CI0222 - Ingeniería Geológica y Geotécnica

Tema: Introducción e Identificación de suelos

Docente Responsable:
Ing. Hugo Orlando Reinert

Equipo docente:
Dr. Ing. Gustavo Orlando Bogado
Mgtr. Ing. Hugo Orlando Reinert
Ing. Marcelo Hugo Ernesto Gross

Tabla de contenidos

01
Introducción
Definiciones

02
Comportamiento del suelo
Introducción

03
Fases del suelo
Descripción de las mismas

04
Propiedades Índice
Descripción general

05
Relaciones volumétricas
Definiciones

06
Relaciones gravimétricas
Definiciones



Introducción

Definiciones

Suelo vs Roca

SUELO



Terzaghi: Agregado natural de partículas minerales, **separables por fuerzas mecánicas de poca intensidad**, como la agitación en agua.

ASTM: Sedimentos u otras acumulaciones de partículas sólidas producidas por la **desintegración física y química de las rocas**, **con o sin materia orgánica**.

Vs

ROCA



Terzaghi: Agregado natural de partículas minerales, unidas por **fuerzas cohesivas poderosas y permanentes.**

ASTM: Materia **sólida mineral** que se presenta en **grandes masas o fragmentos**.

Suelo vs Roca

SUELO



Vs

ROCA



A

Arena

Suelo formado por partículas sueltas de minerales (sílice, caliza, etc.)

B

Arenisca

Roca sedimentaria formada por la cementación de granos de arena

Tipos de suelos según formación

01



Sedimentarios

Las partículas se formaron en un lugar y fueron transportadas y depositadas en otro emplazamiento

02



Residuales

Formados por la meteorización de la roca in situ, con escaso o nulo desplazamiento de las parículas

03



Artificiales

Rellenos diseñados con suelos y rocas seleccionados

Comportamiento del suelo

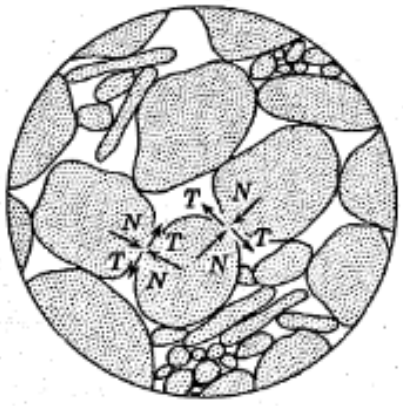
02

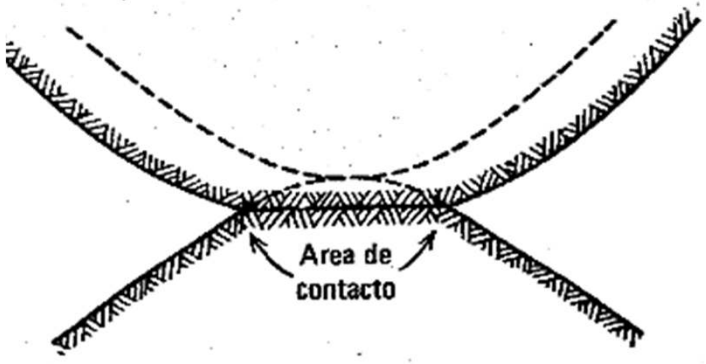
Introducción

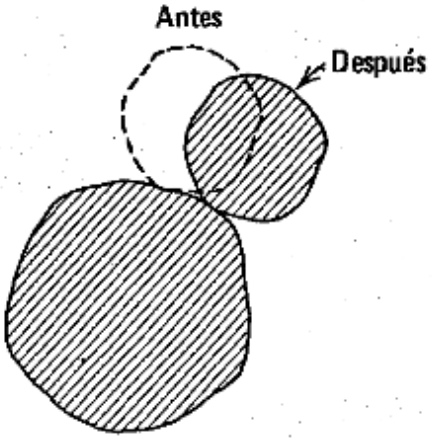
Comportamiento del suelo

Una **muestra de suelo** esta formada por un conjunto de partículas individuales de **sólido**, y por **aire** o **agua** que rellenan los huecos entre ellas.

En consecuencia, ante una carga externa, el suelo responde acusando **deformaciones** las cuales pueden resultar de **naturaleza elástica o plástica**.







Comportamiento del suelo

La **deformación** de una masa de suelo viene controlada por las interacciones entre **partículas individuales**, especialmente por el **deslizamiento** entre las mismas.

Al tratarse el **suelo** de un **esqueleto mineral más los vacíos, huecos, poros o intersticios** que quedan entre partículas, se considera al suelo como un **sistema de varias fases.**

Con posterioridad se incorporarán definiciones relacionadas a la **interacción de cada una de ellas en la respuesta final del suelo**.

Comportamiento del suelo

Surgirán definiciones asociadas al comportamiento de:

Fase sólida

- **Compresibilidad**
- **Dilatación o Expansión**
- **Resistencia al corte**
- **Etc.**

Fase intersticial:
interacción química y física

- **Doble capa**
- **Presión intersticial**
- **Permeabilidad**
- **Sifonamiento**
- **Etc.**

Características de las partículas de suelo

SUELO ORGÁNICO



Suelos con conjuntos de **residuos vegetales** y **animales** de todas las clases, más o menos descompuestos y transformados por la acción de **microorganismos**.
Son capaces de sustentar el **crecimiento y desarrollo de plantas o vegetales**.
Suelen presentar un **olor característico** a materia en descomposición

Vs

SUELO INORGÁNICO



Suelos cuyas partículas pueden ser **minerales o rocas.**
Un **mineral** es un **elemento o compuesto químico** presente en la naturaleza y formado por un proceso geológico.
Una **roca** es un material sólido que constituye la **corteza exterior de la tierra** y esta formado por **uno o mas minerales o cristales**.

Características de las partículas de suelo

Una partícula o muestra de suelo puede ser **orgánica o inorgánica.**

En líneas generales el **ingeniero en el ámbito de la construcción**, **no suele preocuparse por los compuestos orgánicos reales del suelo**, dado que como se verá, son **materiales de descarte** para sustento de la gran mayoría de las obras civiles.

Características de las partículas de suelo

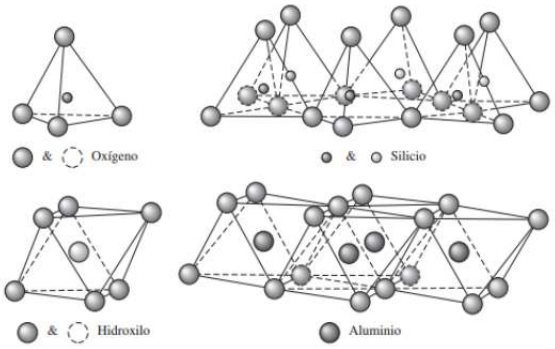
En general las características que describen a la partícula de suelo son:

Morfología

- **Tamaño**
- **Forma**
- **Redondez**
- **Textura superficial**
- **Color**

Composición

- **Naturaleza y disposición de los átomos**



Influencia de la forma de transporte sobre las características de los sedimentos

	Agua	Aire	Hielo	Gravedad	Organismos
Tamaño	Reducción por disolución, ligera abrasión en suspensión, abrasión e impacto en el arrastre	Considerable reducción	Considerable abrasión e impacto	Impactos considerables	Ligeros efectos de abrasión por el transporte directo por organismos
Forma y redondez	Redondeo de arenas y gravas	Elevado grado de redondeo	Partículas angulosas y aplanadas	Angulosas, no esféricas	
Textura superficial	Arena: lisa, pulimentada, brillante Limo: escaso efecto	El impacto produce superficies mates	Superficies estriadas		
Clasificación por tamaños	Considerable	Muy considerable (progresiva)	Muy escasa	Nula	Limitada

Fuente: Braja M. Das. Fundamentos de la Ingeniería Geotécnica

Características de las partículas de suelo

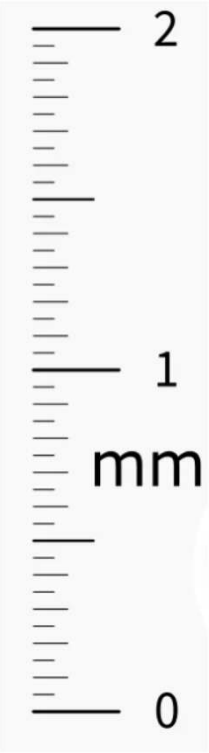
Morfología de una partícula de suelo - Tamaño

Los tamaños de partículas de suelo **pueden variar en un amplio rango**, y para describir los suelos por su tamaño de partícula, **diferentes organizaciones** han establecido límites de separación de tamaño de suelo.

	Tamaño de grano (mm)			
Nombre de la organización	**Grava**	**Arena**	**Limo**	**Arcilla**
Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT)	>2	2 a 0.06	0.06 a 0.002	<0.002
Departamento de Agricultura de E.U. (USDA)	>2	2 a 0.05	0.05 a 0.002	<0.002
Asociación Americana de Carreteras Estatales y Oficiales del Transporte (AASHTO)	76.2 a 2	2 a 0.075	0.075 a 0.002	<0.002
Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (Cuerpo de Ingenieros del Ejército de E.U., Oficina de Reclamación de E.U., Sociedad Americana para Pruebas y Materiales)	76.2 a 4.75	4.75 a 0.075	Finos (p.ej., linos y arcillas) <0.075	

Fuente: Braja M. Das. Fundamentos de la Ingeniería Geotécnica

Tamaños de partículas





No visible a esta escala

Arena Gruesa 4.74mm a 0.2mm	Arena Fina 0.19mm a 0.075mm	Limo 0. 074mm a 0.002mm	Arcilla <0.002mm

Link. https://csrlaboratorio.es/suelos/horizontes-estructura-clasificacion/

Propiedades de los minerales arcillosos

Arcilla: Partículas **menores a 0,002 mm (AASHTO)** producto de la meteorización química las cuales presentan **cohesión y plasticidad** compuestos básicamente por **silicatos de Al, Fe y Mg** .

Mineral arcilloso: Formaciones cristalinas constituidas por dos unidades estructurales: **Tetraédrica y Octaédrica** .

Propiedades de los minerales arcillosos

De acuerdo a la organización de las unidades Tetraédrica y Octaédrica, los **minerales arcillosos** se dividen principalmente en **tres grupos**:

- **CAOLINITAS:** Espesor de 100 a 1000 A.
- **ILITAS:** Espesor de 50 a 500 A.
- **MONTMORILONITAS:** Espesor de 10 a 50 A.

(1A = 0,0001 micra= 0.0000001 cm).

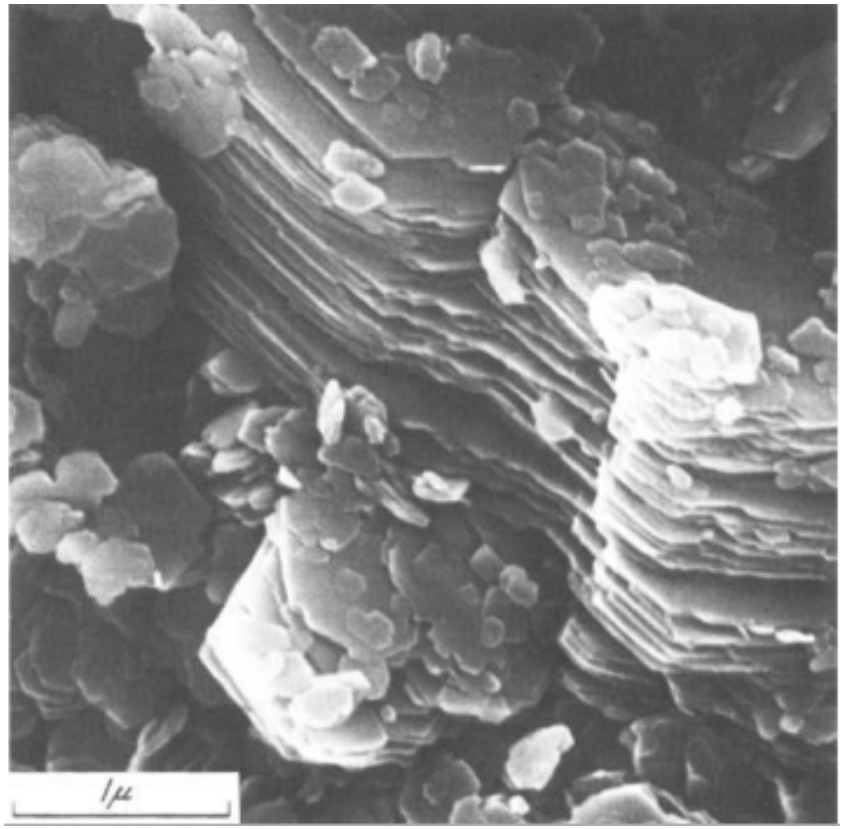
Propiedades de los minerales arcillosos

CAOLINITAS:

Unidad octaédrica + tetraédrica hasta formar bloques de 100 a 1000 A de espesor.

Estable, baja absorción, baja retracción y expansión.

Superficie específica:
15 m²/gr.

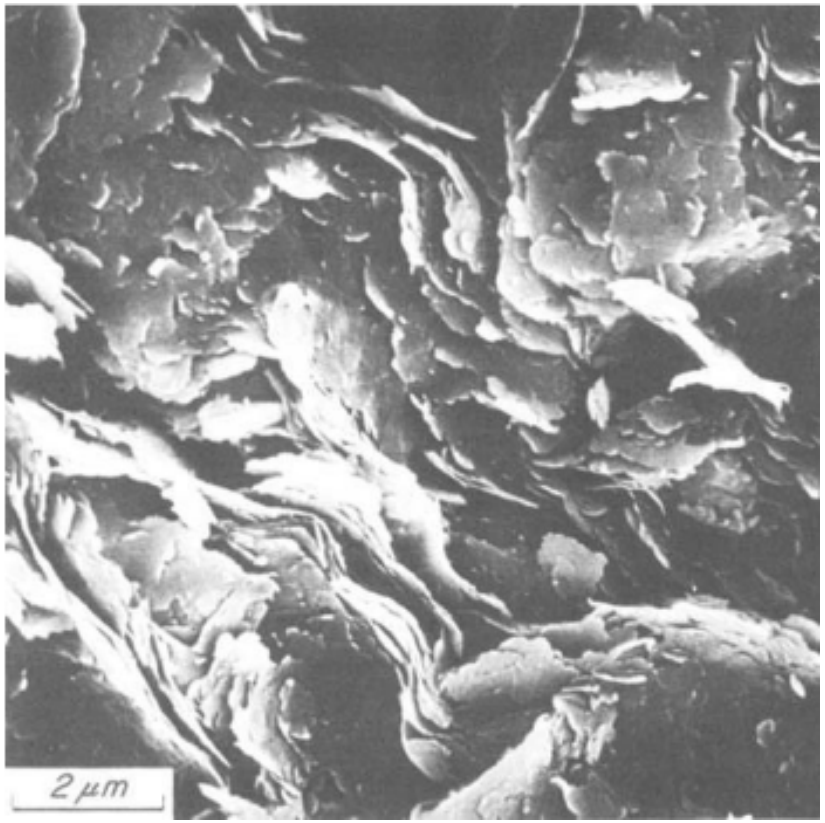


El área de superficie por unidad de masa se define como superficie específica.

Propiedades de los minerales arcillosos

ILITAS: Formado por una estructura octaédrica entre dos tetraédricas, hasta formar bloques de 50 - 500 A de espesor.

Por su adherencia son menos estables, poseen mayor absorción de agua y mayor potencial de expansión y contracción.



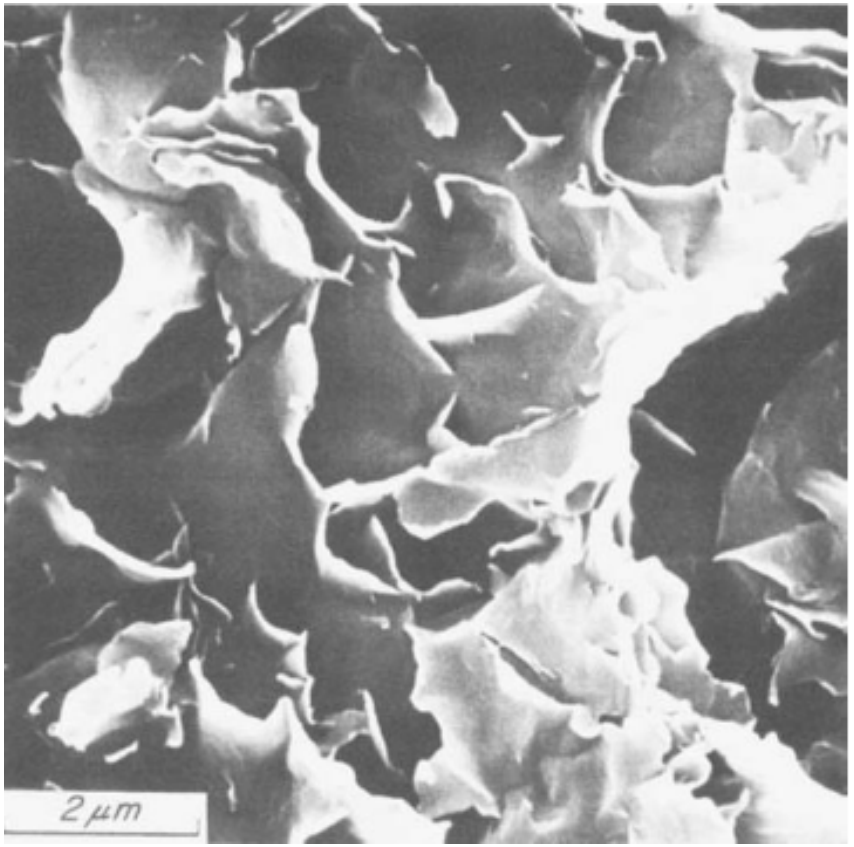
Superficie específica:
80 $m^2/gr.$

El área de superficie por unidad de masa se define como superficie específica.

Propiedades de los minerales arcillosos

MONTMORILONITAS:
Formando bloques de 10 - 50 A de espesor.

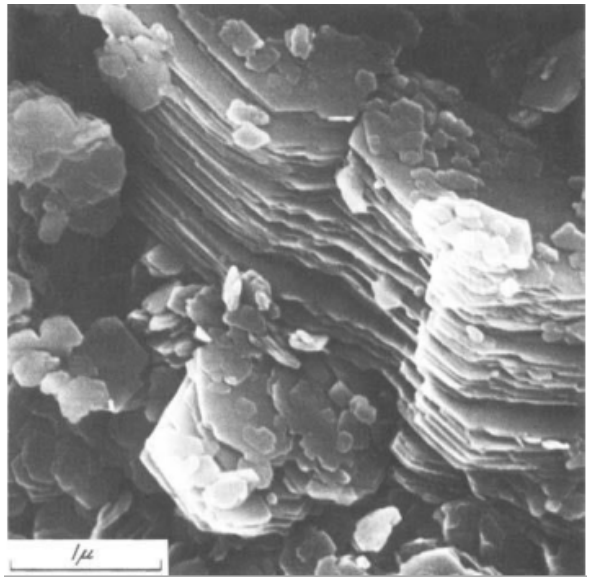
Muy susceptibles a la absorción, de muy alto potencial de expansión – contracción.



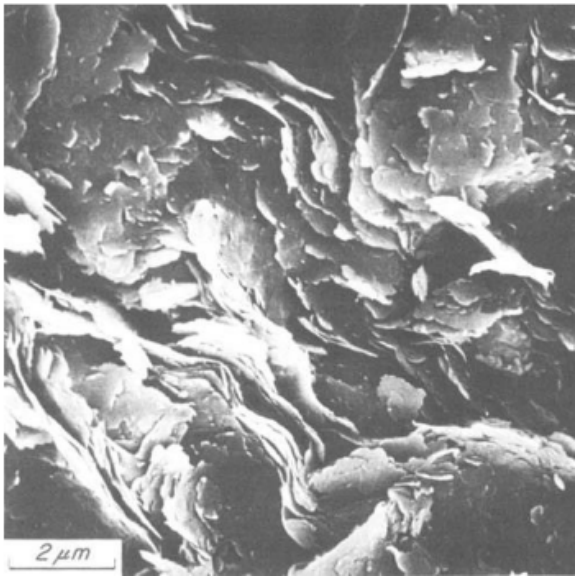
Superficie específica:
800 m2/gr.

El área de superficie por unidad de masa se define como superficie específica.

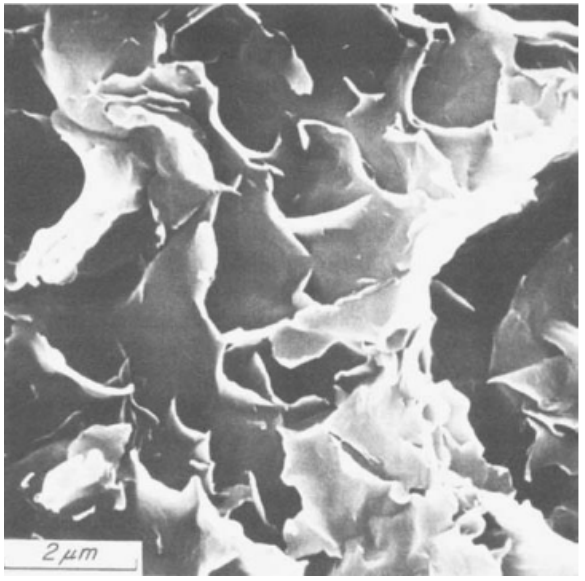
Propiedades de los minerales arcillosos



CAOLINITAS



ILITAS



MONTMORILONITAS

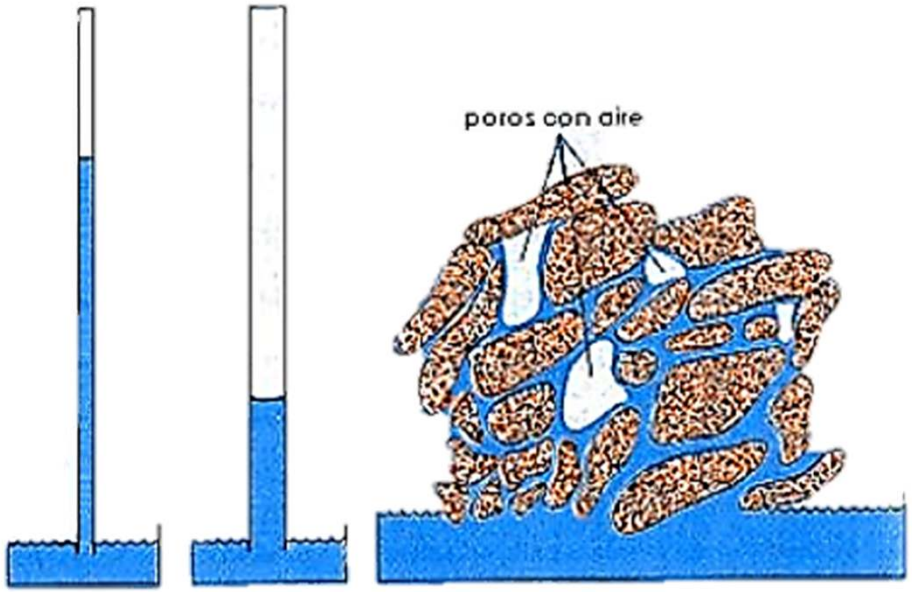
Estructura de las arcillas

Otras **fuerzas que actúan en las arcillas** son:

- **Tensión Superficial (capilaridad)**
- **Doble Capa**
- **Fuerza de contacto**
- **Fuerzas de atracción de Van Der Waals:** Las fuerzas de atracción explican la *cohesión de las moléculas en los estados líquido y sólido de la materia*, y se llaman *fuerzas de largo alcance*. Estas fuerzas son las responsables de muchos *fenómenos físicos y químicos como la adhesión, el rozamiento, la difusión, la tensión superficial y la viscosidad.*

Capilaridad en suelos

Efecto de la capilaridad. En el suelo se forman tubos capilares en el contacto entre las partículas, por lo que asciende el agua y queda retenida.



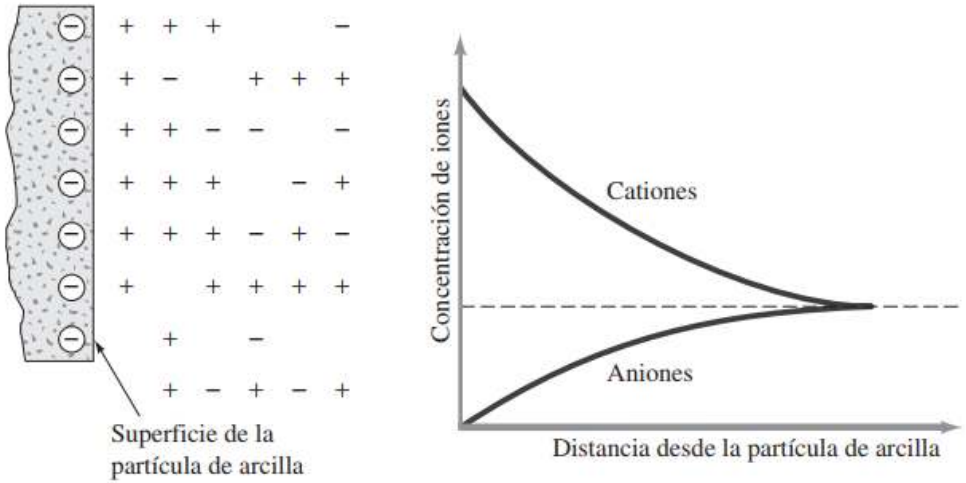


Doble Capa Difusa en arcillas

Cuando a una arcilla se la pone en **contacto con agua**, alrededor de las partículas de arcilla comenzarán a **"flotar" las moléculas de agua polarizadas**, en forma conjunta con los Cationes.

De esta forma, en la **fase líquida alrededor de las partículas de arcilla** se forma una **concentración de cationes y de agua dipolar**, formando lo que se conoce como la **Doble capa difusa**

Dipolo:
conjunto de dos polos eléctricos o magnéticos de igual magnitud y signo contrario, y muy próximos.



Fuente: Braja M. Das. Fundamentos de la Ingeniería Geotécnica

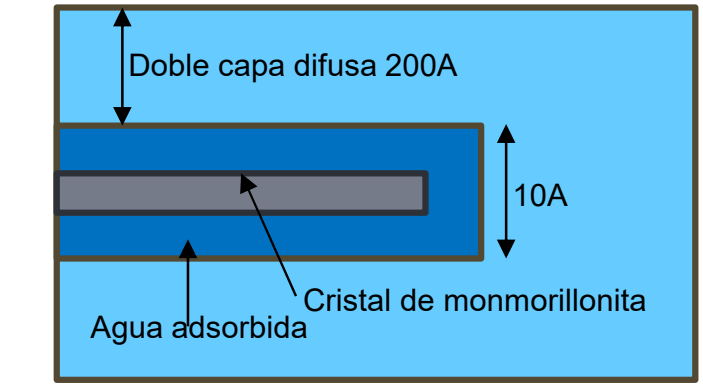
Doble Capa Difusa en arcillas

La variación de las propiedades físicas a causa de los fenómenos relacionados con la **actividad de la superficie en todo suelo saturado** depende de tres elementos diferentes:

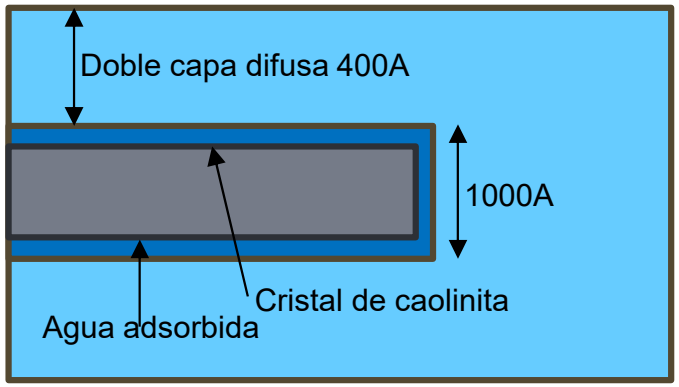
- **Partículas sólidas**
- **Sustancias adsorbidas** en la doble capa difusa
- **Agua libre normal**

Si las partículas son muy pequeñas y además tienen forma de escamas, las sustancias adsorbidas constituyen una porción muy grande del volumen total.

A mayor superficie específica, mayor cantidad de agua adsorbida



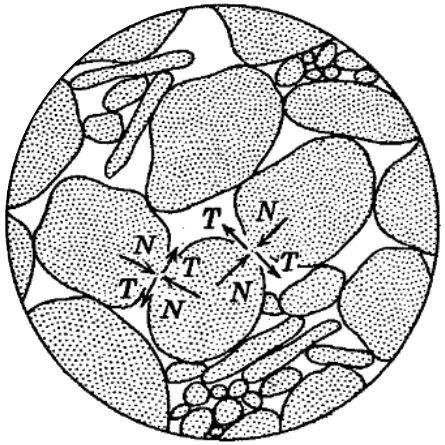
Partícula típica de Monmorillonita de 1000A x 10A

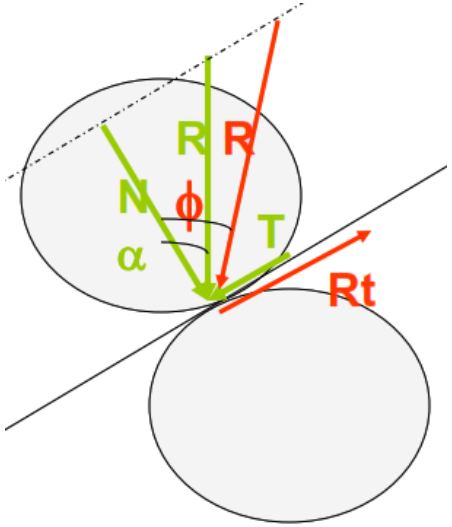


Partícula típica de Caolinita de 10000A x 1000A

Fuerzas de Contacto

Las fuerzas de contacto, responsables de **transferencia de esfuerzos** y desarrollo de la **resistencia al corte** resultante.

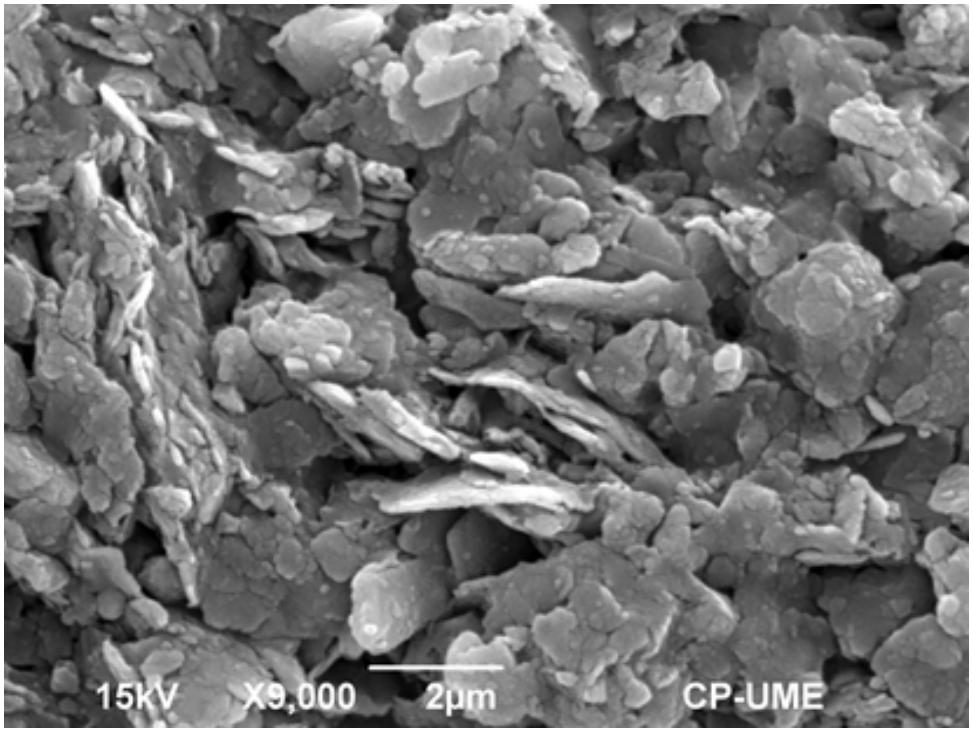




Estructura del suelo

El término **estructura** se refiere a la **orientación y distribución de las partículas** en una masa de suelo y a **las fuerzas entre partículas** de suelo adyacente.

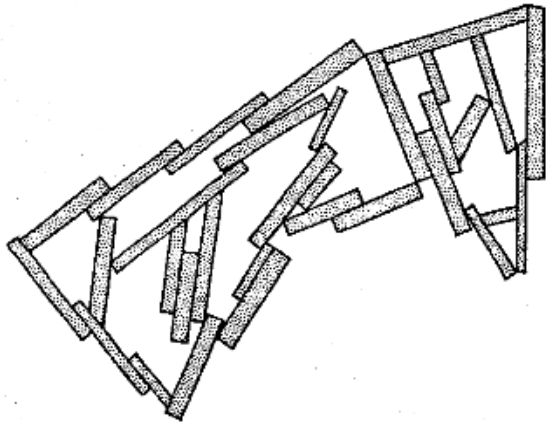
Las **fuerzas** que unen la estructura son principalmente generadas entre las propias partículas, de **naturaleza electroquímica.**



Arcilla de suelo. Fotografía tomada con microscopio electrónico
https://alef.mx/los-minerales-quimica-y-estructura-del-suelo/

Tipos de estructuras

FLOCULADA



Vs

DISPERSA



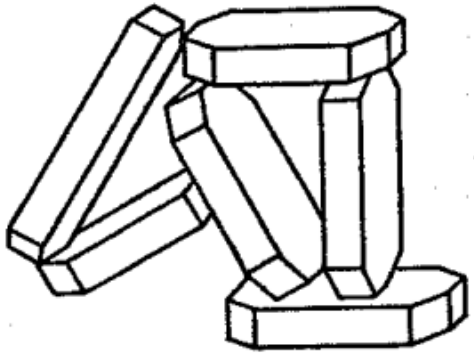
Resultante de fuerzas entre dos partículas arcillosas:

- Si es de **atracción (se acercan una a otra)** se genera una **estructura floculada.**

- Si es de **repulsión (tienden a separarse)** se genera una **estructura dispersa.**

Tipos de estructuras

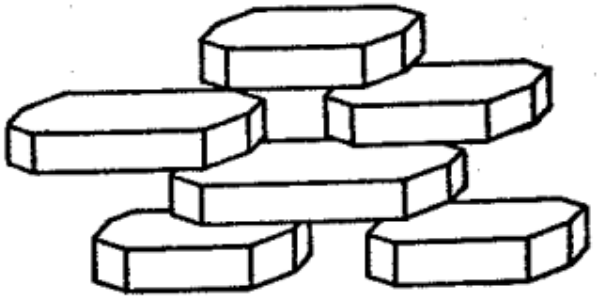
FLOCULADA



Contacto borde-cara.
🧲→← Se atraen.
✅ Mayor resistencia.
✅ Menor compresibilidad
❌ Mayor permeabilidad.

Vs

DISPERSA



Contacto paralelo (cara-cara).
🧲← → Se repelen.
❌ Menor resistencia.
❌ Mayor compresibilidad
✅ Menor permeabilidad.

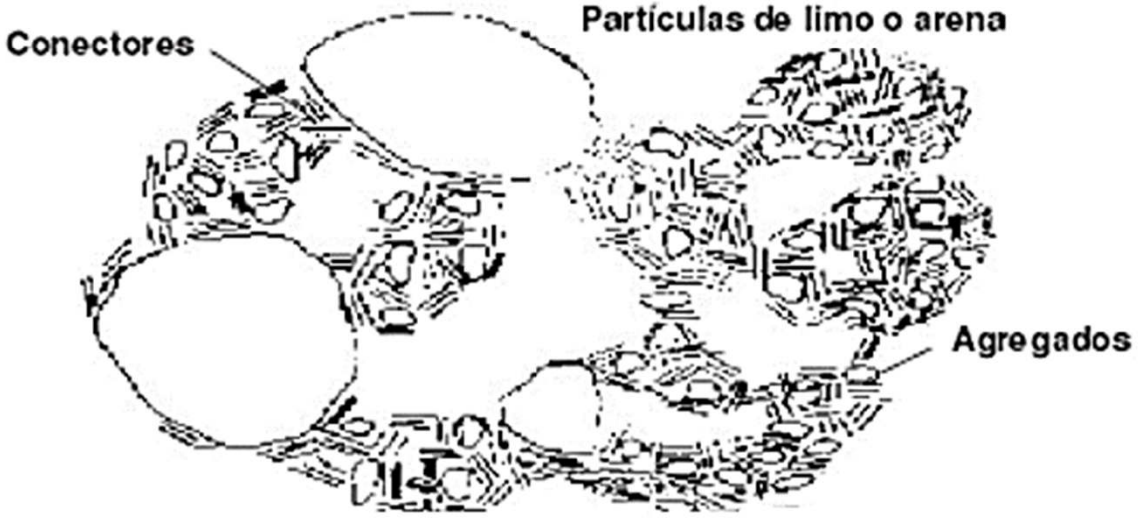
Estructura de una arcilla natural



Estructura Floculada



Estructura Dispersa



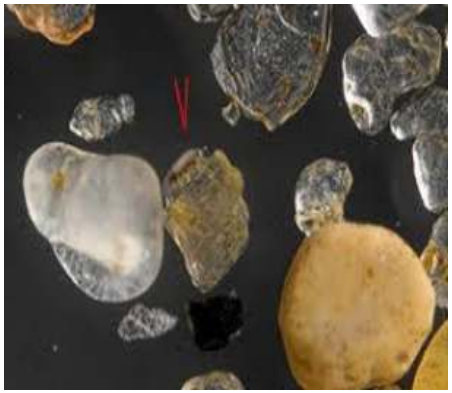
Estructura de suelos y residuo

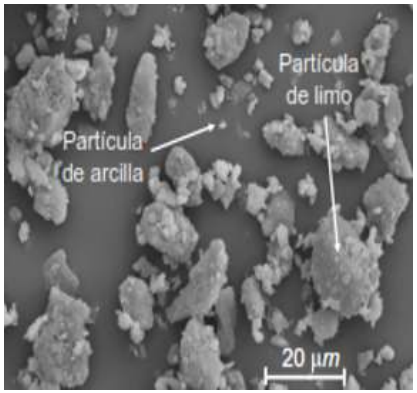


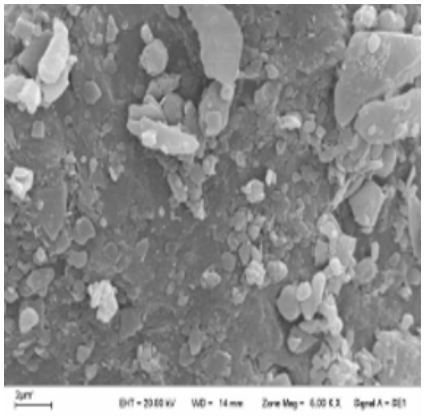


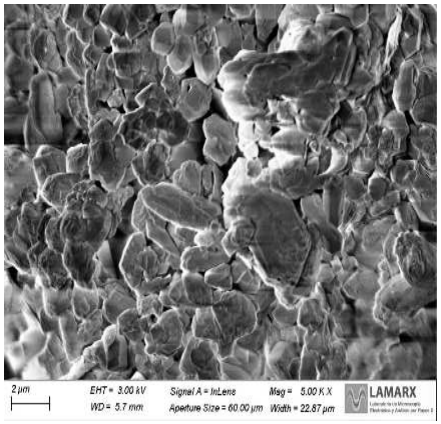












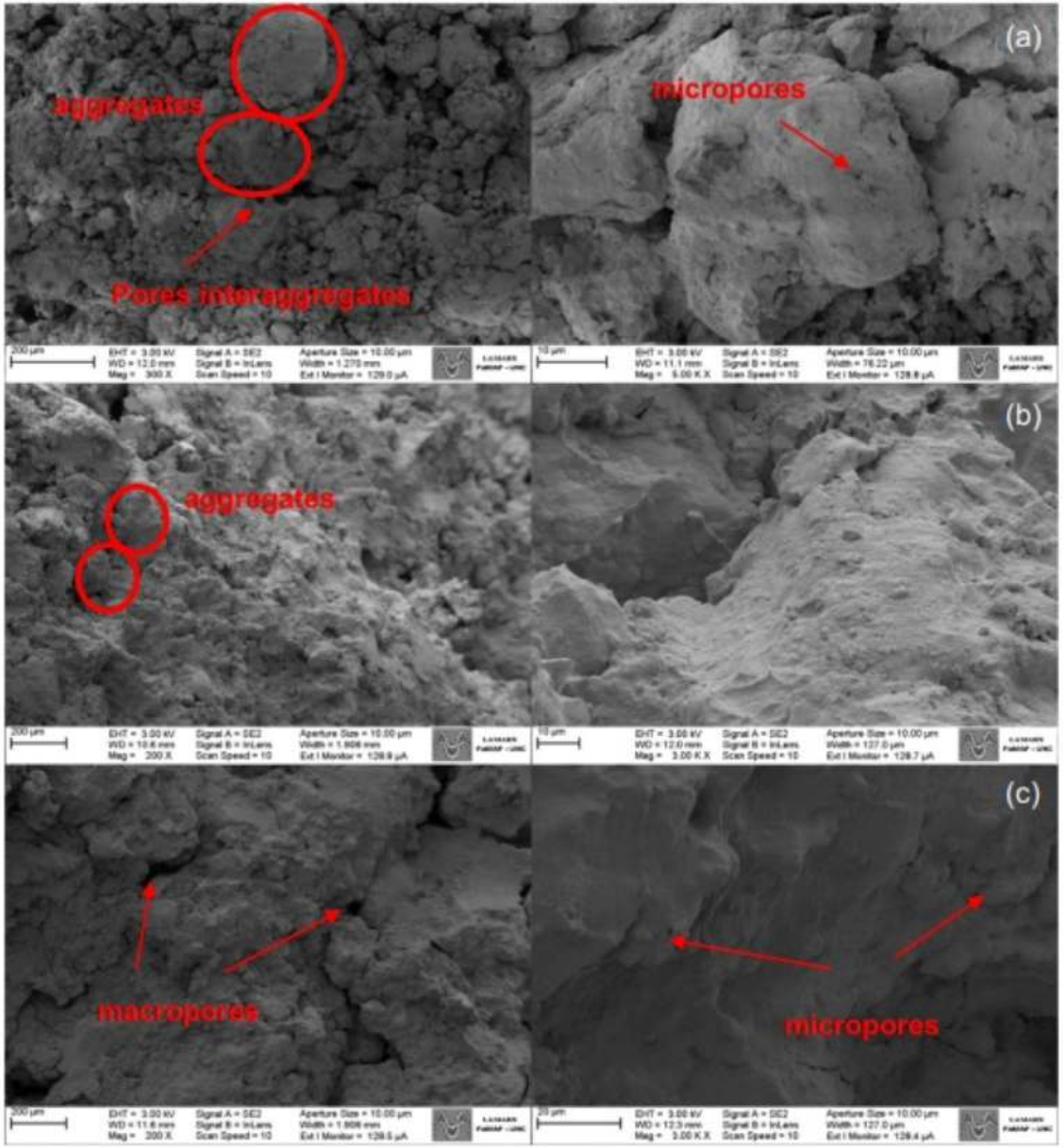
Arena | Suelo Saprolito | Suelo Colorado | Carbonato

Estructura de suelo colorado misionero compactado “Ensayo Proctor”

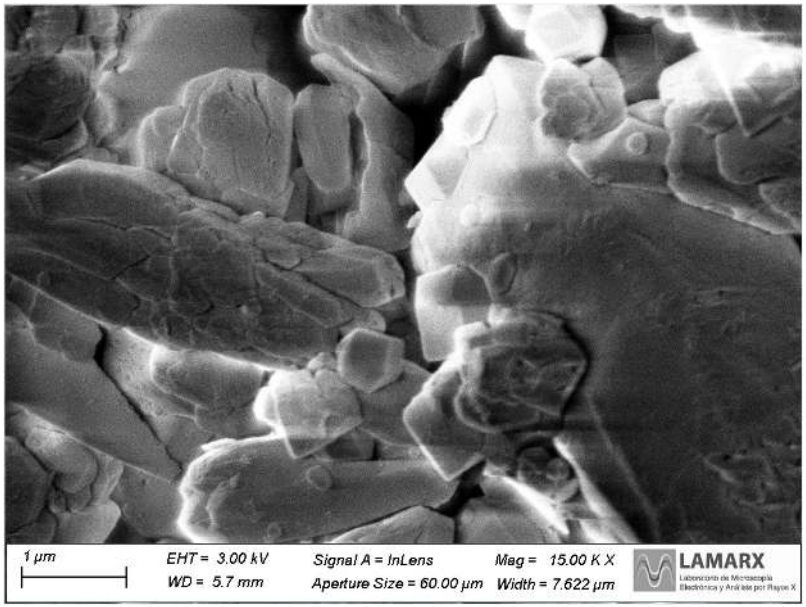
Rama Seca

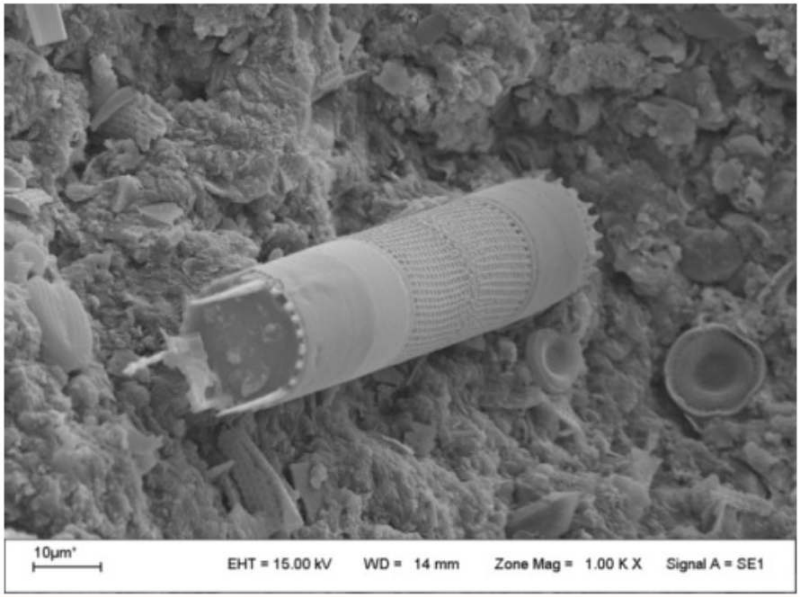
Óptima

Rama Húmeda



Caolin





Diatomea



03

Fases del suelo

Descripción de las mismas

Fases del suelo

01



Sólida

Partículas minerales, incluyendo la capa de agua adsorbida.

02



Líquida

Agua libre, a veces con sales disueltas.

03

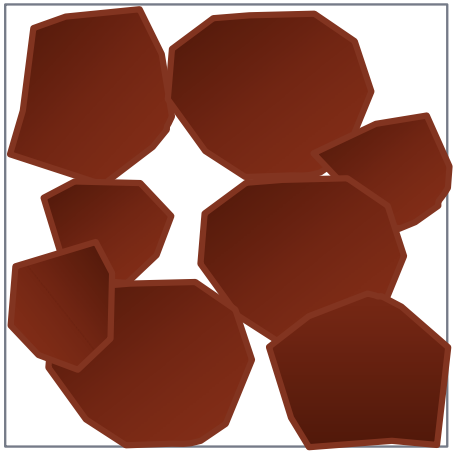


Gaseosa

Aire, a veces con gases y vapores.

Fases del suelo

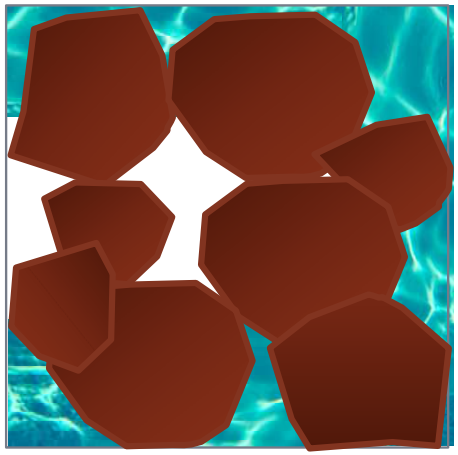
01



Suelo seco

Todos los vacíos se encuentran con aire.
Estado bifásico: sólido y gaseoso

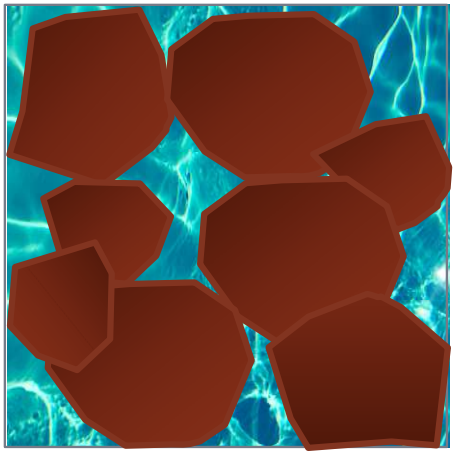
02



Suelo no saturado

Parte de los vacíos se encuentra con agua y parte con aire
Estado trifásico: sólido, líquido y gaseoso

03



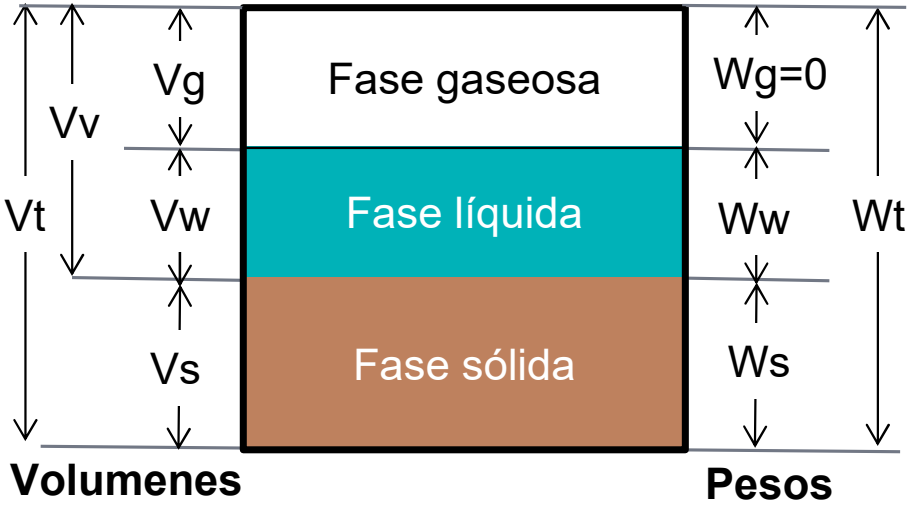
Suelo saturado

Todos los vacíos se encuentran con agua.
Estado bifásico: sólido y líquido

Fases del suelo

ESTADO TRIFÁSICO

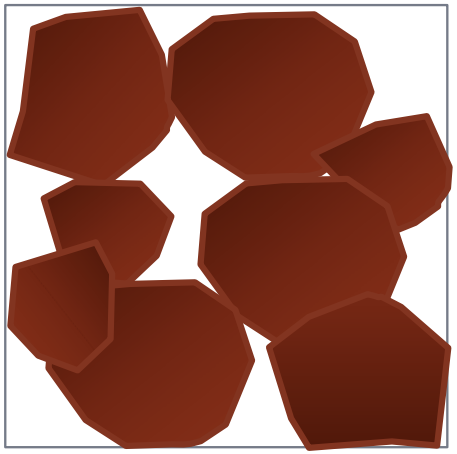
Volumenes:
- Vt: Volumen Total
- Vv: Volumen de vacíos
- Vw: Volumen de agua
- Vg: Volumen de gases
- Vs: Volumen de sólidos

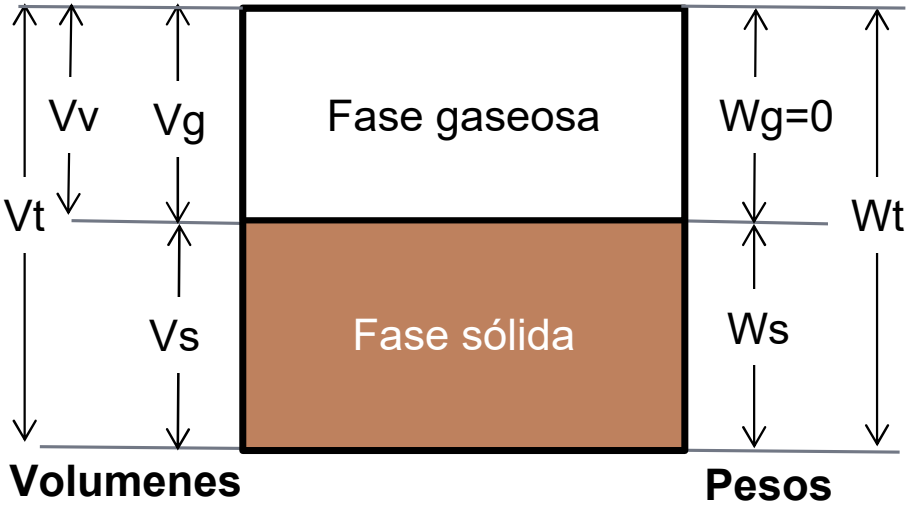


Pesos:
- Wt: Peso Total
- Ww: Peso de agua
- Wg: Peso de gases (aprox.=0)
- Ws: Peso de sólidos

Fases del suelo

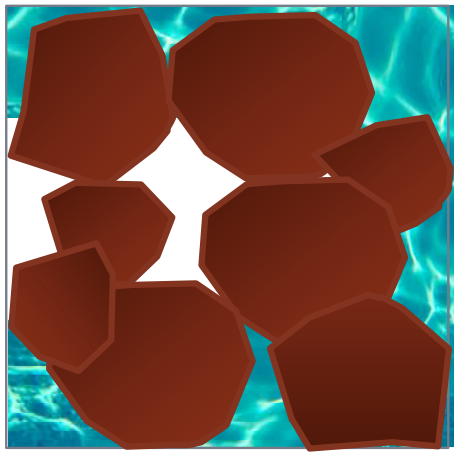
ESTADO BIFÁSICO

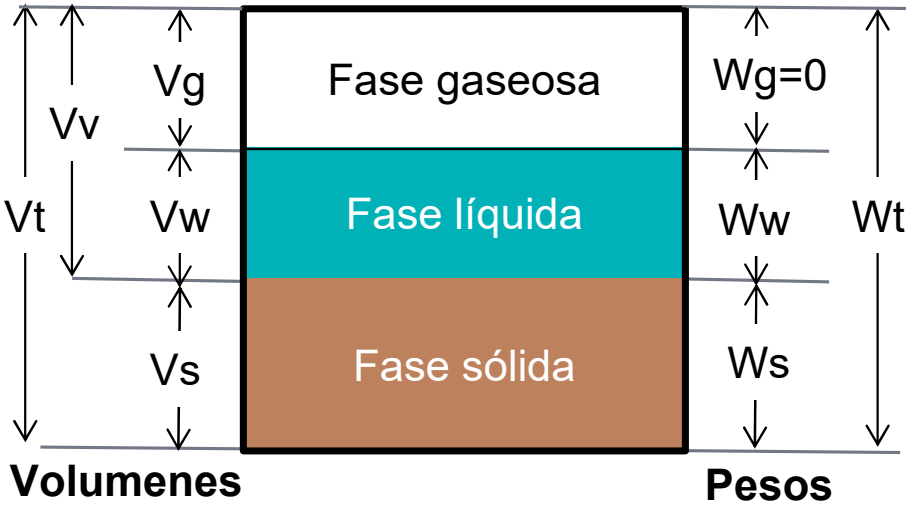




Fases del suelo

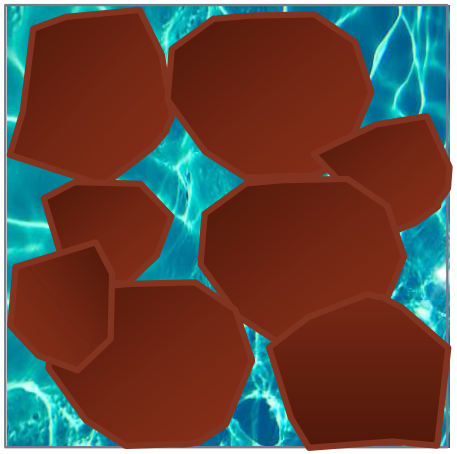
ESTADO TRIFÁSICO

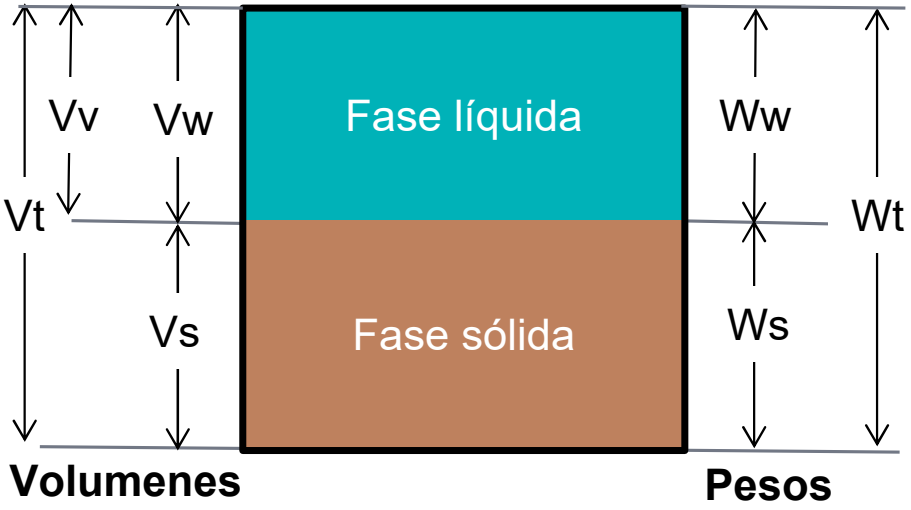




Fases del suelo

ESTADO BIFÁSICO





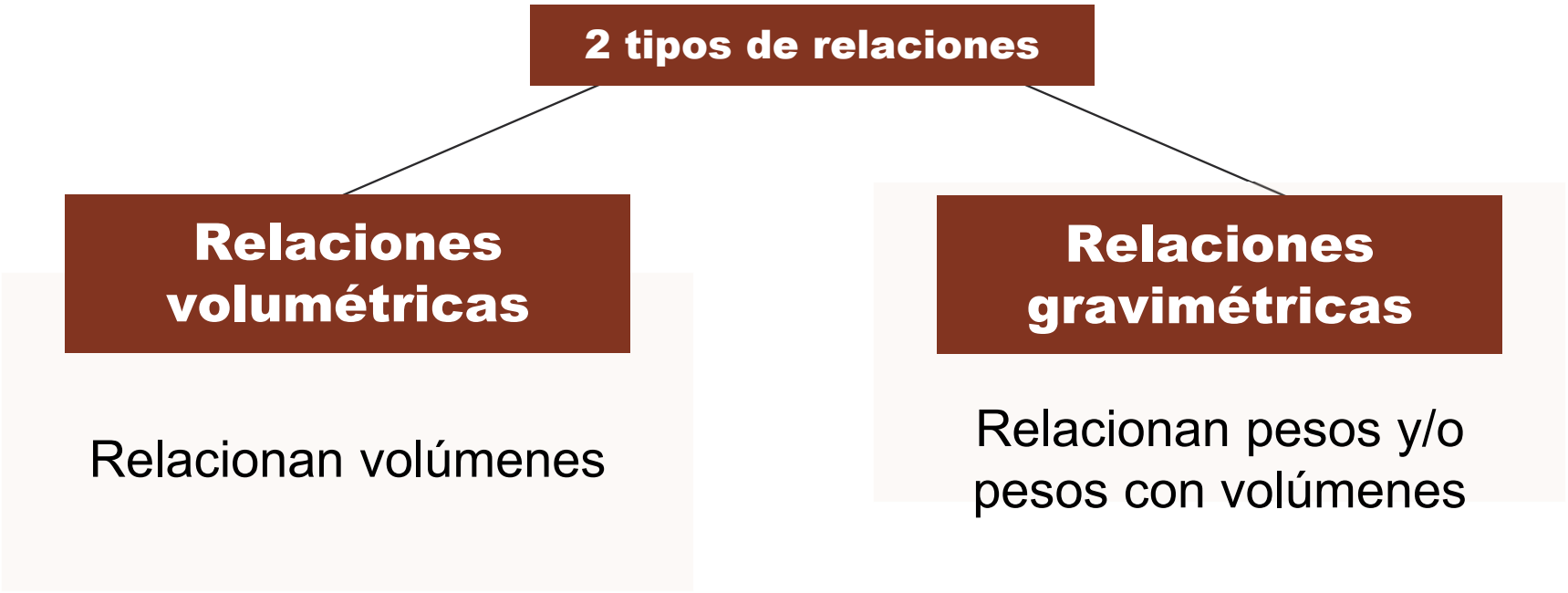
Propiedades Índice

Descripción general

04

Propiedades índice

Permiten definir cuantitativamente las **propiedades de un suelo**, sus **condiciones** y su **comportamiento físico** y **mecánico.**



Relaciones volumétricas

- Relación de vacíos
- Porosidad
- Grado de saturación
- Compacidad relativa

Relaciones gravimétricas

- Humedad
- Peso específico
- Peso unitario seco
- Peso unitario húmedo
- Peso unitario saturado
- Peso unitario sumergido



05

Relaciones volumétricas

Definiciones

Relaciones volumétricas

Relación de vacíos

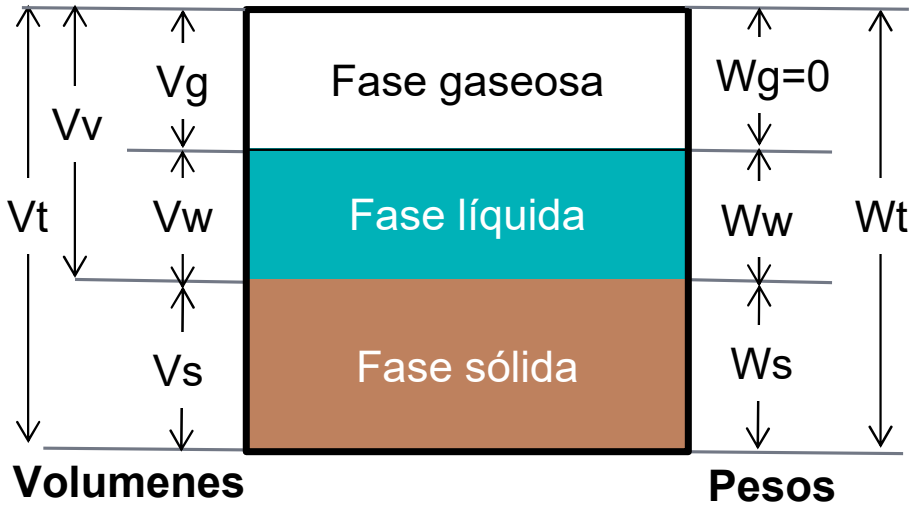
Porosidad

Grado de saturación

Compacidad relativa

Relación de vacíos

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



Donde:

- e: Relación de vacíos
- Vv: Volumen de vacíos
- Vs: Volumen de sólidos

Rango:

$0 < e < \infty$

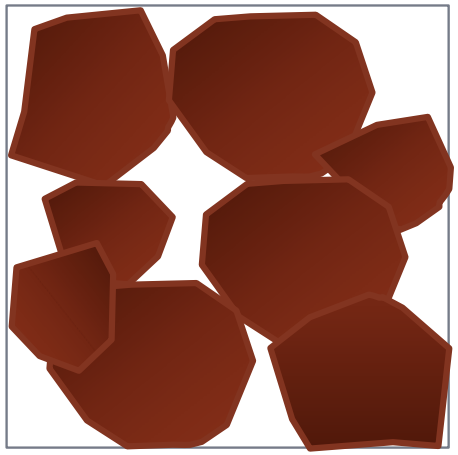
Valores característicos:

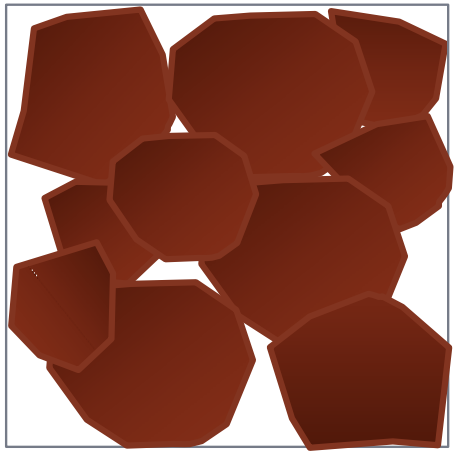
Arenas muy compactas con finos: e = 0,25

Arcillas altamente compresibles: e = 15

Relación de vacíos

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





e_1

¿ >ó< ?

e_2

Porosidad

$$n(\%) = \frac{Vv}{Vt} \cdot 100\%$$

Donde:

- n: Porosidad (en %)
- Vv: Volumen de vacíos
- Vt: Volumen total

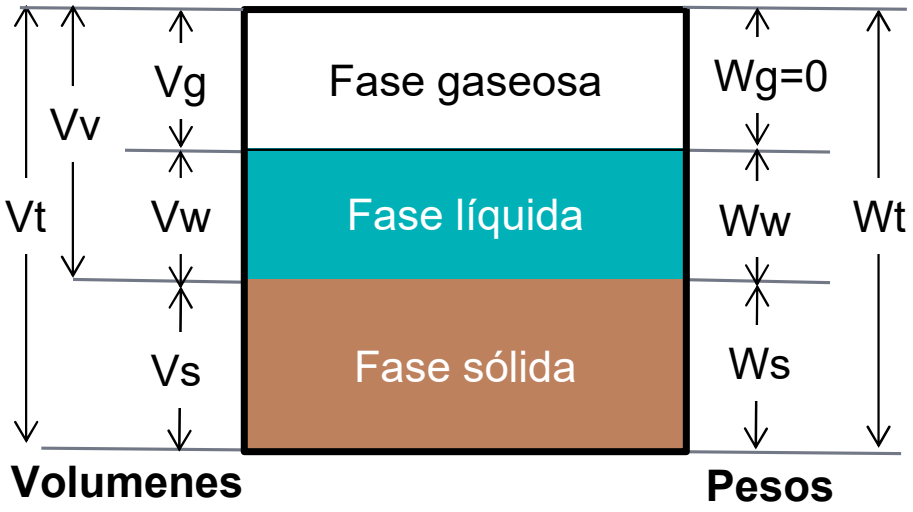
Rango:

0 < n < 100

Algunos valores característicos:

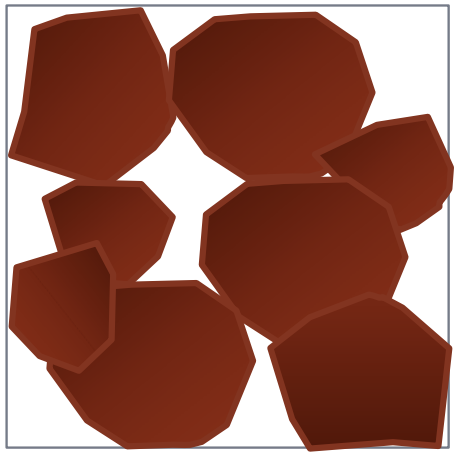
Arenas: n = 25 % a 50 %

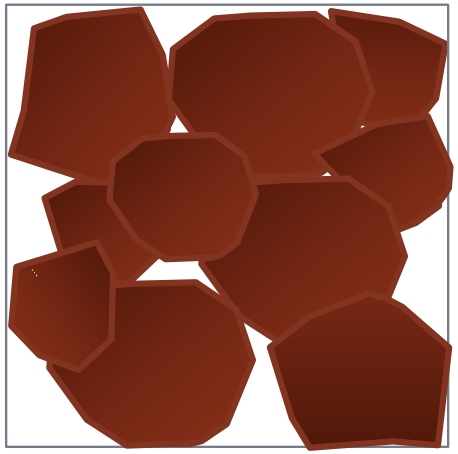
Arcillas: n = 30 % a 90 %



Porosidad

$$n(\%) = \frac{Vv}{Vt} \cdot 100\%$$





n_1

¿ >ó< ?

n_2

Relación entre e y n

$$e = \frac{Vv}{Vs} = \frac{Vv}{Vt - Vv} = \frac{\left(\frac{Vv}{Vt}\right)}{\left(\frac{Vt}{Vt}\right) - \left(\frac{Vv}{Vt}\right)} \rightarrow e = \frac{n}{1 - n}$$

$$n = \frac{Vv}{Vt} = \frac{Vv}{Vs + Vv} = \frac{\left(\frac{Vv}{Vs}\right)}{\left(\frac{Vs}{Vs}\right) + \left(\frac{Vv}{Vs}\right)} \rightarrow n = \frac{e}{1 + e}$$

Grado de saturación

$$S(\%) = \frac{Vw}{Vv} \cdot 100\%$$

Donde:

- S: Saturación (en %)
- Vw: Volumen de agua
- Vv: Volumen de vacíos

Rango:

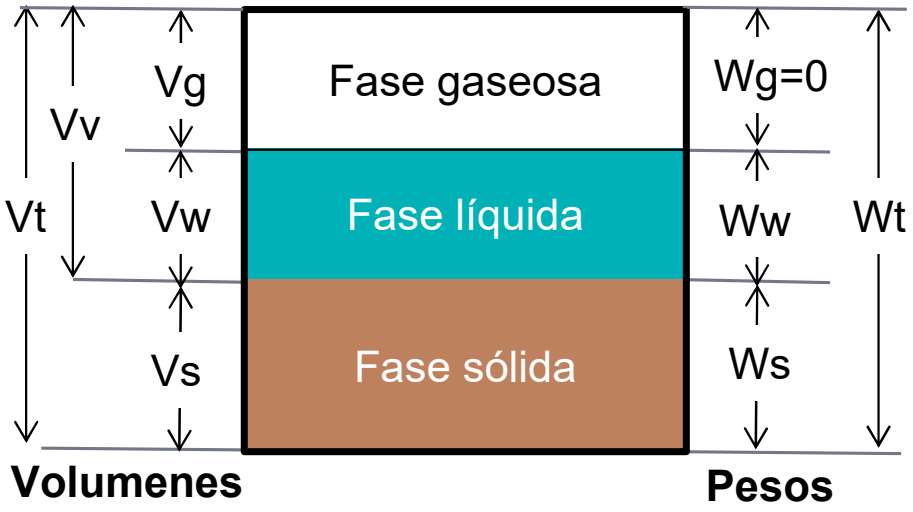
0 % ≤ Sr ≤100 %

Algunos valores característicos:

Suelo seco: Sr = 0 %

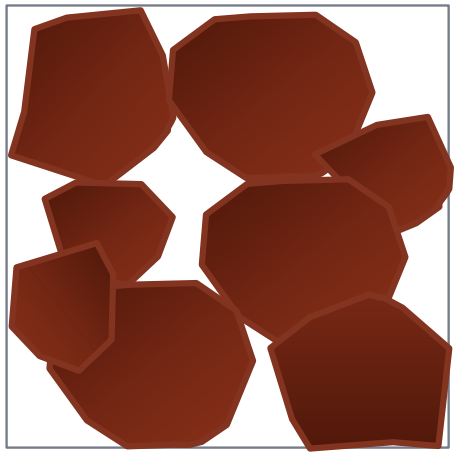
Suelo húmedo: 0 % < Sr < 100 %

Suelo saturado: Sr = 100 %

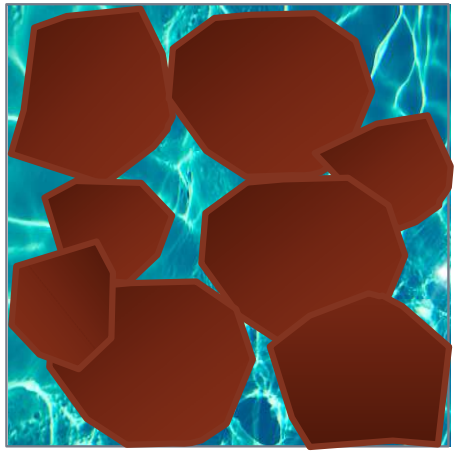


Grado de saturación

$$S(\%) =\cdot \frac{Vw}{Vv} 100\%$$



Sr seco=?

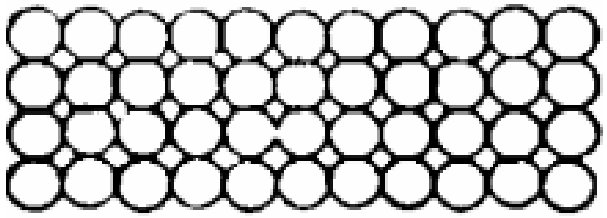
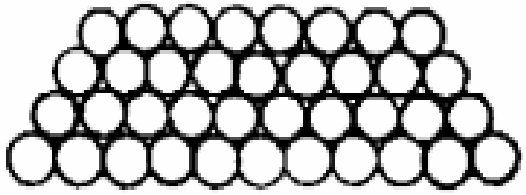


Sr saturado=?

Compacidad relativa

Es el **grado de "acomodo"** que tienen las partículas de un mismo suelo se denomina **compacidad**.

En el caso hipotético de partículas esféricas las situaciones extremas de acomodo son las que se muestran a continuación:

Estado suelto		Estado más suelto n=47.6%, e=0.91
Estado compacto o denso		Estado más compacto n=26%, e=0.35

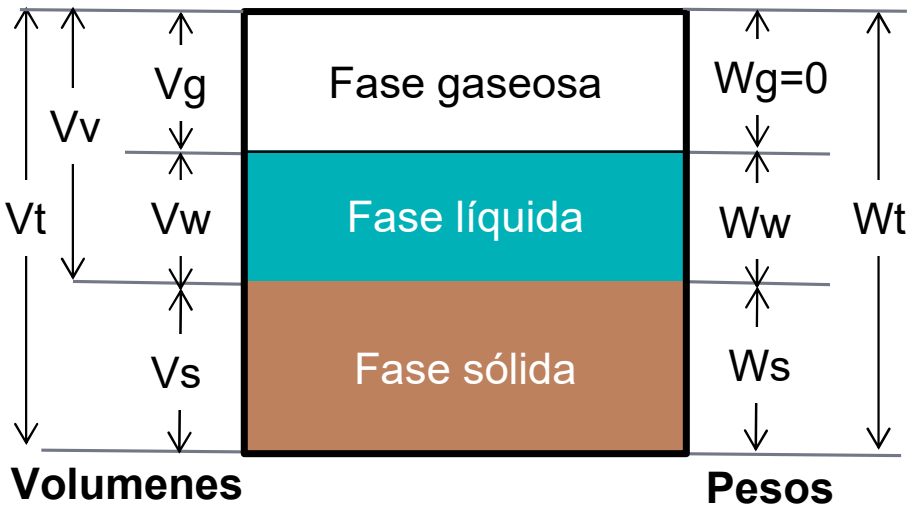
Compacidad relativa

$$Cr = \frac{e_{max} - e_o}{e_{max} - e_{min}} \cdot 100\%$$

Donde:

- Cr: Compacidad relativa (en %)
- e_{max} : Relación de vacíos máxima
- e_{min} : Relación de vacíos mínima
- e_0 : Relación de vacíos natural

Cr (%)	Descripción
0-20	Muy suelto
20-40	Suelto
40-60	Medio
60-80	Denso
80-100	Muy denso



Características:

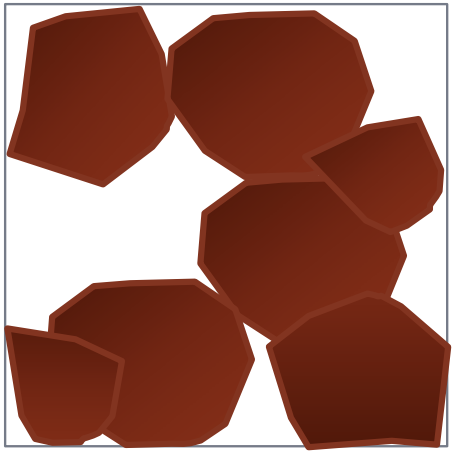
- Si $e_0 = e_{max} \geq$ Cr = 0 %
- Si $e_0 = e_{min} \geq$ Cr = 100 %

Compacidad relativa

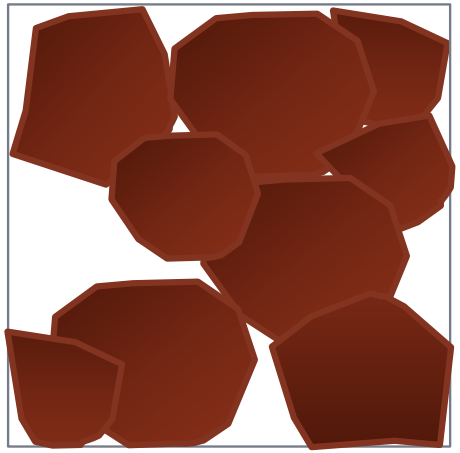
$$\mathrm{Cr} = \frac{e_{max} - e_o}{e_{max} - e_{min}} \cdot 100\%$$

Donde:

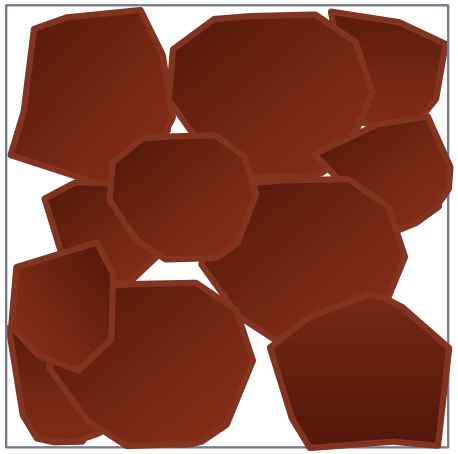
- Cr: Compacidad relativa (en %)
- e_{max} : Relación de vacíos máxima
- e_{min} : Relación de vacíos mínima
- e_0 : Relación de vacíos natural



e_{max}



e_0



e_{min}

Relaciones Gravimétricas

06

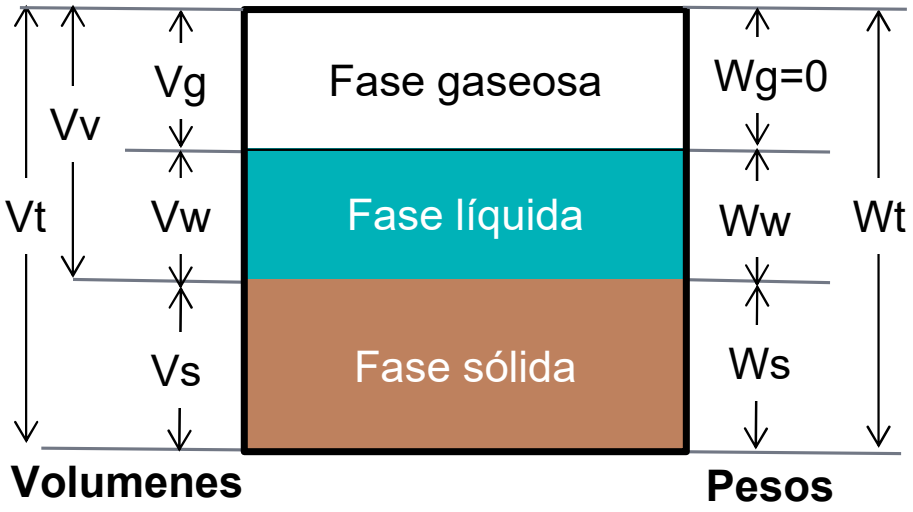
Definiciones

Relaciones gravimétricas

- Humedad
- Peso específico
- Peso unitario seco
- Peso unitario húmedo
- Peso unitario saturado
- Peso unitario sumergido

Humedad

$$w(\%) = \frac{Ww}{Ws} \cdot 100\%$$



Donde:

- w: Humedad (en %)
- Ww: Peso de agua
- Ws: Peso de sólido

Rango:

$0 < w < \infty$

Algunos valores característicos:

Arenas: w = 12 % a 36 % (Sr = 100 %)

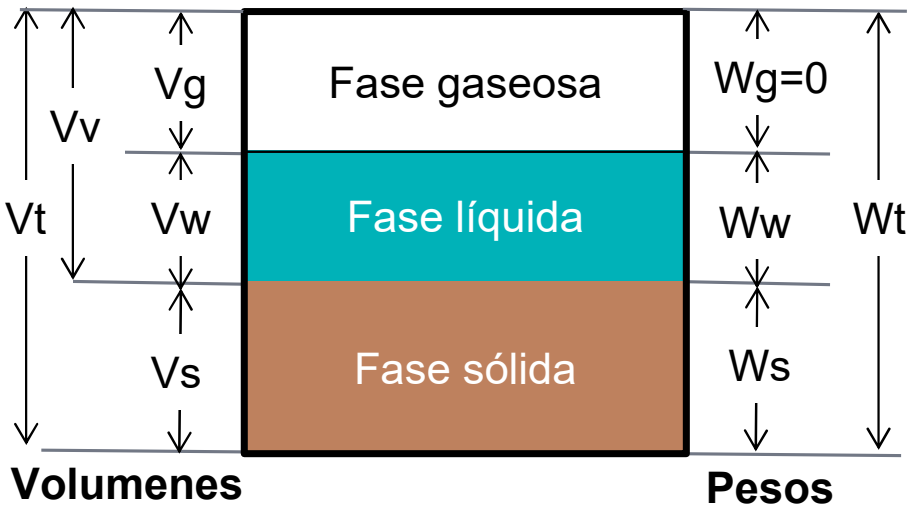
Arcillas: w = 12 % a 325 % (Sr = 100 %)

Peso específico

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

Donde:

- γ: Peso específico del elemento
- W: Peso del elemento
- V: Volumen del elemento



$$Peso\ específico\ del\ agua: \gamma_w = \frac{W_w}{V_w} = 10\frac{kN}{m^3} = 1\frac{tn}{m^3}$$

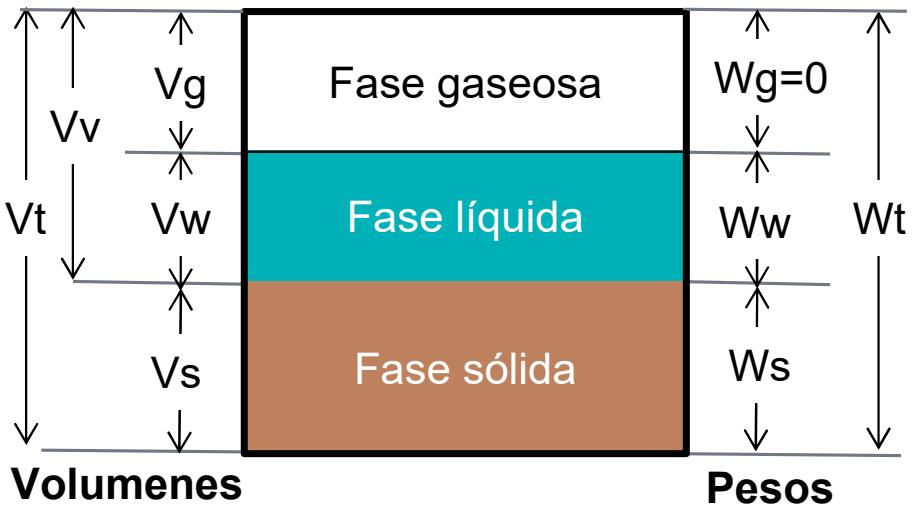
$$Peso\ específico\ del\ sólido: \gamma_s = \frac{W_s}{V_s}$$

Gravedad específica

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$$

Donde:

- G_s : Gravedad específica
- γ_w : Peso específico del agua
- γ_s : Peso específico del sólido



Algunos valores característicos:

Arenas: Gs = 2,65

Arcillas: Gs = 2,7 a 2,9

Suelos con materia orgánica: Gs < 2,65

Peso unitario seco

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V_t}$$

Donde:

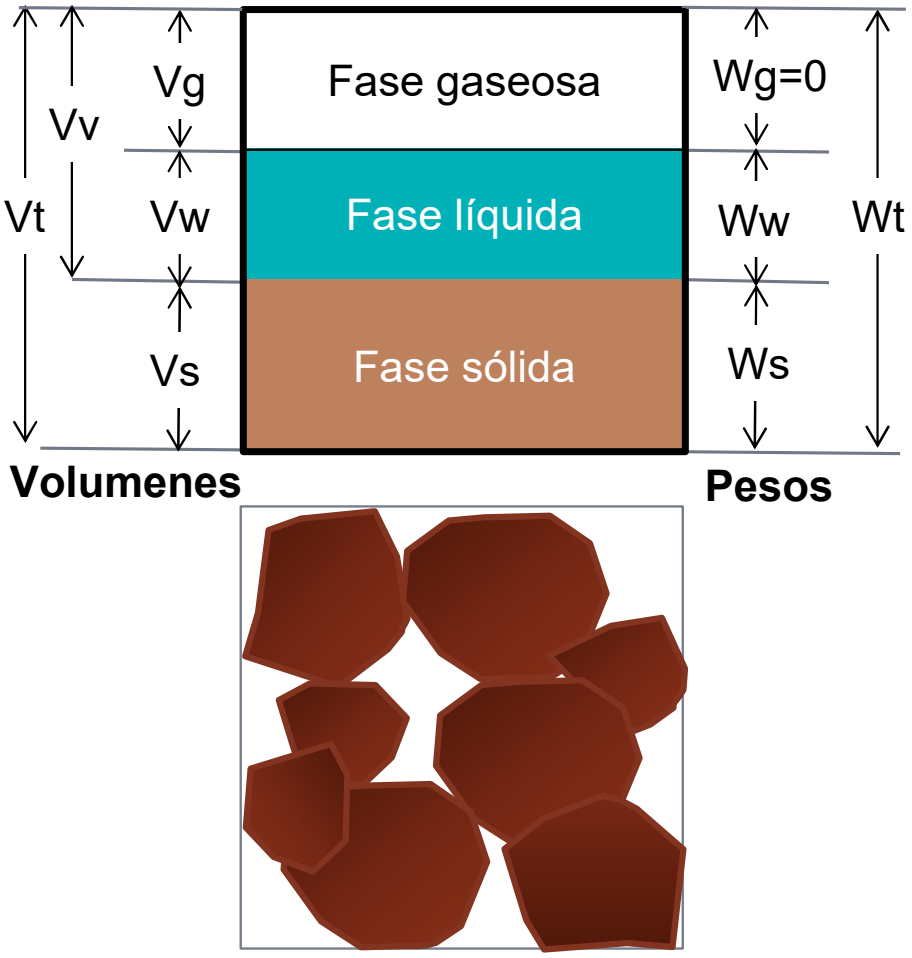
- γ_d : Peso unitario seco
- W_s : Peso del sólido
- V_t : Volumen total

Características:

Sr = 0 %

Ww = 0

Vv = Vg



Valores característicos

Tipo de suelo	Gs
Arena de cuarzo	2.64-2.66
Limo	2.67-2.73
Arcilla	2.70-2.90
Yeso	2.60-2.75
Loes	2.65-2.73
Turba	1.30-1.90

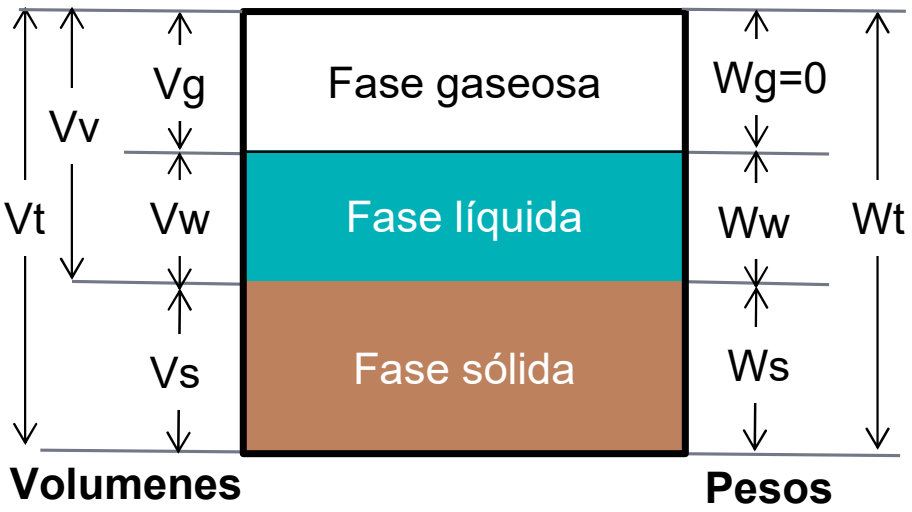
Tipo de suelo	e	w sat (%)	γ_d (N/m³)
Arena uniforme suelta	0.8	30	14.5
Arena uniforme densa	0.45	16	18
Arena limosa suelta de grano anguloso	0.65	25	16
Arena limosa densa de grano anguloso	0.4	15	19
Arcilla dura	0.6	21	17
Arcilla suave	0.9-1.4	30-50	11.5-14.5
Loes	0.9	25	13.5
Arcilla orgánica suave	2.5-3.2	90-120	6-8
Morrena glacial	0.3	10	21

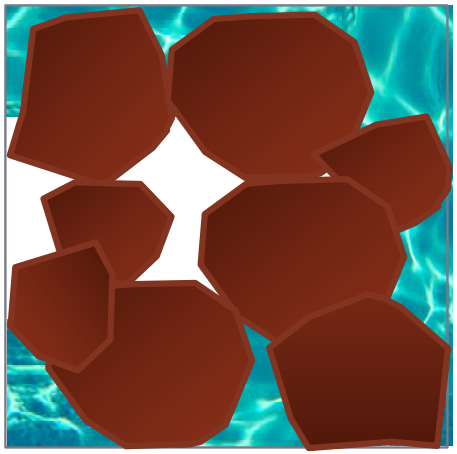
Peso unitario húmedo

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

Donde:

- γ_h : Peso unitario húmedo
- W_s : Peso del sólido
- W_w : Peso del agua
- V_t : Volumen total





Depende de:

Peso de los granos individuales

Cantidad total de partículas presentes (función de e)

Cantidad de agua existente en los vacíos (función de w)

Características: 0 % < Sr < 100 %

Relación entre γ_d y γ_h

$$\gamma_h = \frac{W_t}{V_t} = \frac{W_s + W_w}{V_t} = \frac{W_s \cdot \left[1 + \left(\frac{W_w}{W_s}\right)\right]}{V_t} = \frac{W_s \cdot [1 + w]}{V_t}$$

$$\gamma_h = \frac{W_s}{V_t} \cdot [1 + w] = \gamma_d . [1 + w]$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma_h}{[1 + w]}$$

Peso unitario saturado

$$\gamma_{sat} = \frac{W_s + W_w}{V_t}$$

Donde:

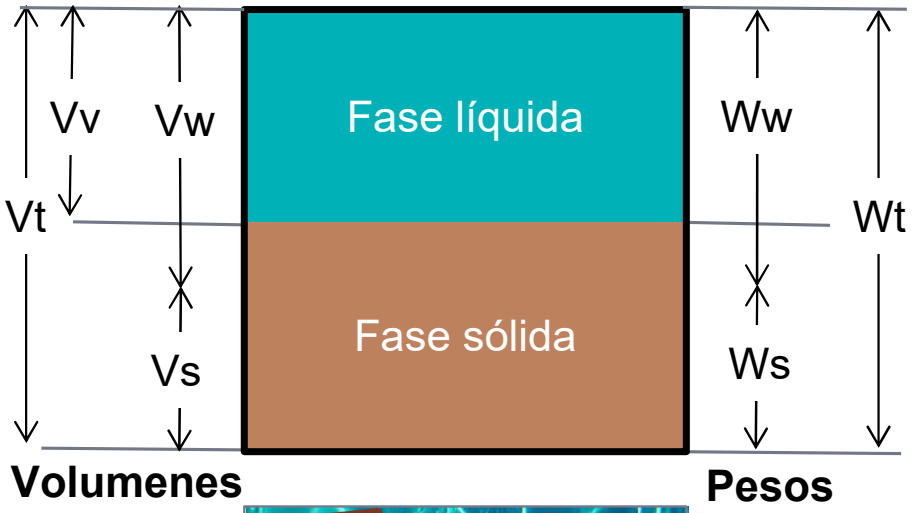
- γ_{sat} : Peso unitario saturado
- W_s : Peso del sólido
- W_w : Peso del agua
- V_t : Volumen total

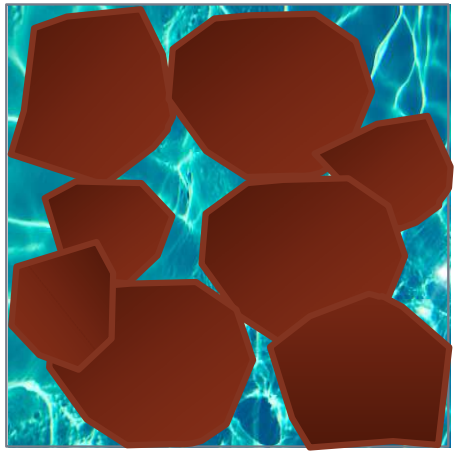
Características:

Sr = 100 %

Vg = 0

Vv = Vw

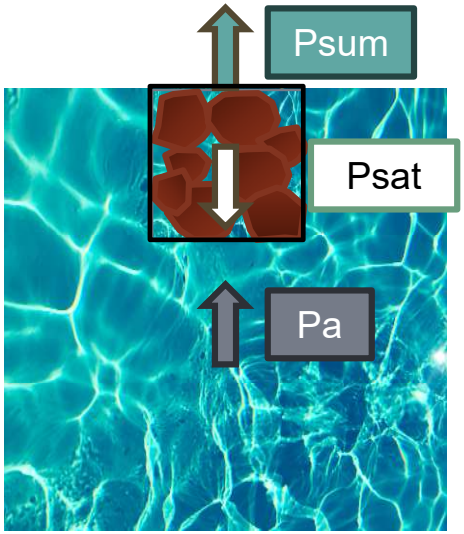




Peso unitario sumergido

• Se dice que el **suelo se encuentra sumergido**, cuando se encuentra por **debajo del nivel freático**, además son **suelos saturados.** Esto supone considerar el suelo saturado y sumergido.

• Al sumergirse, según Arquímedes, **el suelo experimenta un empuje hacia arriba, igual al peso del volumen de agua desalojado**.



$$\gamma' = \frac{W_{sat} - W_w}{V_t} = \frac{W_{sat} - V_t \cdot \gamma_w}{V_t} = \frac{W_{sat}}{V_t} - \frac{V_t \cdot \gamma_w}{V_t}$$

$$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$$

Donde:

- γ': Peso unitario sumergido
- γ_{sat} : Peso unitario saturado
- W_{sat} : Peso saturado
- W_w : Peso del agua
- V_t : Volumen total

Bibliografía

1. Mecánica de suelos. Autor: T. William Lambe y Robert V. Whitman.
2. Ingeniería Geológica. Autor: Luis González de Vallejo y otros.
3. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. Autor: Braja Das.
4. Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica. Autor: Karl Terzaghi.
5. Mecánica de Suelos. Autor: Juárez Badillo

Gracias por su atención!

Preguntas? Dudas? Consultas?