humedad que LL , se comporta “plástico”

Límite plástico (LP , w_P)

- Mas humedad que LP , se comporta “plástico”
- Menos humedad que LP , se comporta “frágil”

Se define al Índice de plasticidad como $IP = LL - LP$

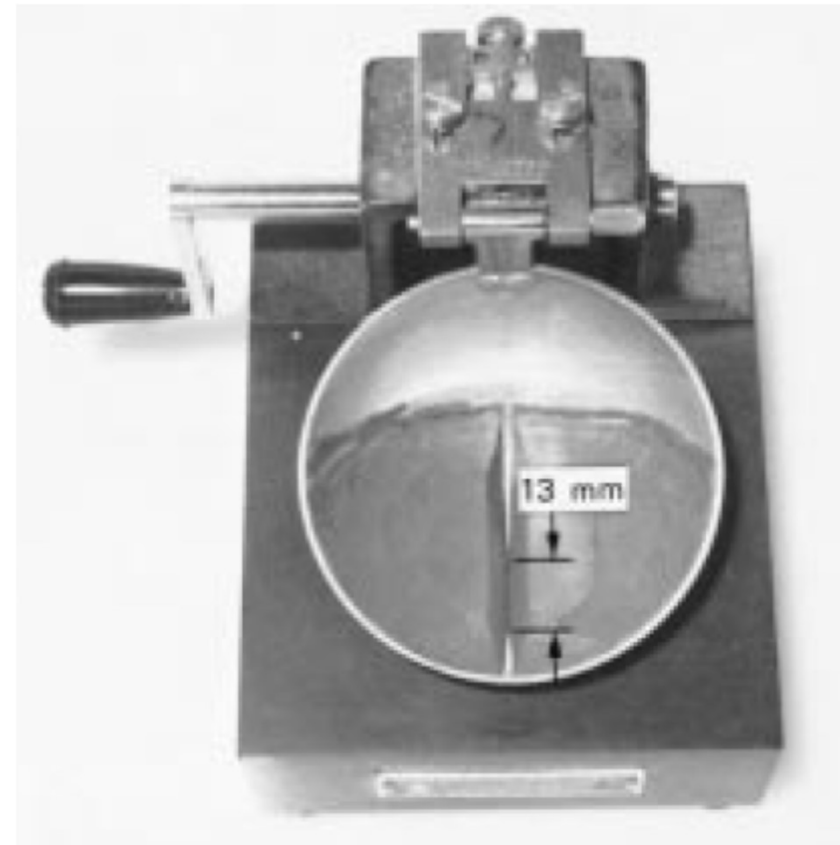
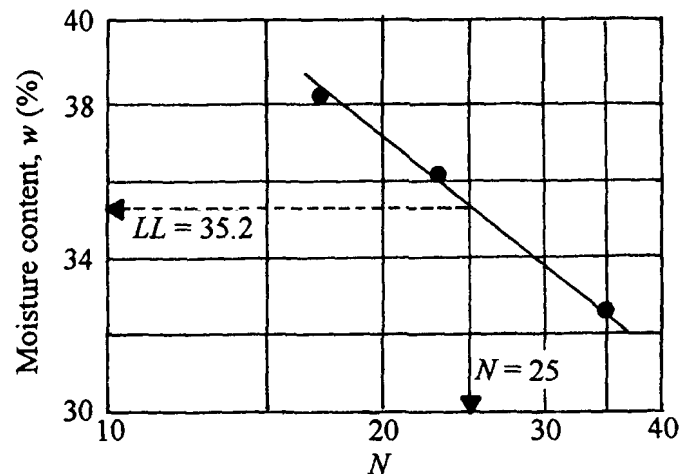




Suelos finos: Límite líquido (LL)

Es la humedad que tiene el suelo cuando se juntan dos mitades con $N = 25$ golpes de la copa contra su base (ASTM 4318)

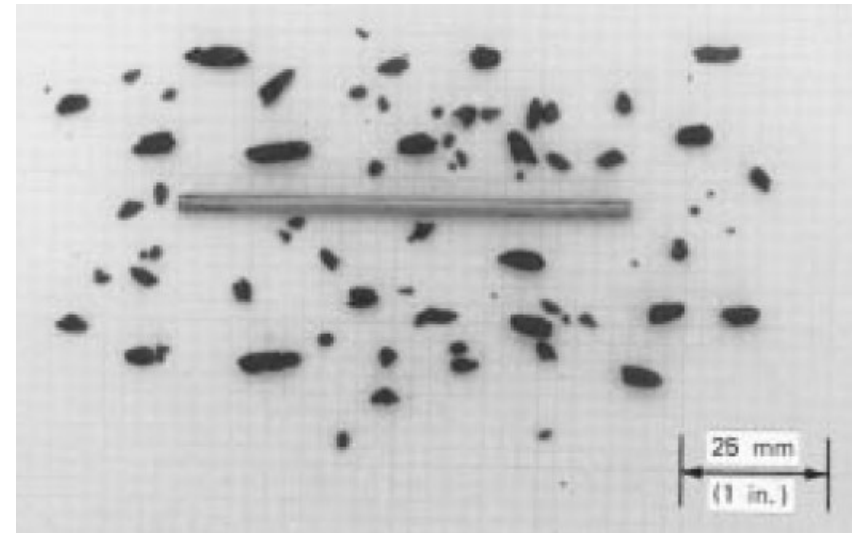
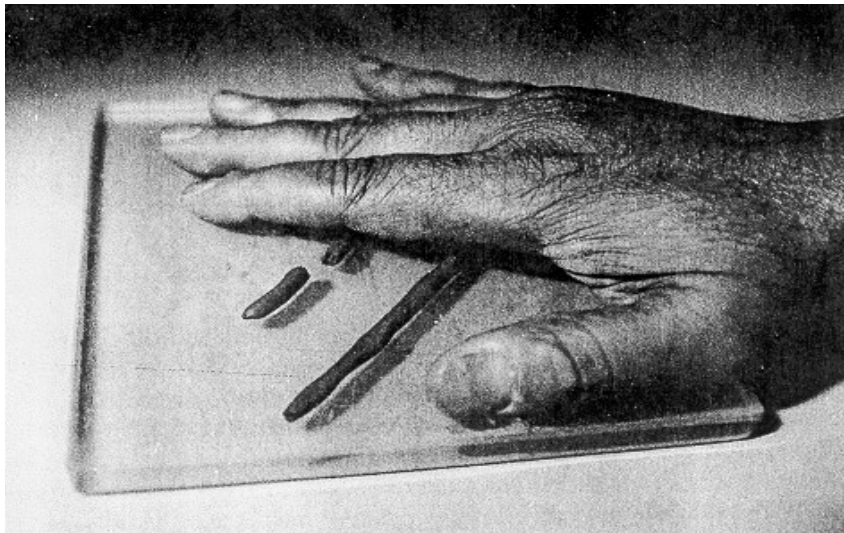
- $LL = \omega_N \cdot \left(\frac{N}{25}\right)^{0.121}$
- $N > 25: \omega < LL$
- $N < 25: \omega > LL$



Suelos finos: Límite plástico (*LP*)

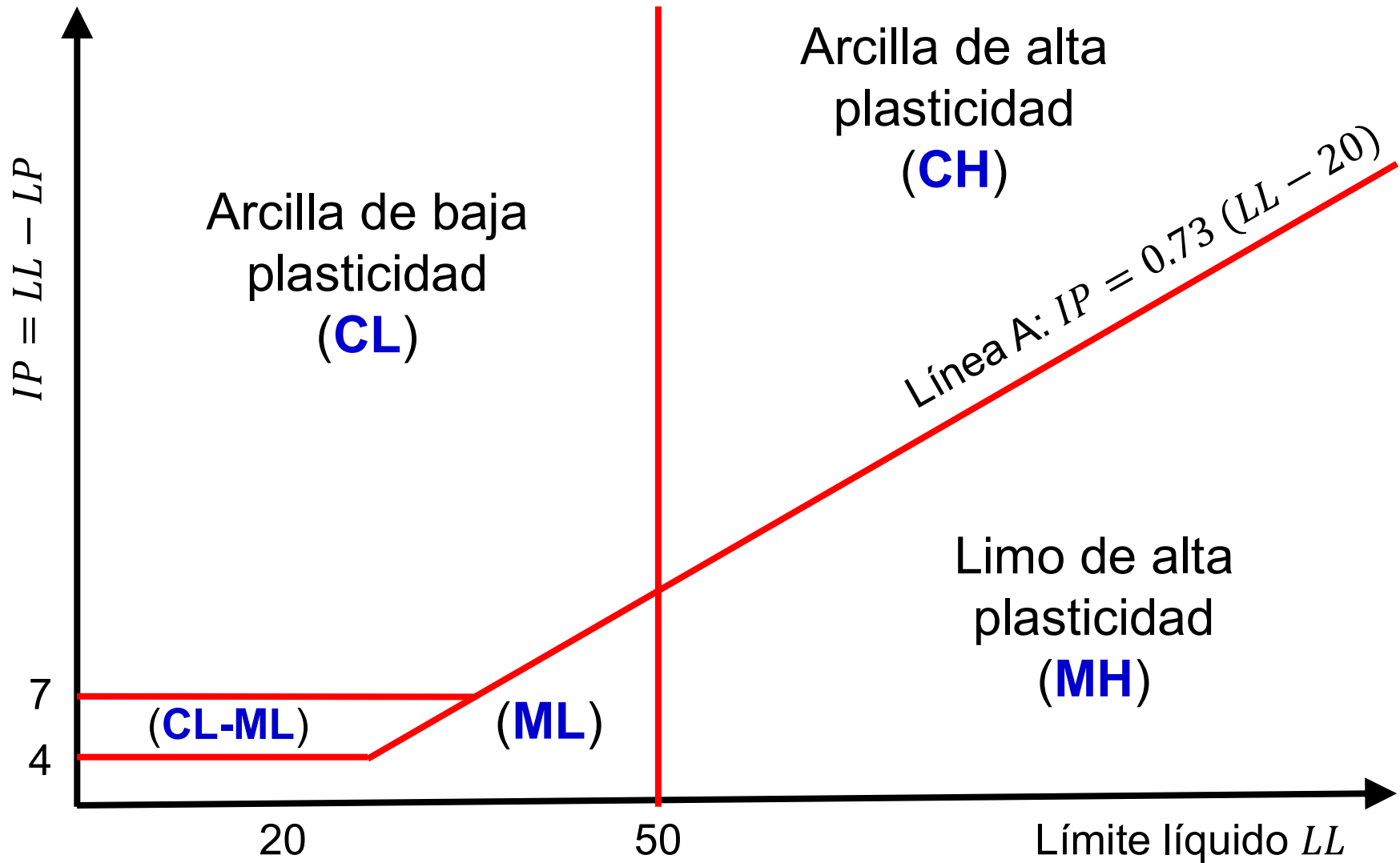


Es la humedad a la cual un “rollito” de suelo que se afina con la palma de la mano se parte en fragmentos de aproximadamente 3mm de diámetro

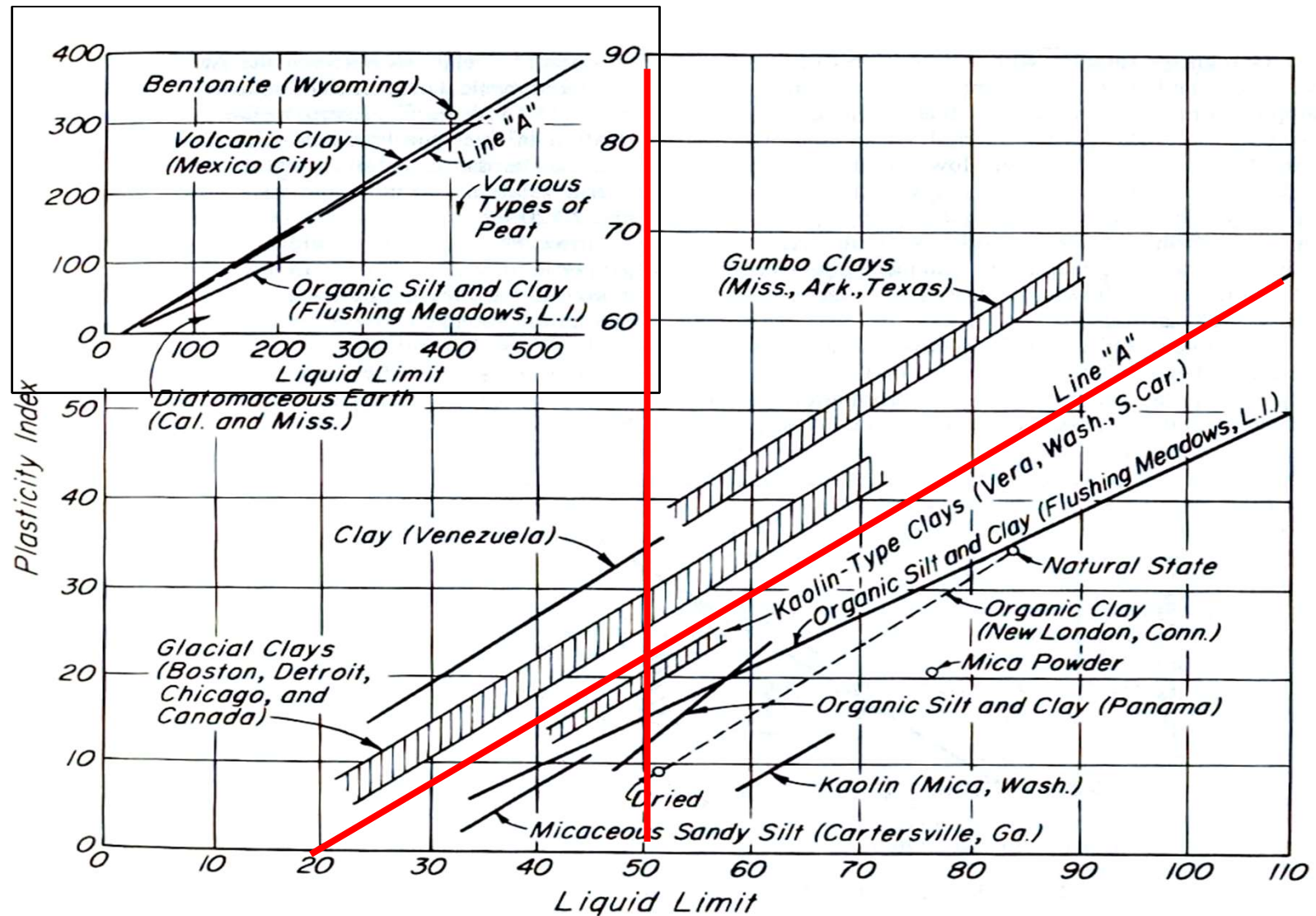




Suelos finos: Carta de plasticidad



Suelos finos: Algunos ejemplos



Índice



- Origen de los suelos y sistema de clasificación
- Suelos gruesos
- Suelos finos
- **Carta de clasificación de suelos**
- Propiedades índice
- Otras propiedades físicas
- Fisicoquímica de las arcillas

Carta de clasificación de suelos

NOTES:

- a Based on the material passing the 3 in (75 mm) sieve.
- b If field sample contained cobbles and/or boulders, add “with cobbles and/or boulders” to group name.
- c Gravels with 5 to 12% fines require dual symbols:
 GW-GM, well-graded gravel with silt
 GW-GC, well-graded gravel with clay
 GP-GM, poorly graded gravel with silt
 GP-GC, poorly graded gravel with clay
- d Sands with 5 to 12% fines require dual symbols:
 SW-SM, well-graded sand with silt
 SW-SC, well-graded sand with clay
 SP-SM, poorly graded sand with silt
 SP-SC, poorly graded sand with clay
- e $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{(D_{10})(D_{60})}$
 [C_u: Uniformity Coefficient; C_c: Coefficient of Curvature]
- f If soil contains ≥ 15% sand, add “with sand” to group name.
- g If fines classify as CL-ML, use dual symbol GC-GM, SC-SM.
- h If fines are organic, add “with organic fines” to group name.
- i If soil contains ≥ 15% gravel, add “with gravel” to group name.
- j If the liquid limit and plasticity index plot in hatched area on plasticity chart, soil is a CL-ML, silty clay.
- k If soil contains 15 to 29% plus No. 200 (0.075 mm), add “with sand” or “with gravel,” whichever is predominant.
- l If soil contains ≥ 30% plus No. 200 (0.075mm), predominantly sand, add “sandy” to group name.
- m If soil contains ≥ 30% plus No. 200 (0.075 mm), predominantly gravel, add “gravelly” to group name.
- n PI ≥ 4 and plots on or above “A” line.
- o PI < 4 or plots below “A” line.
- p PI plots on or above “A” line.
- q PI plots below “A” line.

| Criteria for Assigning Group Symbols and Group Names Using Laboratory Tests ^a | | | Soil Classification | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------|--------------------------------------------------------------------|
| | | | Group Symbol | Group Name ^b |
| COARSE-GRAINED SOILS (Sands and Gravels) - more than 50% retained on No. 200 (0.075 mm) sieve | | | | |
| FINE-GRAINED (Silts and Clays) - 50% or more passes the No. 200 (0.075 mm) sieve | | | | |
| GRAVELS More than 50% of coarse Fraction retained on No. 4 Sieve | CLEAN GRAVELS < 5% fines | $C_u \geq 4$ and $1 \leq C_c \leq 3^e$ | GW | Well-graded gravel ^f |
| | | $C_u < 4$ and/or $1 > C_c > 3^e$ | GP | Poorly-graded gravel ^f |
| | GRAVELS WITH FINES > 12% of fines ^c | Fines classify as ML or MH | GM | Silty gravel ^{f,g,h} |
| | | Fines classify as CL or CH | GC | Clayey gravel ^{f,g,h} |
| SANDS 50% or more of coarse fraction passes No. 4 Sieve | CLEAN SANDS < 5% fines ^d | $C_u \geq 6$ and $1 \leq C_c \leq 3^e$ | SW | Well-graded Sand ⁱ |
| | | $C_u < 6$ and/or $1 > C_c > 3^e$ | SP | Poorly-graded sand ⁱ |
| | SANDS WITH FINES > 12% fines ^d | Fines classify as ML or MH | SM | Silty sand ^{g,h,i} |
| | | Fines classify as CL or CH | SC | Clayey sand ^{g,h,i} |
| SILTS AND CLAYS Liquid limit less than 50 | Inorganic | PI > 7 and plots on or above "A" line ^j | CL | Lean clay ^{k,l,m} |
| | | PI < 4 or plots below "A" line ^j | ML | Silt ^{k,l,m} |
| | Organic | $\frac{\text{Liquid limit - overdried}}{\text{Liquid limit - not dried}} < 0.75$ | OL | Organic clay ^{k,l,m,n} Organic silt ^{k,l,m,o} |
| SILTS AND CLAYS Liquid limit 50 or more | Inorganic | PI plots on or above "A" line | CH | Fat clay ^{k,l,m} |
| | | PI plots below "A" line | MH | Elastic silt ^{k,l,m} |
| | Organic | $\frac{\text{Liquid limit - oven dried}}{\text{Liquid limit - not dried}} < 0.75$ | OH | Organic clay ^{k,l,m,p} Organic silt ^{k,l,m,q} |
| Highly fibrous organic soils | Primary organic matter, dark in color, and organic odor | | Pt | Peat |

| Criteria for Assigning Group Symbols and Group Names Using Laboratory Tests ^a | | | Soil Classification | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------|-----------------------------------|
| COARSE-GRAINED SOILS (Sands and Gravels) - more than 50% retained on No. 200 (0.075 mm) sieve FINE-GRAINED (Silts and Clays) - 50% or more passes the No. 200 (0.075 mm) sieve | | | Group Symbol | Group Name ^b |
| GRAVELS More than 50% of coarse Fraction retained on No. 4 Sieve | CLEAN GRAVELS < 5% fines | $C_u \geq 4$ and $1 \leq C_c \leq 3^e$ | GW | Well-graded gravel ^f |
| | | $C_u < 4$ and/or $1 > C_c > 3^e$ | GP | Poorly-graded gravel ^f |
| | GRAVELS WITH FINES > 12% of fines ^c | Fines classify as ML or MH | GM | Silty gravel ^{f,g,h} |
| | | Fines classify as CL or CH | GC | Clayey gravel ^{f,g,h} |
| SANDS 50% or more of coarse fraction passes No. 4 Sieve | CLEAN SANDS < 5% fines ^d | $C_u \geq 6$ and $1 \leq C_c \leq 3^e$ | SW | Well-graded Sand ⁱ |
| | | $C_u < 6$ and/or $1 > C_c > 3^e$ | SP | Poorly-graded sand ⁱ |
| | SANDS WITH FINES > 12% fines ^d | Fines classify as ML or MH | SM | Silty sand ^{g,h,i} |
| | | Fines classify as CL or CH | SC | Clayey sand ^{g,h,i} |

| Criteria for Assigning Group Symbols and Group Names Using Laboratory Tests ^a | | | | Soil Classification | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|---------------------|-----------------------|
| COARSE 50% 1 FINE No. 2 | b | If field sample contained cobbles and/or boulders, add “with cobbles and/or boulders” to group name. | | | p b |
| | c | <div>Gravels with 5 to 12% fines require dual symbols: GW-GM, well-graded gravel with silt GW-GC, well-graded gravel with clay GP-GM, poorly graded gravel with silt GP-GC, poorly graded gravel with clay Sands with 5 to 12% fines require dual symbols: SW-SM, well-graded sand with silt SW-SC, well-graded sand with clay SP-SM, poorly graded sand with silt SP-SC, poorly graded sand with clay</div> | | | |
| GRAVEL More 50% coars Fract retain No. 4 Sieve | d | | | | led |
| | | | | | aded |
| | | | | | el ^{f,g,h} |
| | e | | | | |
| SAND 50% of co fracti passe Sieve | | $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad C_c = \frac{(D_{30})^2}{(D_{10})(D_{60})}$ | | | led |
| | | [C _u : Uniformity Coefficient; C _c : Coefficient of Curvature] | | | |
| | f | If soil contains ≥ 15% sand, add “with sand” to group name. | | | aded |
| | g | If fines classify as CL-ML, use dual symbol GC-GM, SC-SM. | | | |
| | h | If fines are organic, add “with organic fines” to group name. | | | g,h,i |
| | i | If soil contains ≥ 15% gravel, add “with gravel” to group name. | | | |
| | | > 12% fines ^d | Fines classify as CL or CH | SC | sand ^{g,h,i} |

| Criteria for Assigning Group Symbols and Group Names Using Laboratory Tests ^a | | | Soil Classification | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------------------|
| | | | Group Symbol | Group Name ^b |
| COARSE-GRAINED SOILS (Sands and Gravels) - more than 50% retained on No. 200 (0.075 mm) sieve FINE-GRAINED (Silts and Clays) - 50% or more passes the No. 200 (0.075 mm) sieve | | | | |
| SILTS AND CLAYS Liquid limit less than 50 | Inorganic | PI > 7 and plots on or above "A" line ^j | CL | Lean clay ^{k,l,m} |
| | | PI < 4 or plots below "A" line ^j | ML | Silt ^{k,l,m} |
| | Organic | $\frac{\text{Liquid limit - overdried}}{\text{Liquid limit - not dried}} < 0.75$ | OL | Organic clay ^{k,l,m,n} |
| | | | | Organic silt ^{k,l,m,o} |
| SILTS AND CLAYS Liquid limit 50 or more | Inorganic | PI plots on or above "A" line | CH | Fat clay ^{k,l,m} |
| | | PI plots below "A" line | MH | Elastic silt ^{k,l,m} |
| | Organic | $\frac{\text{Liquid limit - oven dried}}{\text{Liquid limit - not dried}} < 0.75$ | OH | Organic clay ^{k,l,m,p} |
| | | | | Organic silt ^{k,l,m,q} |
| Highly fibrous organic soils | Primary organic matter, dark in color, and organic odor | | Pt | Peat |

| Criteria for Assigning Group Symbols and Group Names Using Laboratory Tests ^a | | | Soil Classification | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------|----------------------------|
| COARSE-GRAINED SOILS (Sands and Gravels) - more than 50% retained on No. 200 (0.075 mm) sieve FINE-GRAINED (Silts and Clays) - 50% or more passes the No. 200 (0.075 mm) sieve | | | Group Symbol | Group Name ^b |
| SILTS AND CLAYS | Inorganic | PI > 7 and plots on or above "A" line ^j | CL | Lean clay ^{k,l,m} |
| CL ^j | If the liquid limit and plasticity index plot in hatched area on plasticity chart, soil is a CL-ML, silty clay. | | | |
| CL ^k | If soil contains 15 to 29% plus No. 200 (0.075 mm), add "with sand" or "with gravel," whichever is predominant. | | | |
| CL ^l | If soil contains ≥ 30% plus No. 200 (0.075mm), predominantly sand, add "sandy" to group name. | | | |
| CL ^m | If soil contains ≥ 30% plus No. 200 (0.075 mm), predominantly gravel, add "gravelly" to group name. | | | |
| CL ⁿ | PI ≥ 4 and plots on or above "A" line. | | | |
| CL ^o | PI < 4 or plots below "A" line. | | | |
| CL ^p | PI plots on or above "A" line. | | | |
| CL ^q | PI plots below "A" line. | | | |
| fibrous organic soils | Primary organic matter, dark in color, and organic odor | | Pt | Peat |



Carta de clasificación de suelos: resumen

- Suelo grueso limpio: $P_{\#200} < 5\%$
 - **SW , SP , GW , GP**
- Suelo grueso con $5\% < P_{\#200} < 12\%$
 - **SW-SM , SW-SC , SW-SC-SM , SP-SM , SP-SC , SP-SC-SM**
 - **GW-GM , GW-GC , GW-GC-GM , GP-GM , GP-GC , GP-GC-GM**
- Suelo grueso con $12\% < P_{\#200} < 50\%$
 - **SC , SM , SC-SM , GC , GM , GC-GM**
- Suelo fino $P_{\#200} > 50\%$
 - **CL-ML , ML , MH , CL , CH**

Carta de clasificación de suelos: ejercicios



- 1: $P_{\#4} = 100\%$, $P_{\#200} = 95\%$, $LL = 38$, $LP = 28$
- 2: $P_{\#4} = 100\%$, $P_{\#200} = 25\%$, $LL = 27$, $LP = 13$, $C_u = 4.3$, $C_c = 1.1$
- 3: $P_{3''} = 95\%$, $P_{\#4} = 50\%$, $P_{\#200} = 8\%$, $LL = 27$, $LP = 13$, $C_u = 5.9$, $C_c = 4.3$
- 4: $P_{\#4} = 90\%$, $P_{\#200} = 3\%$, $C_u = 2.3$, $C_c = 1.7$

Índice

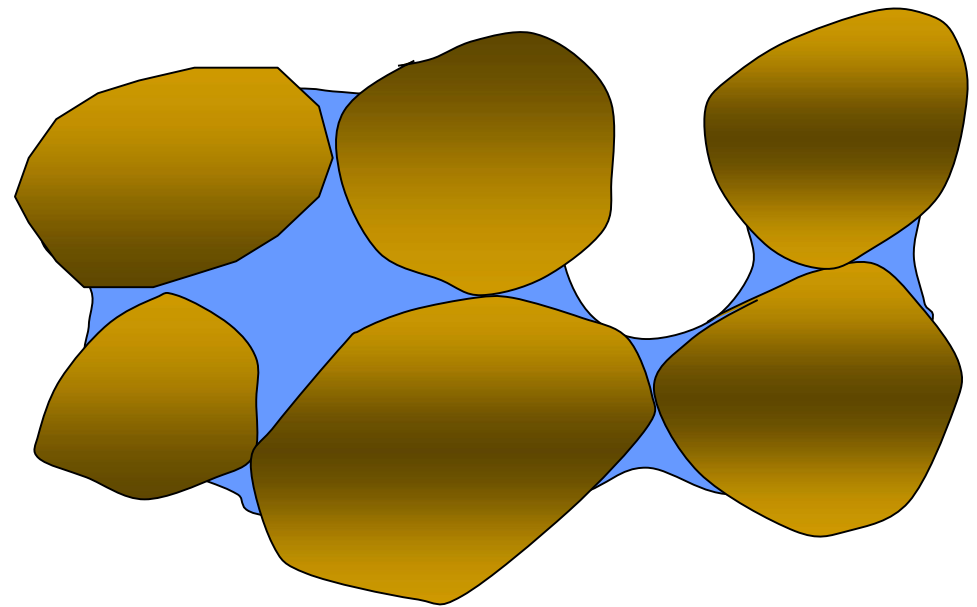
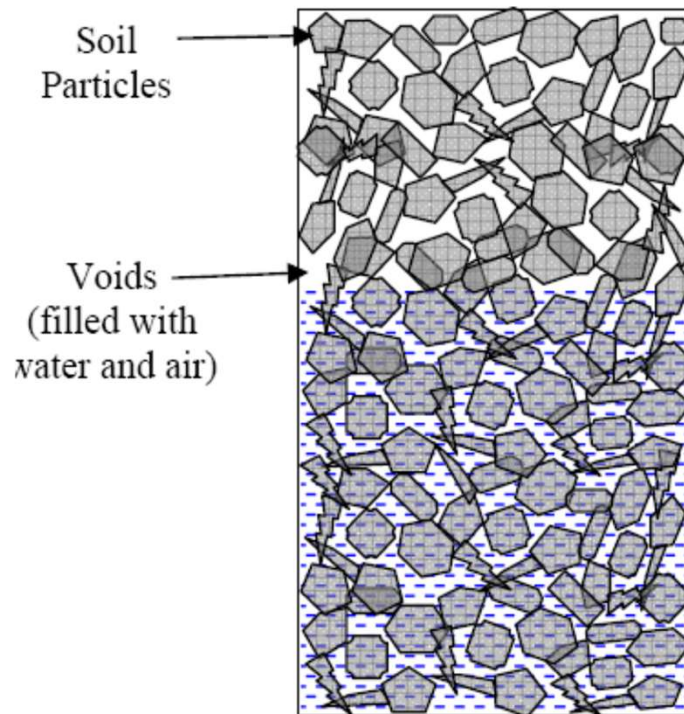


- Origen de los suelos y sistema de clasificación
- Suelos gruesos
- Suelos finos
- Carta de clasificación de suelos
- **Propiedades índice**
- Otras propiedades físicas
- Fisicoquímica de las arcillas



Propiedades índice

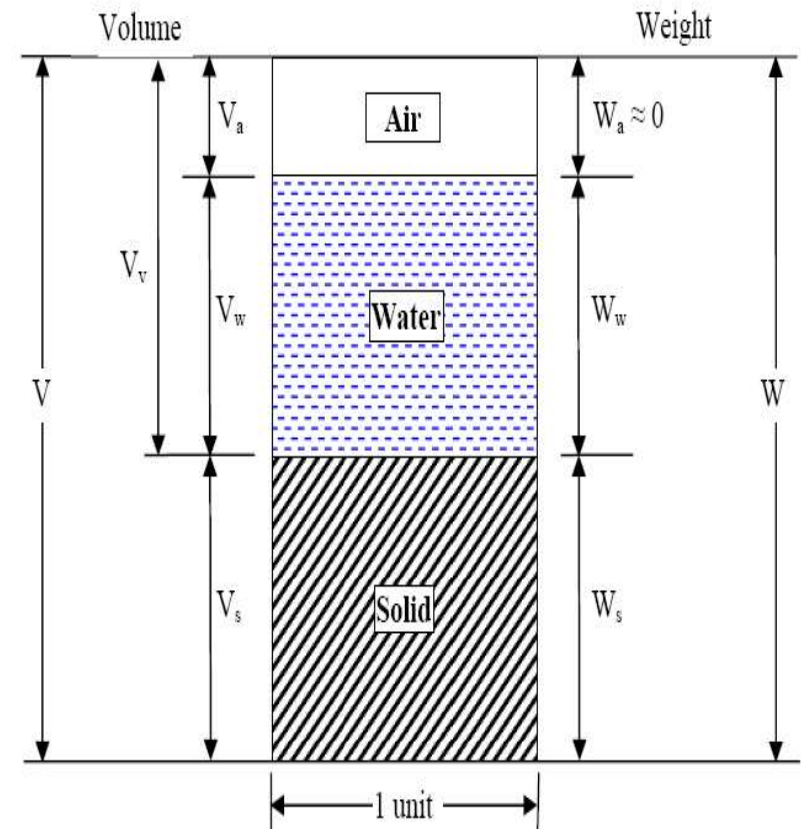
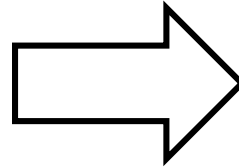
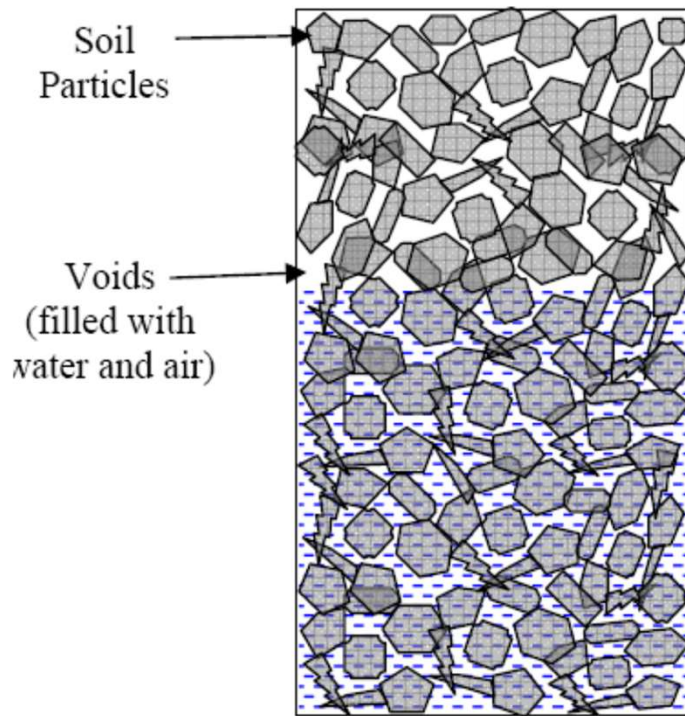
Las propiedades índice caracterizan el estado de un suelo (definen cómo el suelo “está”)





Propiedades índice: Diagrama de fases

Para definir las propiedades índice se recurre al diagrama de fases

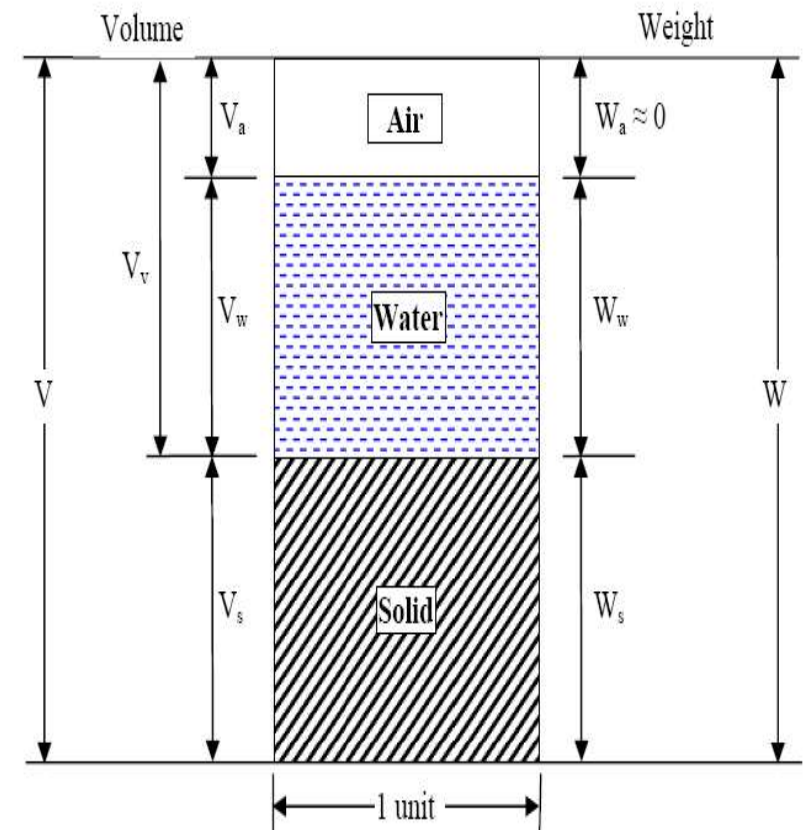




Propiedades índice: definiciones

Para definir las propiedades índice se recurre al diag. de fases

- Gravedad específica: $G_s = \gamma_s / \gamma_w$
- Peso específico: $\gamma_s = W_s / V_s$
- Humedad: $\omega = W_w / W_s$
- Humedad volumétrica: $\theta = V_w / V$
- Peso unitario: $\gamma = W / V$
- Peso unitario seco: $\gamma_d = W_s / V$
- Relación de vacíos: $e = V_v / V_s$
- Porosidad: $n = V_v / V$
- Volumen específico: $v = V / V_s$
- Grado de saturación: $S_r = V_w / V_v$

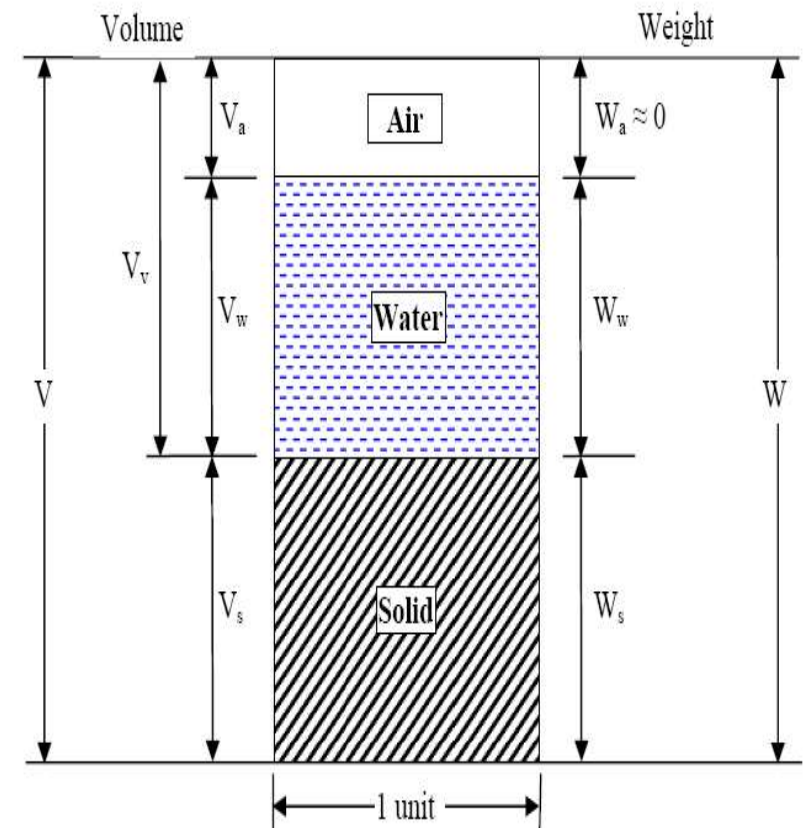




Propiedades índice: Deducción de algunas relaciones útiles

- $\gamma_d = \gamma / (1 + \omega) = \gamma_s (1 - n) = \gamma_s / (1 + e)$
- $n = e / (1 + e) = 1 - \gamma_d / \gamma_s$
- $e = n / (1 - n) = \gamma_s / \gamma_d - 1$
- $\omega = e S_r \gamma_w / \gamma_s$
- $\omega_{sat} = e \gamma_w / \gamma_s$
- $S_r = \omega \gamma_s / (e \gamma_w)$
- $\theta = S_r n$

Va a ser nuestro vocabulario a lo largo de toda la materia (hay que manejarlo muy bien)





Propiedades índice que “no cambian” (propiedades intrínsecas)

Algunas propiedades índice no cambian cuando cambia la humedad o la densidad del material

- Peso específico de las partículas sólidas (γ_s) depende de los minerales constitutivos
- La relación de vacíos máxima y mínima (e_{\max} y e_{\min}) depende de la granulometría y forma de partículas
- Los límites de Atterberg (LL , LP) y la superficie específica (S_e) dependen de los minerales de arcilla, siempre y cuando no cambie el fluido del ensayo (a. destilada)

Aquellas propiedades índice que cambian (w , γ , γ_d , e) se las llama propiedades de estado



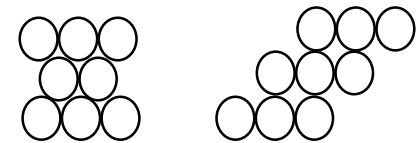
Propiedades índice derivadas

Son números adimensionales que permiten agrupar a suelos de comportamiento similar

- Suelos gruesos

- Densidad relativa

$$D_r = \frac{e_{max} - e_0}{e_{max} - e_{min}}$$



- Suelos finos

- Consistencia relativa

$$C_r = \frac{LL - \omega}{LL - LP}$$

- Índice de liquidez

$$I_l = \frac{\omega - LP}{LL - LP}$$

Índice

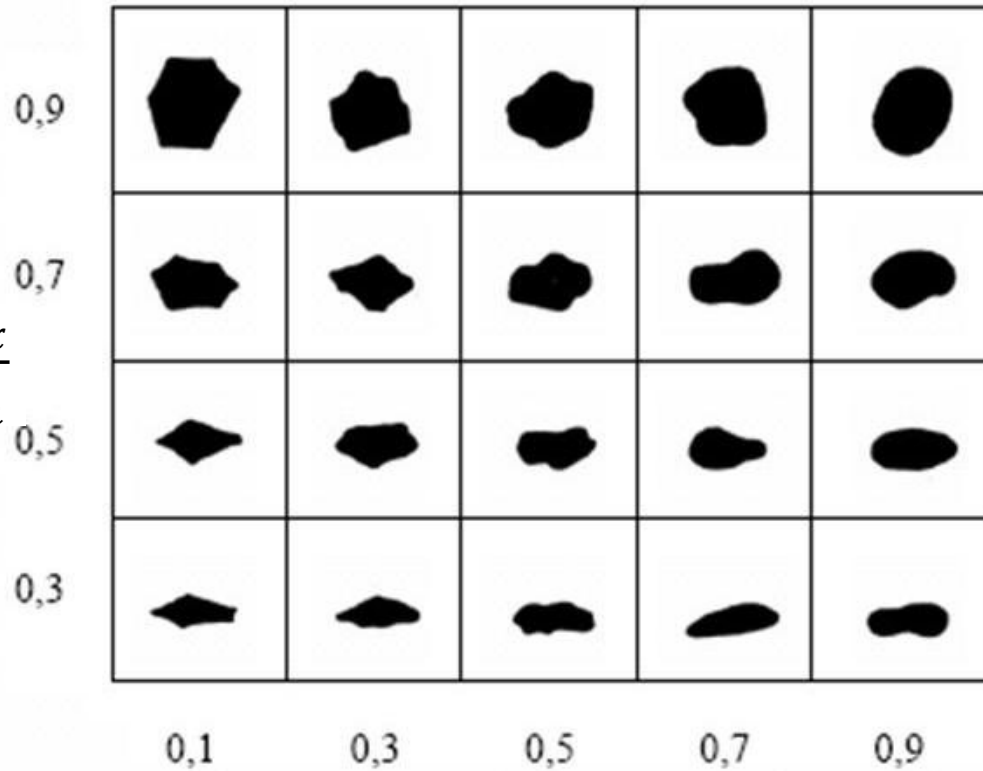


- Origen de los suelos y sistema de clasificación
- Suelos gruesos
- Suelos finos
- Carta de clasificación de suelos
- Propiedades índice
- Otras propiedades físicas
- Fisicoquímica de las arcillas

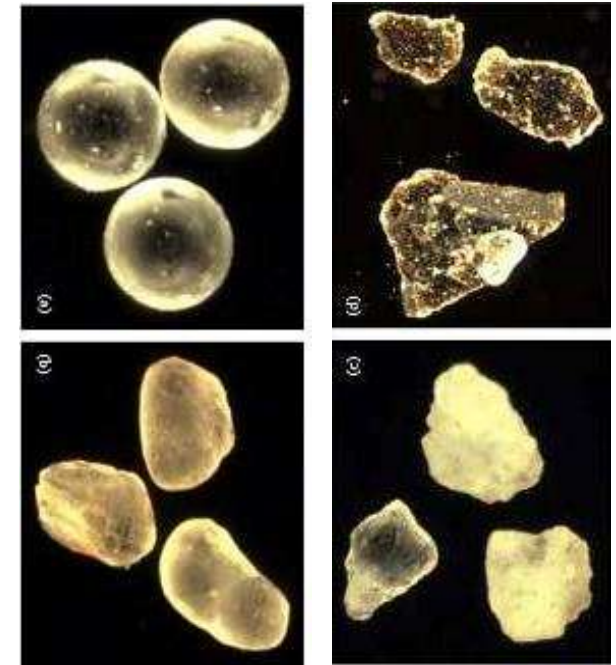


Esfericidad y redondez: inspección visual en microscopio óptico

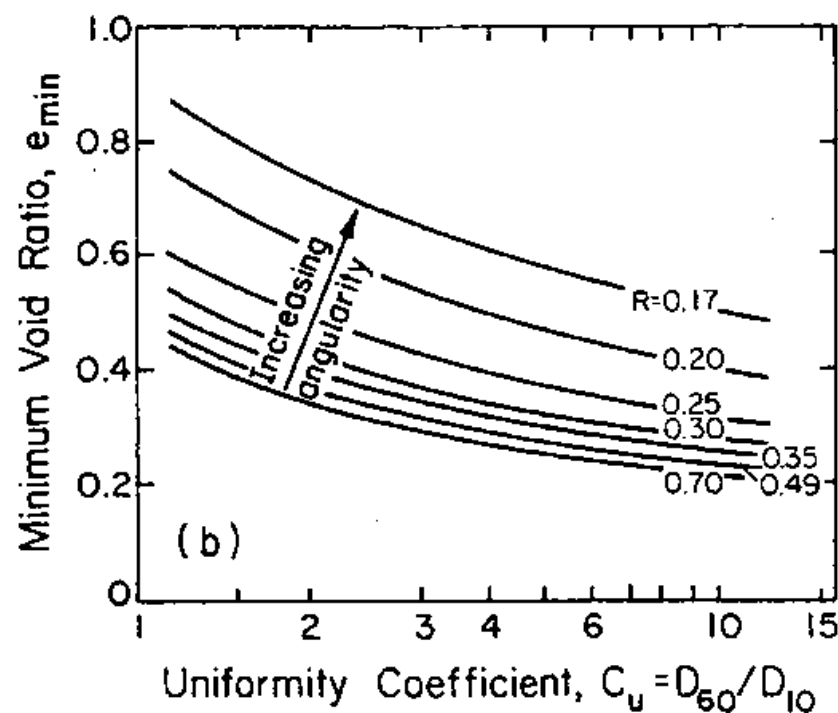
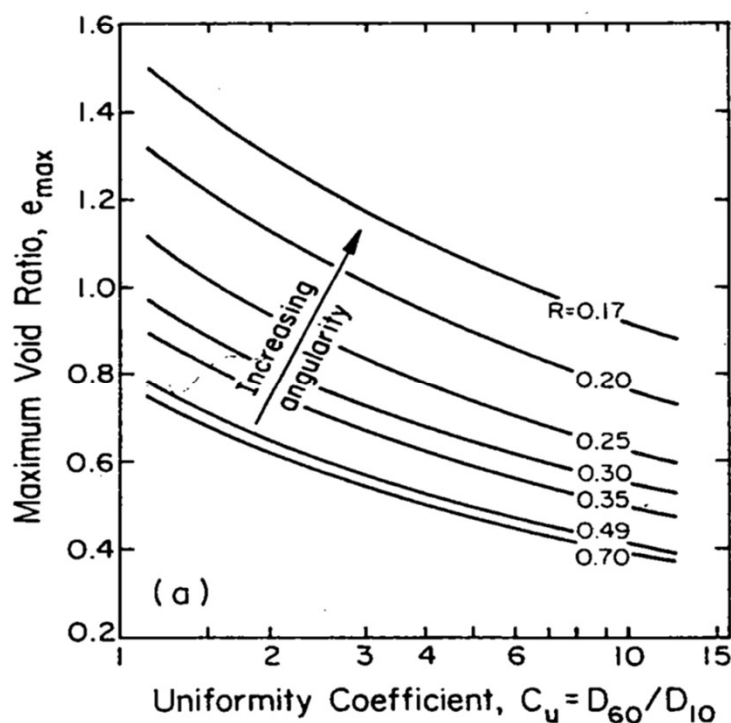
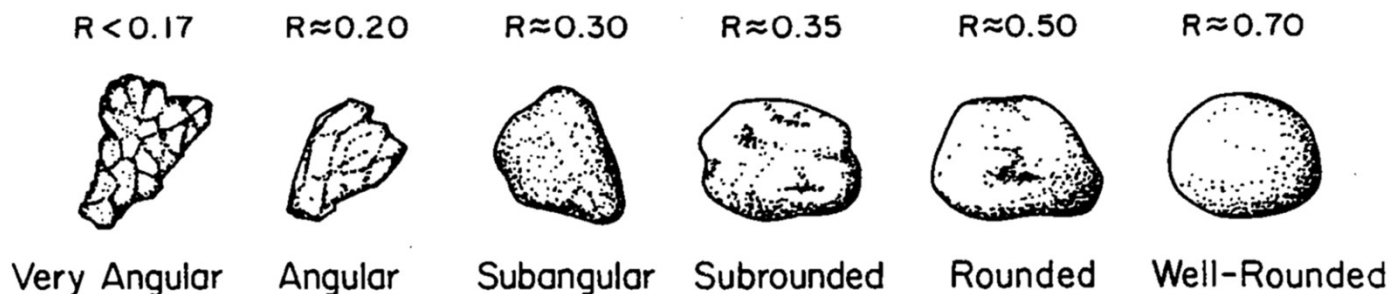
$$S = \frac{r_{max}}{r_{min}}$$



$$R = \frac{\sum r_i / N}{r_{max}}$$



Esfericidad y redondez: Efecto de forma sobre densidad

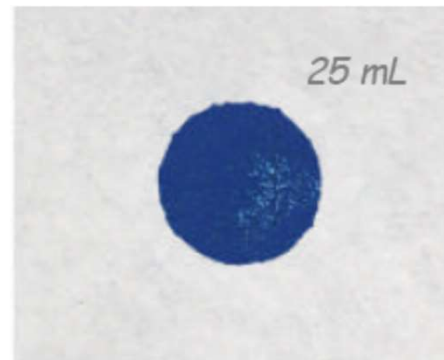
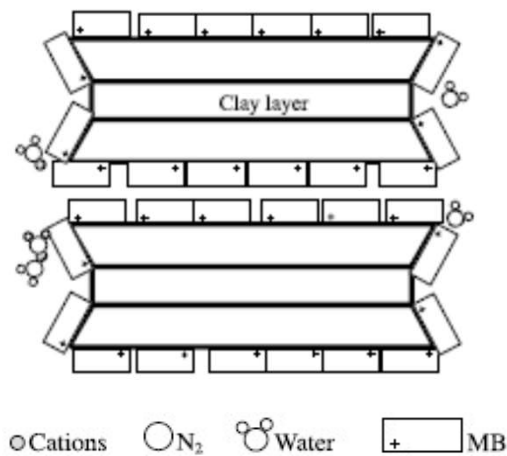


(Santamarina 2006)

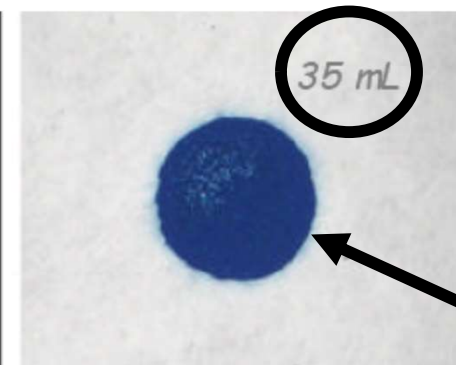


Superficie específica: Técnica de absorción de azul de metileno (MB)

- Caracterización de expansividad (ÁGIL EJECUCIÓN)



Absorción total
MB



MB en exceso
(fin ensayo)

Número
($N = 70$)

Halo celeste

| | Montmorillonite | Illite | Kaolinite | Attapulgite |
|---------------------------|-----------------|---------|-----------|-------------|
| S_s (m ² /g) | 400–800 | 80–100 | 10–20 | 140–170 |
| LL (%) | 100–950 | 60–120 | 30–110 | 160–230 |
| PL (%) | 50–100 | 35–60 | 25–40 | 100–140 |
| Activity | 0.9–7.0 | 0.5–1.0 | 0.3–0.5 | 0.5–1.2 |

(Yong and Warkentin 1975;
Zelazny and Calhoun 1977;
Mitchell 1993)

Nota de precaución



Suelo grueso: comportamiento controlado por contacto entre partículas

- Densidad controla el comportamiento
- “Seco” o “húmedo” no es importante

Suelo fino: comportamiento controlado por interacción físico-química entre minerales y fluido

- La “humedad” es la propiedad índice fundamental
- El suelo tiene “memoria”

El contenido de finos que es frontera entre comportamientos es 20 – 30%, no 50%

“GC” es más “C” que “G”, “SM” es más “M” que “S”

Índice



- Origen de los suelos y sistema de clasificación
- Suelos gruesos
- Suelos finos
- Carta de clasificación de suelos
- Propiedades índice
- Fisicoquímica de las arcillas



Fisicoquímica de las arcillas: Fuerzas superficiales vs fuerzas de masa

Cuanto más chicas son las partículas (mayor superficie específica), las fuerzas de superficie (eléctricas) aumentan en relación a las fuerzas de volumen (masa)

Para una esfera de radio R

- Fuerza de masa: $W = \rho g \cdot (4/3 \pi R^3)$
- Fuerza de superficie: $S = \alpha \cdot (4\pi R^2)$
- Relación $S/W = (\alpha/\rho g) \cdot (3/R)$

La relación es 1000 veces más grande para una partícula de arcilla (1μ) que para una de arena ($1mm$)



Fisicoquímica de las arcillas: Agua adsorbida y libre

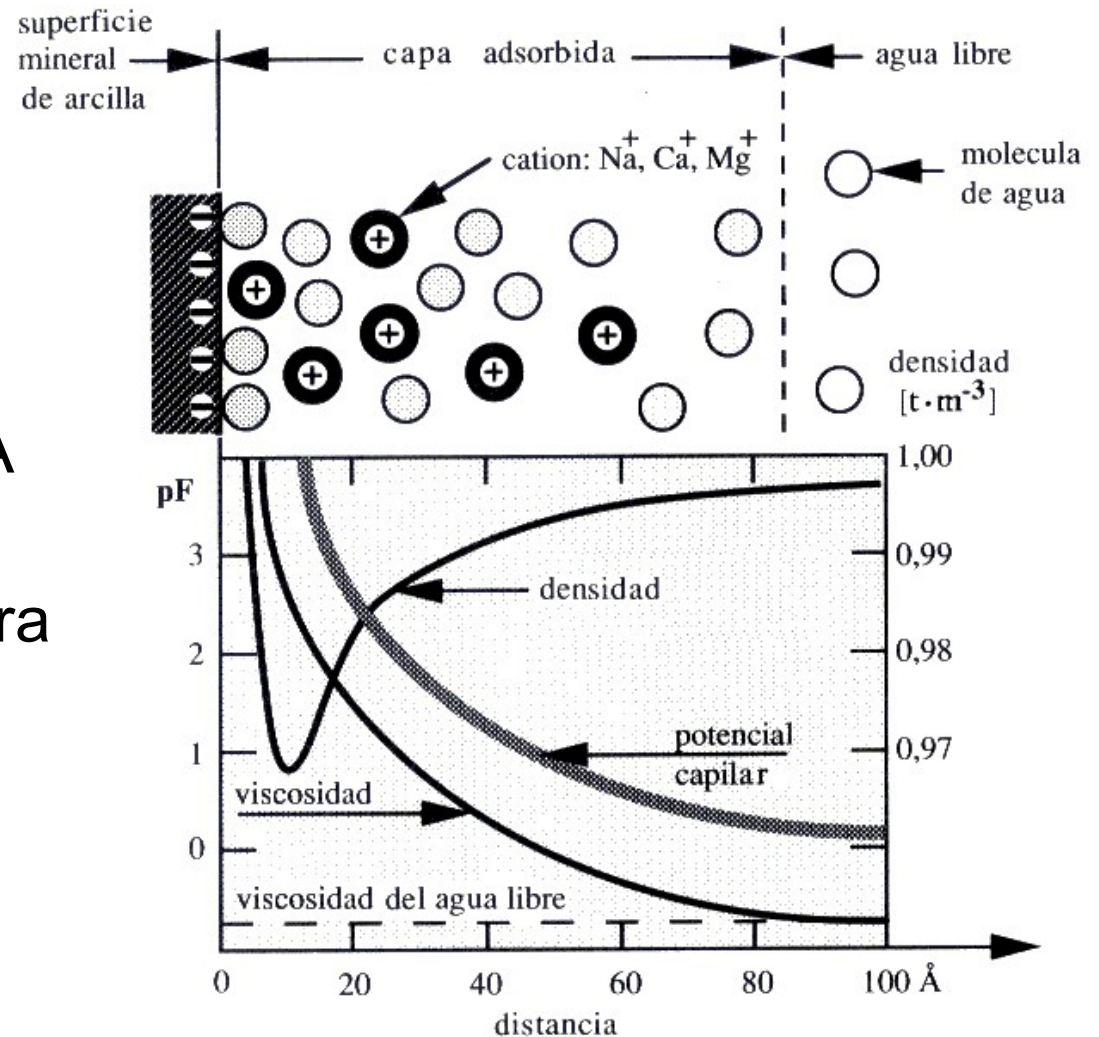
Las moléculas de agua se adhieren a la superficie negativa de la arcilla,

por puente de hidrógeno

El espesor de la capa adsorbida es de 10Å a 100Å

El agua adsorbida no es liberada al secar una muestra a horno (medir humedad)

(1 Å = 10^{-10} m = 10^{-4} mm)



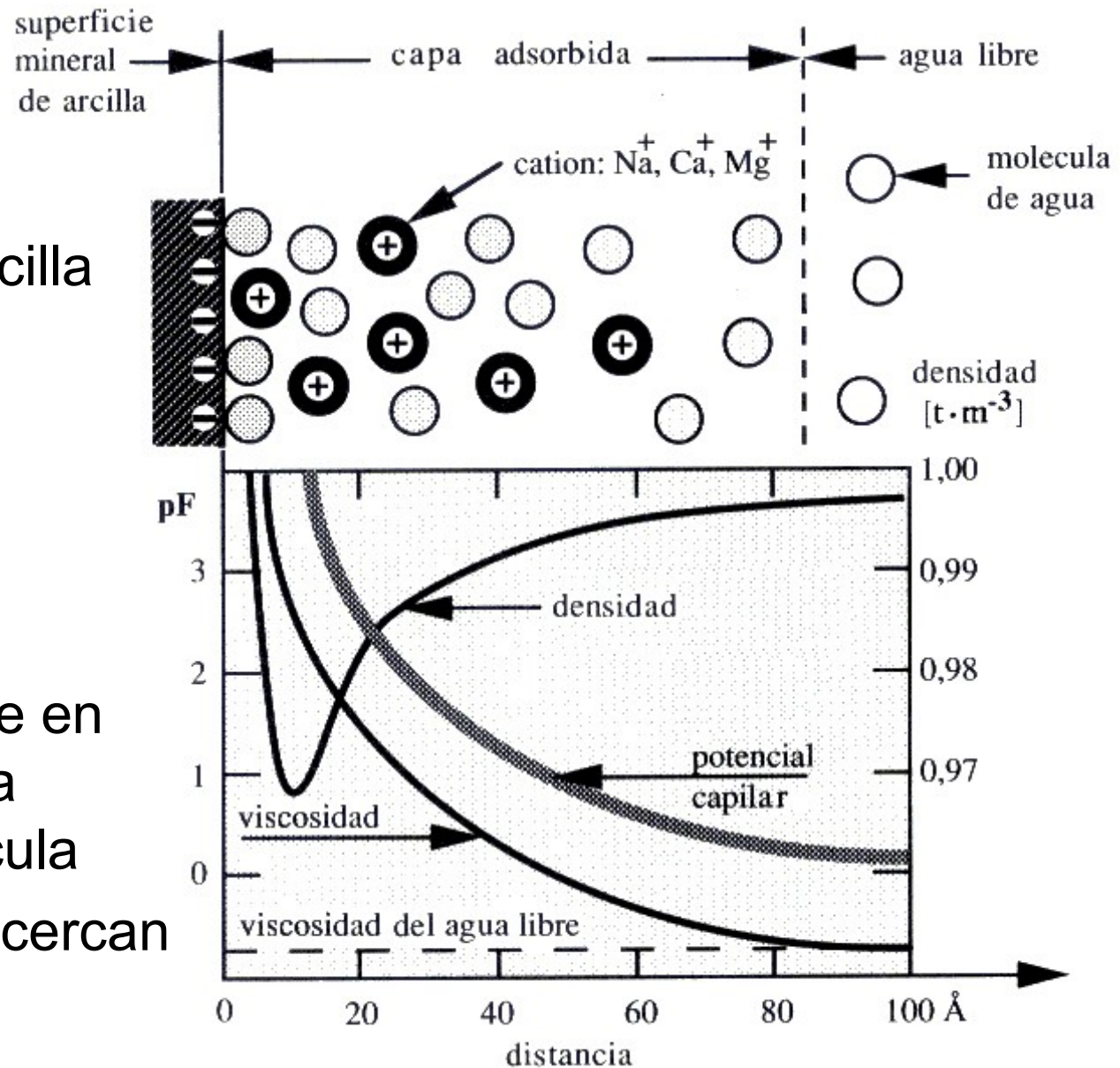
Fisicoquímica de las arcillas: Agua adsorbida y libre



La densidad del agua contra la partícula de arcilla es alta (1.4 g/cm^3)

Las moléculas de agua adsorbida no están en estado sólido

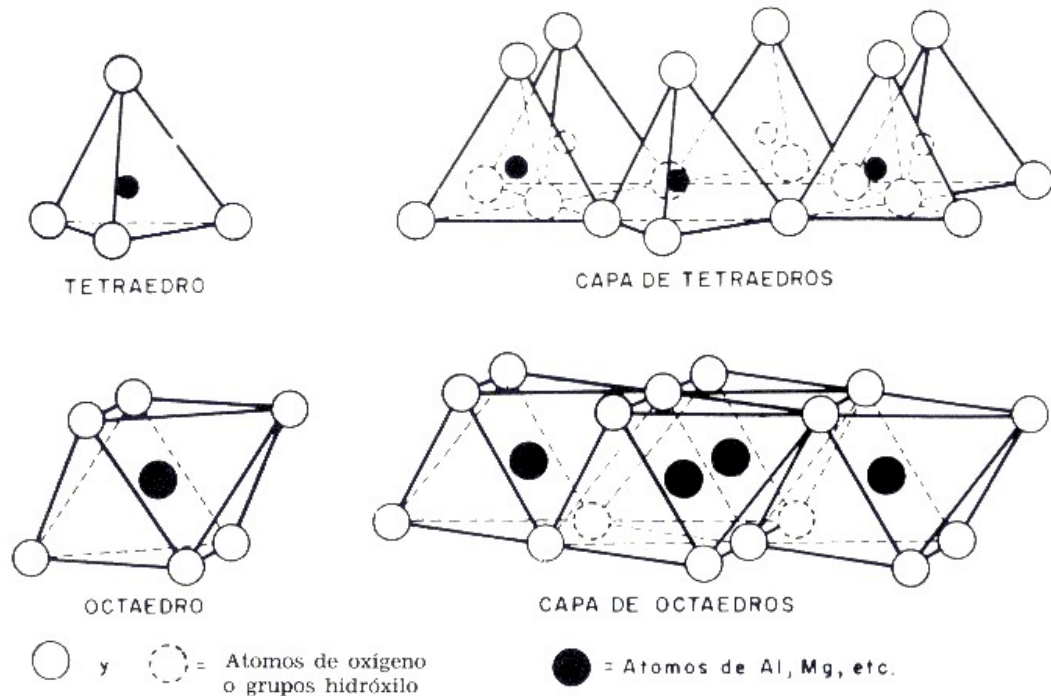
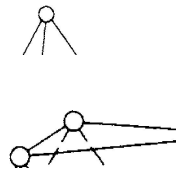
- Se mueven fácilmente en dirección paralela a la superficie de la partícula
- Pero no se alejan o acercan





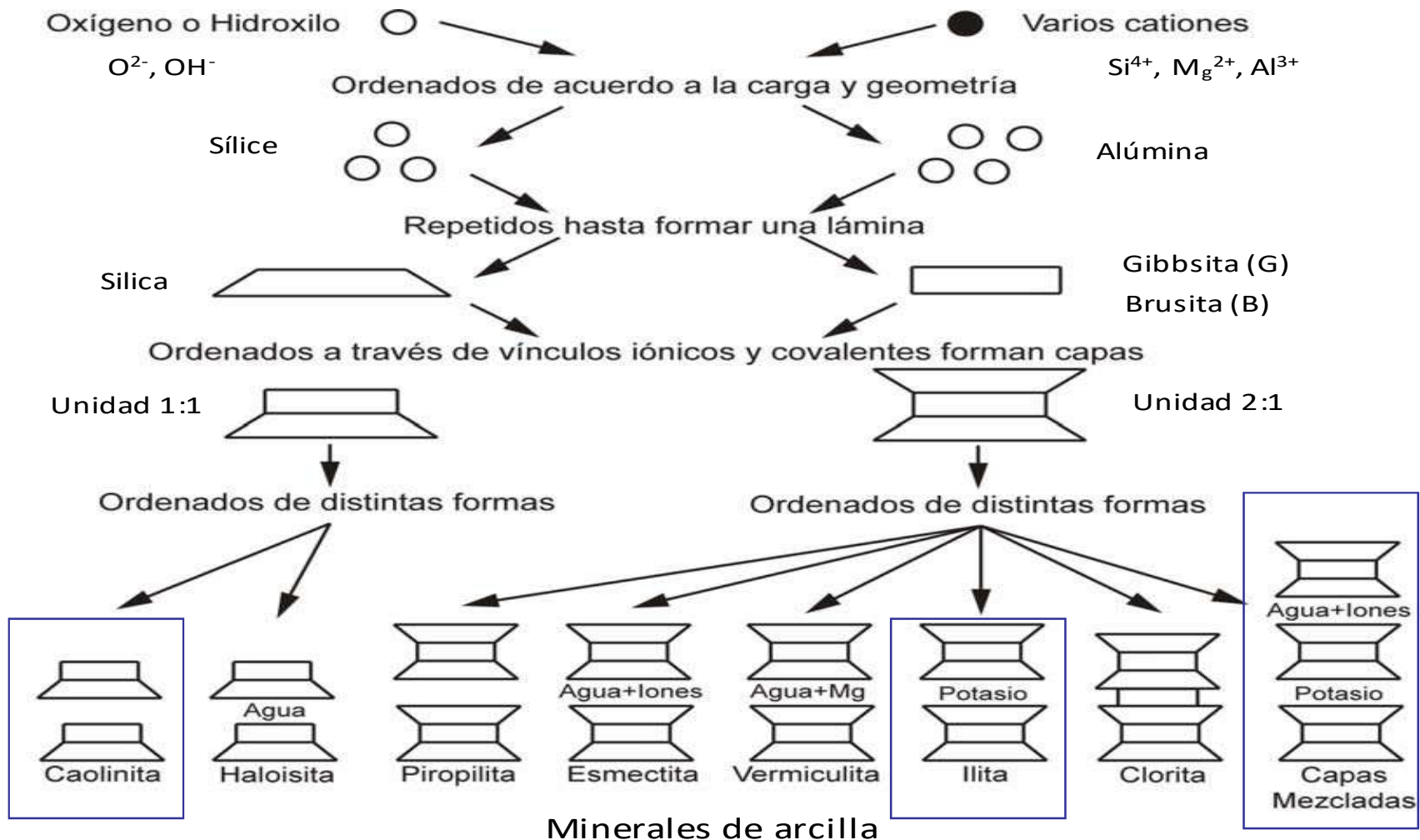
Fisicoquímica de las arcillas: Unidades fundamentales

- **Los procesos físicos de meteorización de rocas generan gravas, arenas y limos**
- **Sólo los procesos químicos generan arcillas**
- Las unidades fundamentales de las arcillas son cristales planos, fundamentalmente silicatos de Al, Fe, Mg
- Dos configuraciones atómicas posibles:
 - Tetraedro
 - Octaedro





Fisicoquímica de las arcillas: Unidades fundamentales

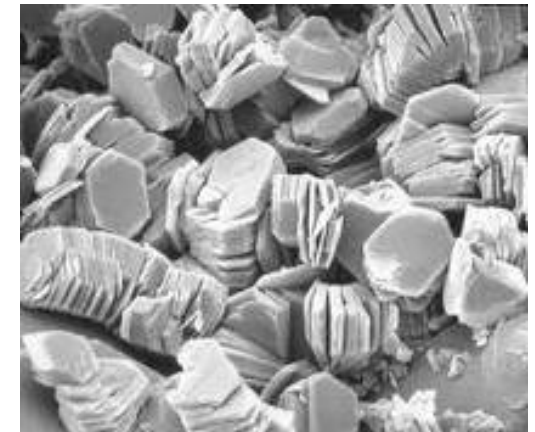
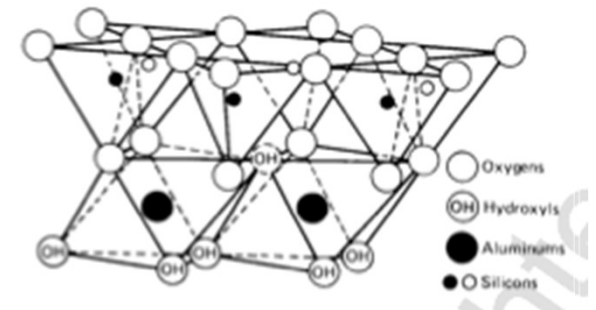
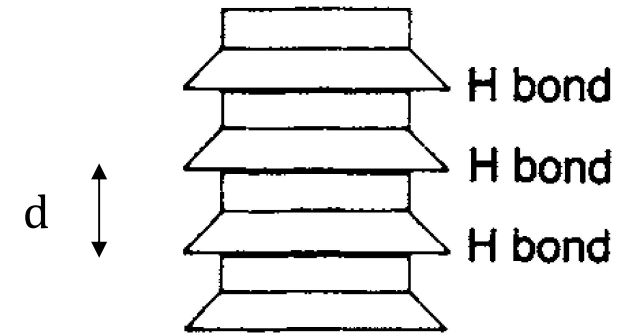


(adaptado de Mitchell, 1993)

Fisicoquímica de las arcillas: Mineral de kaolinita (1:1, LL<50)



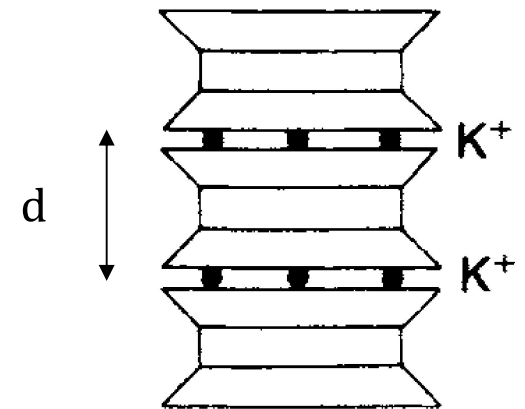
- Alteración de feldespatos y micas
- Una capa de octaedros y una de tetraedros conforman una “hoja”
- Distancia basal: $d = 7.2\text{\AA}$
- Unión fuerte por puente de hidrógeno
La sustitución de Si o Al es muy escasa, la fórmula es $\text{Si}_4\text{O}_{10}\text{Al}_4(\text{OH})_8$
- No tiene carga neta (negativa o positiva) expuesta en superficie
- **Baja expansividad por contacto con agua**



Fisicoquímica de las arcillas: Mineral de illita (2:1, $50 < LL < 80$)



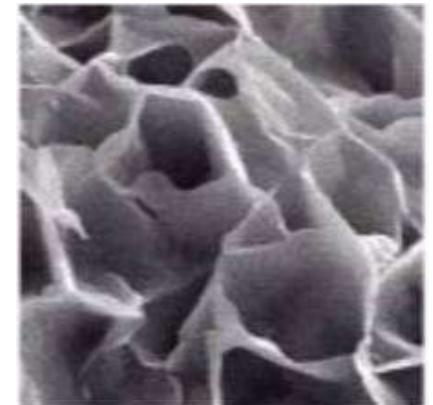
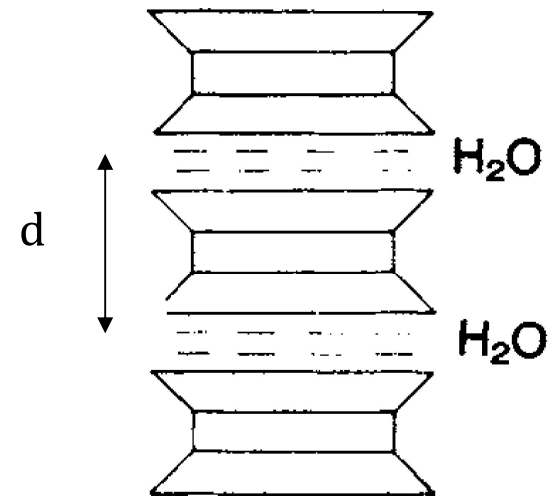
- Es el mineral de arcilla más abundante, producto de la alteración de muscovitas y feldespatos
- Similar a la montmorilonita pero los cationes son K^+ y no son intercambiables
- No admite la entrada de agua entre las láminas
- Distancia basal: $d = 10 - 14 \text{ \AA}$
- **Media expansividad por contacto con agua**



Fisicoquímica de las arcillas: Mineral de Montmorilonita (2:1, LL>200)



- Alteración de cenizas volcánicas (ej: bentonita)
- Dos capas de tetraedros encierran una de octaedros.
- La unión débil entre tetraedros es mucho más débil que en la caolinita por lo que puede ingresar agua (hincha al hidratar)
- Distancia basal: $d = 9.6\text{\AA}$
- Las caras negativas atraen cationes que son fácilmente sustituibles: cationes de cambio
- **Alta expansividad por contacto con agua**



Bibliografía



Básica

- Craig. Soil Mechanics. 8^{va} edición

Complementaria

- Mitchell, J. Fundamentals of soil behavior. 3^a Ed. Wiley