



GEOTECNIA I

Año Académico 2025-2026

Dr. Lorenzo Borselli
Instituto de Geología
Fac. De Ingeniería, UASLP

lborselli@gmail.com
www.lorenzo-borselli.eu



Parte I

Definición, estructura y propiedades físicas de los geomateriales (rocas y suelos)

Geomateriales

Un ***geomaterial*** es cualquier material de origen geológico como **rocas y suelo**. Esta definición debe ampliarse para incluir los **materiales artificiales obtenidos mediante el reprocesamiento de los materiales originales de origen geológico**. (ejemplo: material constituyente los terraplenes por la construcción de carreteras, etc).

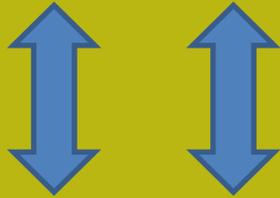
“La Geotecnia es la aplicación de métodos científicos y principios de la ingeniería a la adquisición, interpretación y uso del conocimiento de los materiales de la corteza terrestre y de la tierra para la solución de problemas de ingeniería civil y prevención de riesgos naturales”.

Entonces el conocimiento de las características físicas y técnicas de los ***geomateriales***, de los procesos de interacción de estos con el agua y las acciones exteriores (por ejemplo, la cargas), es crucial para alcanzar los **objetivos de la ingeniería geotécnica**: el modelo correcto del sub-suelo y la contribución al diseño adecuado de obras y la prevención de riesgo hidro-geológico y naturales.

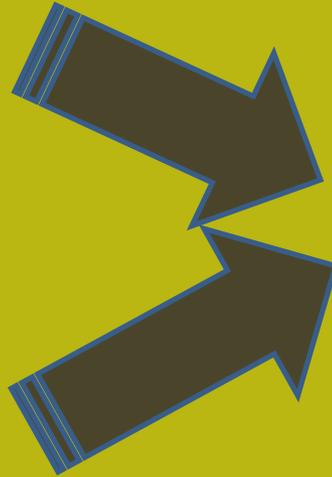
Grupos en los Geomateriales



ROCAS



SUELO



Material re-elaborado Artificialmente



Rocas

En Geología, una roca es un agregado natural de minerales sólidos.
(se vea material curso de **GEOLOGIA APLICADA**)

Las rocas se clasifican por su composición mineral y química, por la textura de las partículas constituyentes y por los procesos que los formaron. Las rocas se separan en : **rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas.** estas se clasifican según su proceso de formación . La transformación de un tipo de roca a otra es descrito por el modelo geológico llamado el ciclo de las rocas.

Roca ígnea



© geology.com

Roca metamorfica



© geology.com

Roca sedimentaria



© geology.com

Composición de Rocas

Roca ígnea



En Geología, una roca es un agregado natural de minerales sólidos.

Roca metamórfica



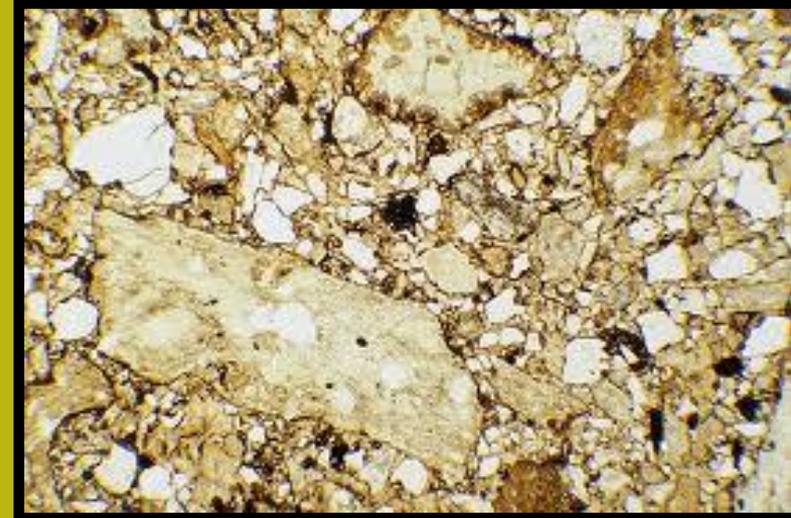
Roca sedimentaria



Composicion de las Rocas

En Geología, una roca es un agregado natural (cementado) de minerales sólidos.

Roca ignea



Roca sedimentaria



Matriz rocosa y Macizos rocosos

Las definiciones básicas:

Matriz rocosa
Roca intacta
Elementos homogéneos de rocas sin defectos y discontinuidades



El macizo rocoso es la suma de roca intacta y los planes de discontinuidades



Matriz rocosa y macizos rocosos

Otros Ejemplos:

Fragmento de matrix rocosas



Fragmento de matrix rocosas



Macizo rocoso muy blando y fracturado

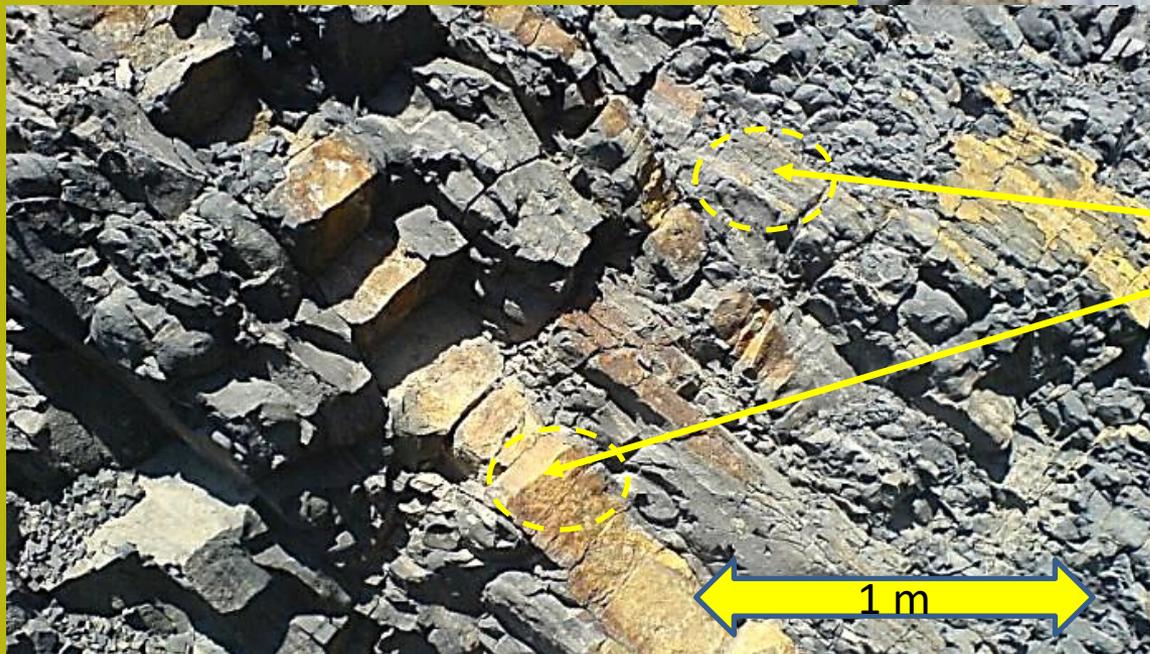


Macizo rocoso muy blando y fracturado

Macizos rocosos

Otros ejemplos:

Ejemplos de **macizos rocosos con un alto nivel de fracturación de origen tectónica** que se superponen a las **discontinuidades de origen primaria sedimentaria** (separación de diferentes estratos o capas de sedimentos)

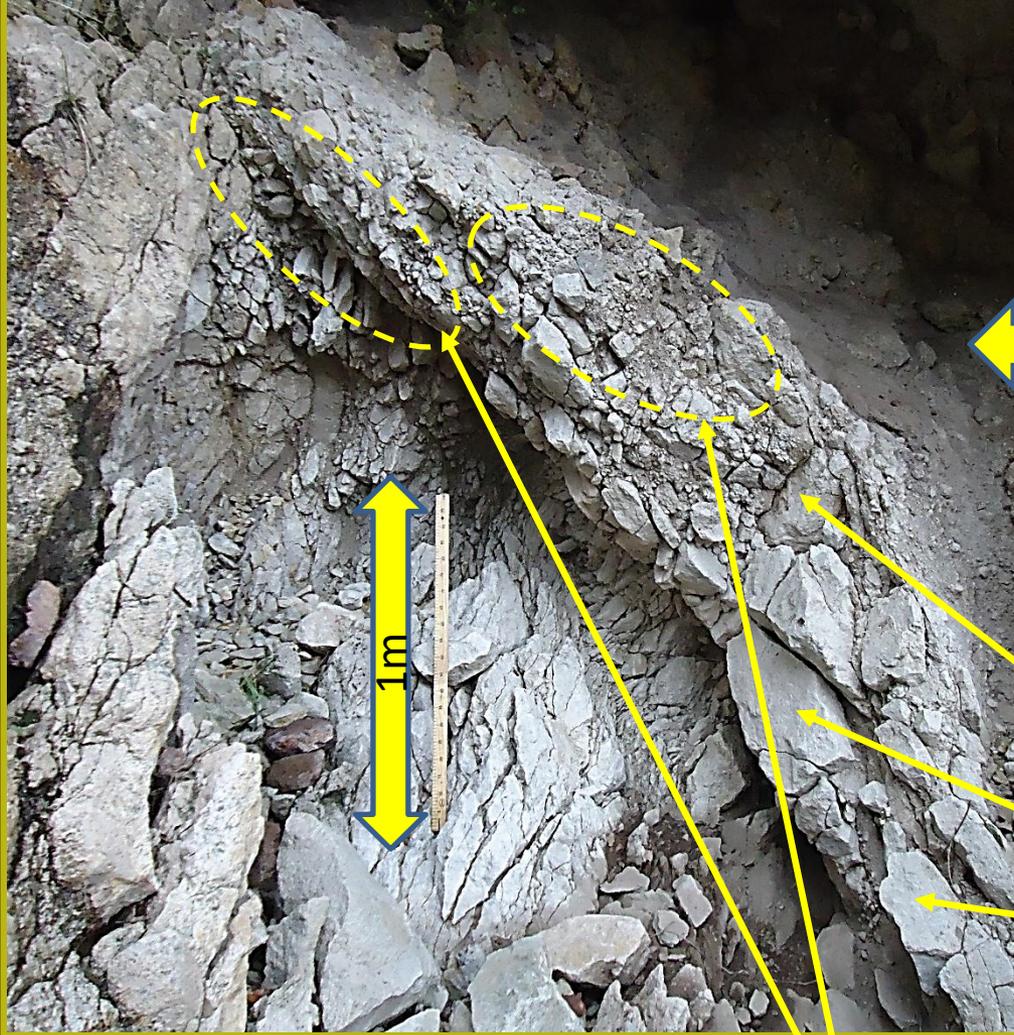


Matriz rocosa intacta

macizos rocosos

Otros ejemplos:

Ejemplos de macizos rocosos con un alto nivel de fracturación de origen tectónica: breccia de falla entre roca volcánica efusivas (riolitas).. (foto L.B Sierra San Miguelito, SLP, 2012)



Matriz rocosa intacta

Macizo rocoso con Alto nivel de fracturación y intemperismo

Matriz rocosa y macizos rocosos: problemas de escala

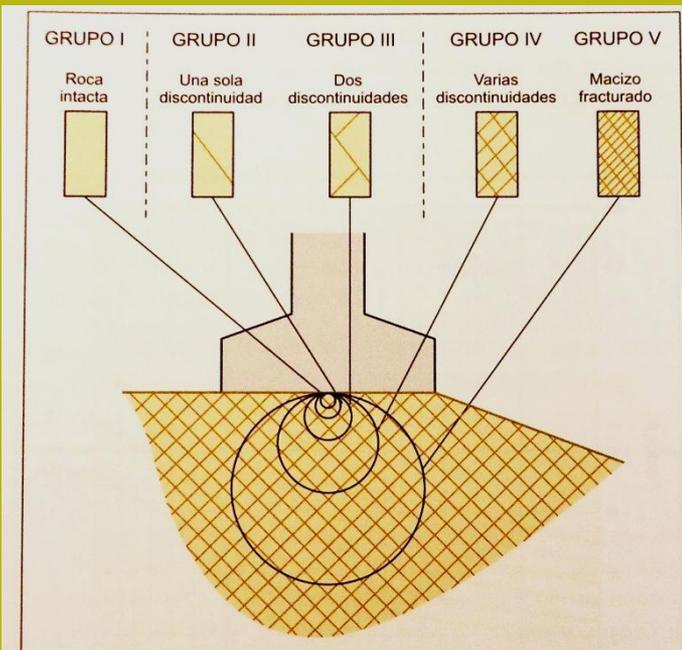
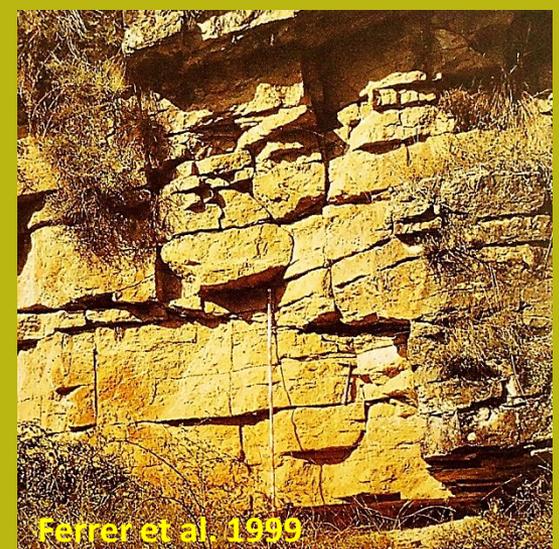
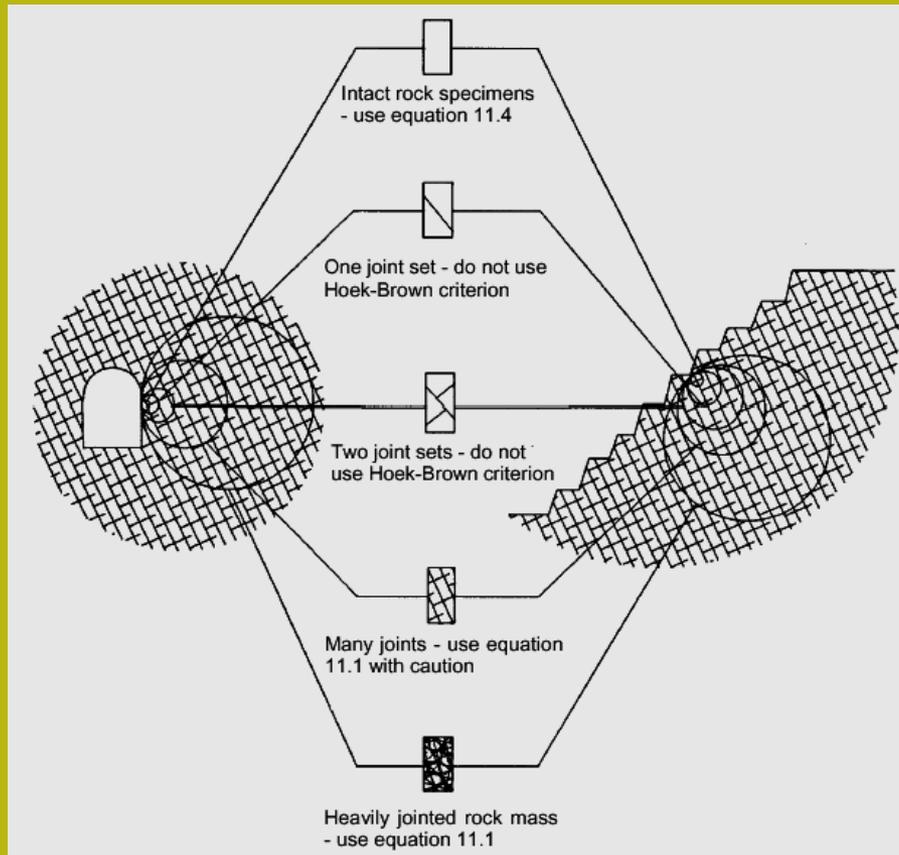
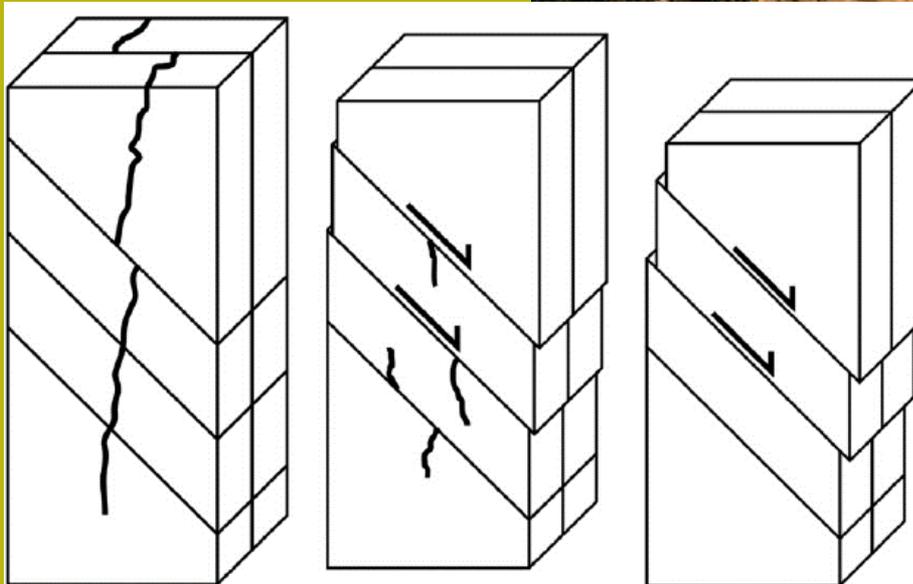
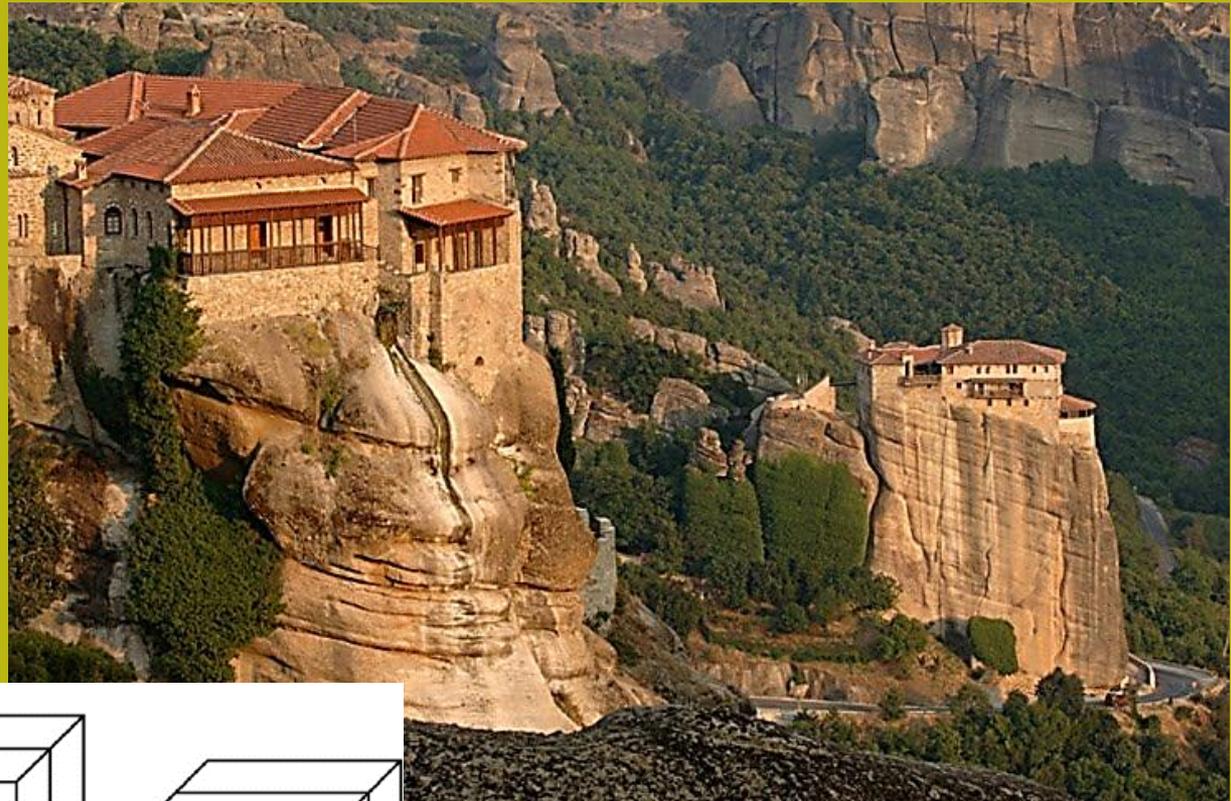


Figura 8.36 Representación simplificada de la influencia de la escala en el comportamiento del macizo rocoso para el diseño de cimentaciones superficiales.

El comportamiento del sistema, que consta de roca intacta y la discontinuidad, depende de la escala de observación y del volumen en cuestión. En promedio, las propiedades mecánicas de la macizo rocoso son siempre más bajas que los de la roca intacta.

Matriz rocosa y macizos rocosos: problemas de escala

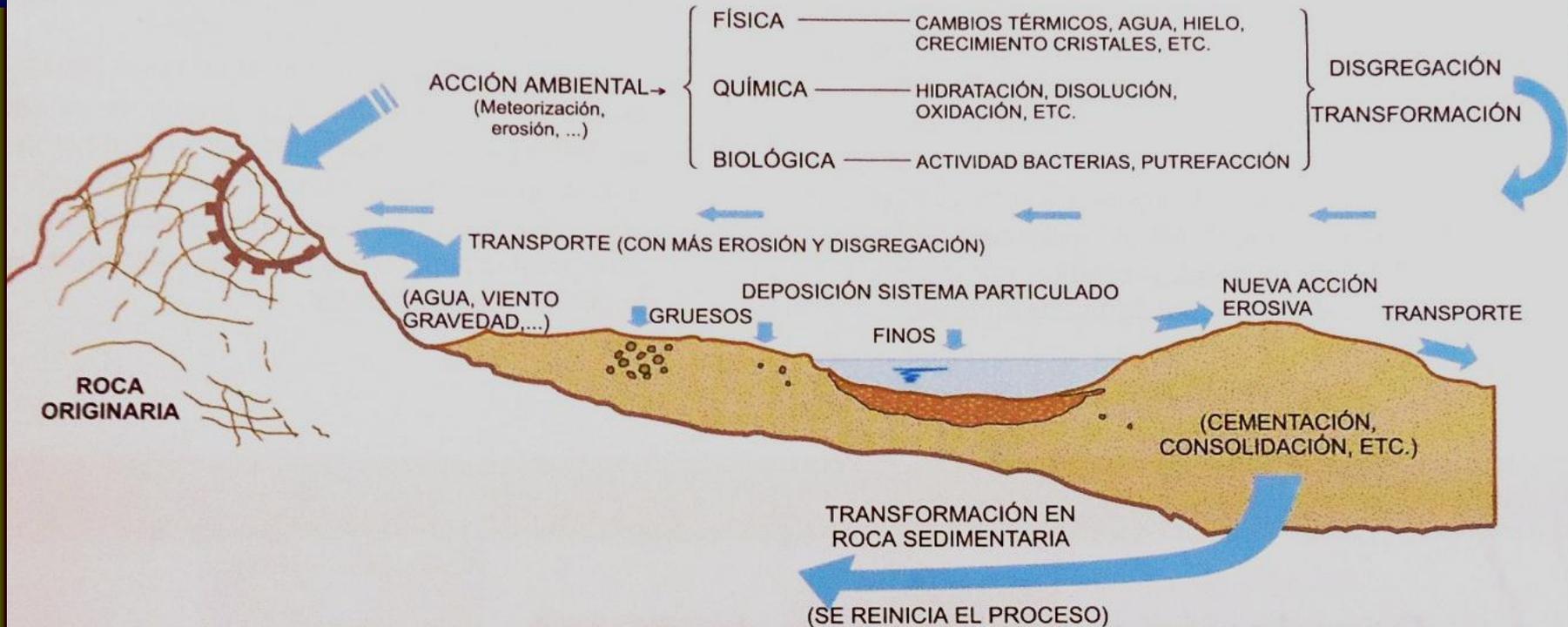


Para aplicaciones en la ingeniería Civil es fundamental la correcta evaluación de las características de las discontinuidades, en su escala como: Frecuencia, orientación en el espacio, aberturas, origen, así como su nivel de intemperismo y resistencia.. Como vamos a mostrar mas adelante

Matriz rocosa y macizos rocosos: síntesis de características relevantes para su aplicación en ingeniería civil y geológica

	Matriz rocosa	Macizo rocoso
<ul style="list-style-type: none"> • Origen geológico <ul style="list-style-type: none"> - Sedimentario - Ígneo - Metamórfico 	<p>Composición mineralógica</p> <p>Densidad</p>	<p>Litología</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Historia geológica <ul style="list-style-type: none"> - Diagénesis - Tectónica (esfuerzos) - Condiciones ambientales (agua, presión y temperatura) - Erosión 	<p>Fábrica Porosidad Permeabilidad Alterabilidad</p>	<p>Estructura Discontinuidades</p> <p>Estado de esfuerzos</p> <p>Hidrogeología</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Procesos de alteración y meteorización 	<p>Variación en la composición mineralógica y en las propiedades</p>	<p>Zonas alteradas y meteorizadas. Variación de las propiedades</p>

El ciclo geológico e la formación de suelos y sedimentos



RESULTADO FINAL:

(En campo gravitatorio)

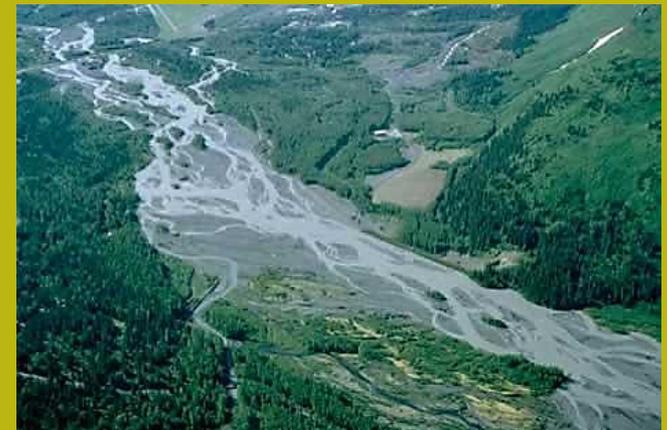
- SISTEMA PARTICULADO DE DIVERSO ORIGEN (GRANULOMETRÍA DE GRUESOS –cm– A FINOS –micras–).
- ESTRUCTURA Y FÁBRICA EN FUNCIÓN ORIGEN MINERALES, AGENTES CEMENTANTES, TRANSFORMACIONES, MEDIO DE DEPOSICIÓN...
- PRESENCIA DE HUECOS (INTERSTICIOS).
 - CON AGUA (SUELO SATURADO)
 - CON AIRE (RARO)
 - CON AIRE Y AGUA (SEMISATURADO)
- MEDIO BI O TRIFASE
 - PARTÍCULAS INDEFORMABLES (SALVO FRACCIÓN ORGÁNICA...)
 - FLUIDO INTERSTICIAL INCOMPRESIBLE
 - DEFORMACIÓN POR GIROS Y DESLIZAMIENTO RELATIVO DE PARTÍCULAS, EXPULSIÓN AGUA, ...

Tipos de suelos : clasificación sintética en base a sus origen

**Rocas , macizos
rocosos**

**Suelos Residuales:
Alteración en sitio de la
misma matriz rocosa**

**Suelos Transportados:
Sedimentos transportado por
agua , viento, y glaciares.. que
después su deposición,
pueden subir un proceso de
alteración**



Tipos de suelos : clasificación sintética en base a sus origen

**Rocas , macizos
rocosos**

**Suelos Residuales:
Alteración en sitio de la
misma matriz rocosa**



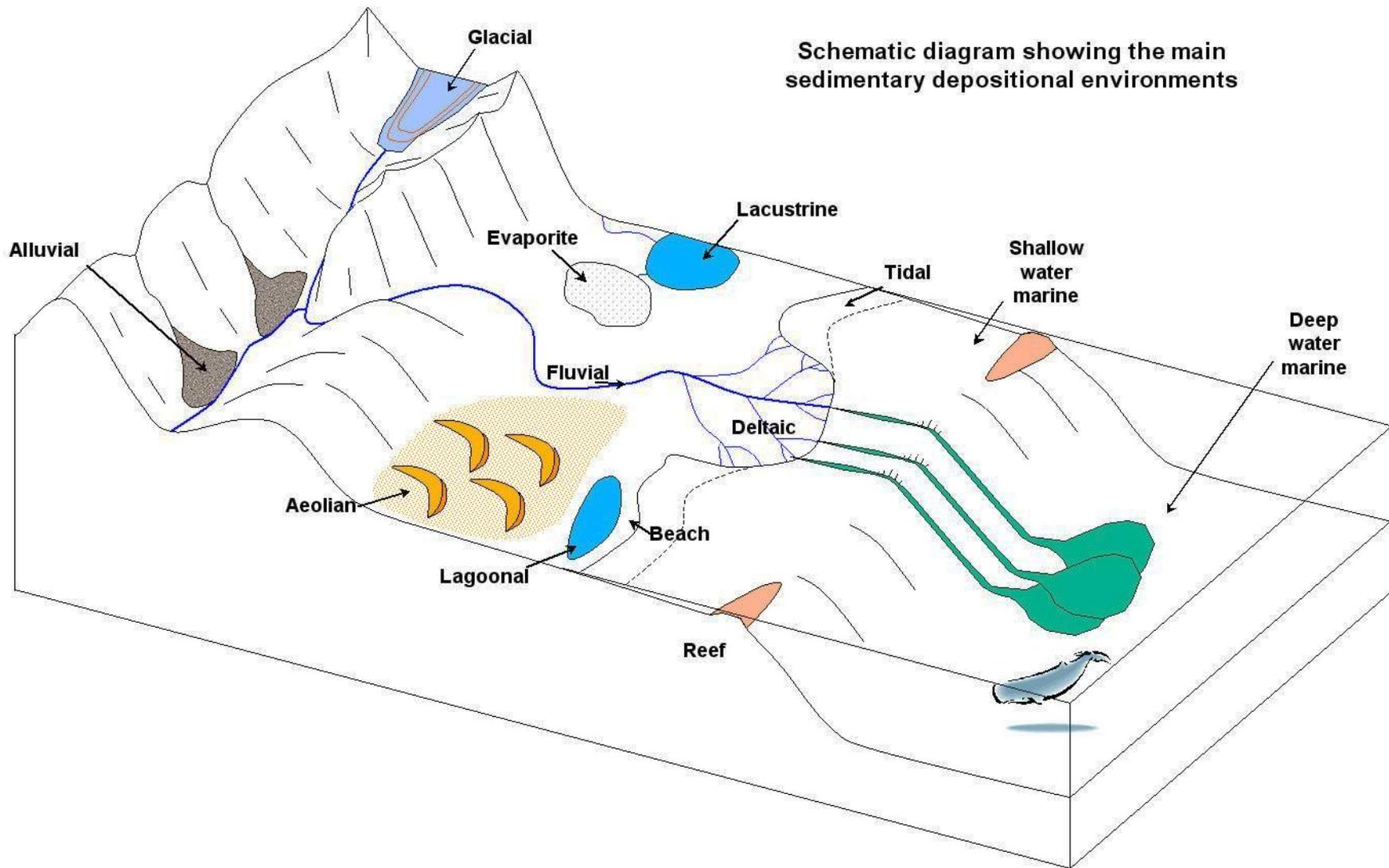
Foto: <https://pxhere.com/it/photo/438967>

**Suelos Transportados:
Sedimentos transportado por
agua , viento, y glaciares.. que
después su deposición,
pueden subir un proceso de
alteración**



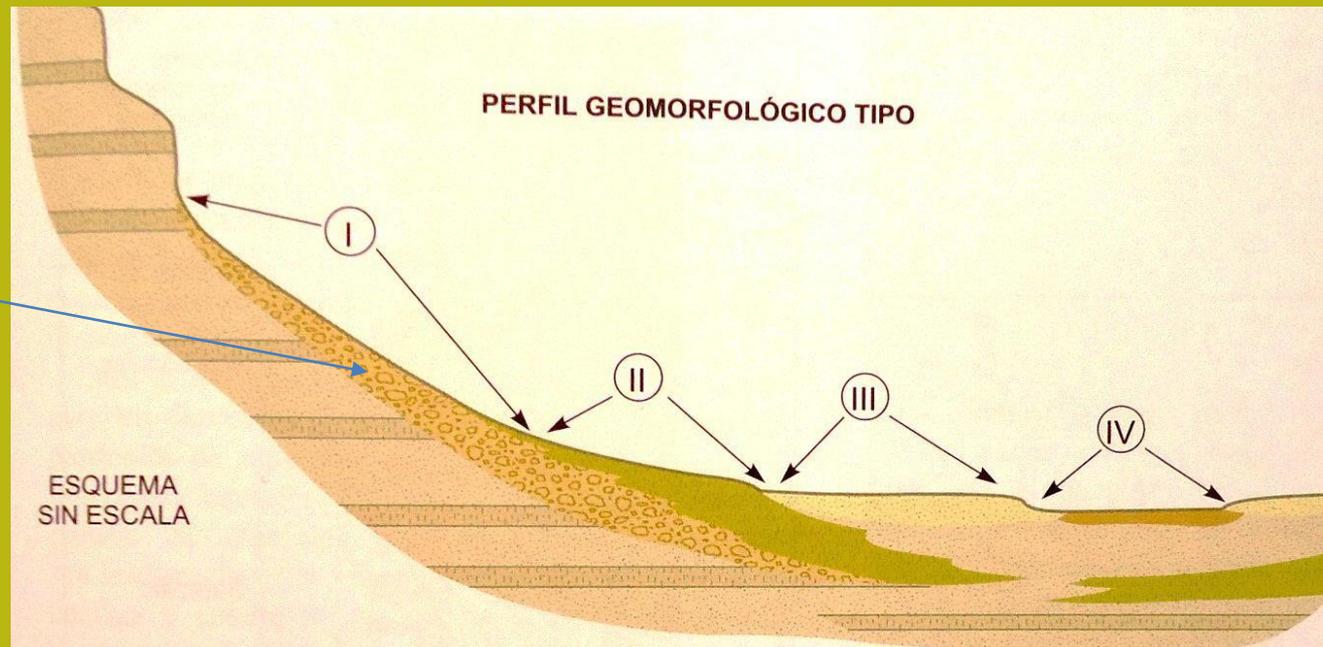
Foto: <https://pxhere.com/it/photo/775750>

El ciclo geológico e la formación de sedimentos: ambientes sedimentarios



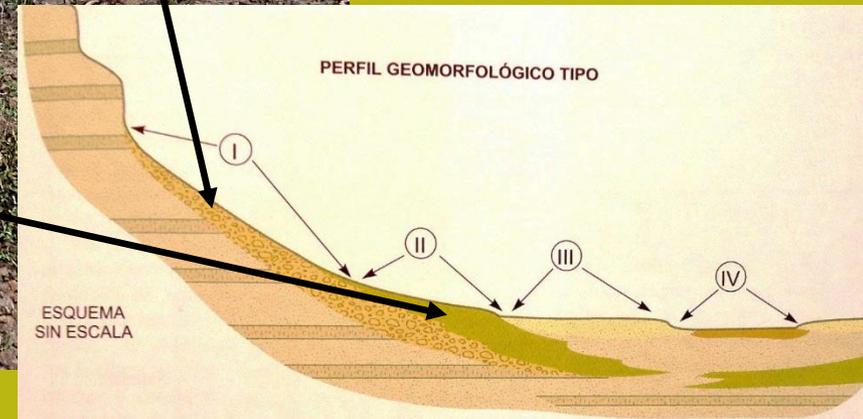
El ciclo geológico e la formación de sedimentos: mas en detalle un esquema del proceso sedimentario en ambiente árido (como en le valle de SLP)

Conglomeratos en la laderas Sur del valle de SLP



PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS

ZONA GEOMORFOLÓGICA		MATERIALES CARACTERÍSTICOS	PROBLEMAS GEOTÉCNICOS
I	PIEDEMONTES Y CANCHALES	<ul style="list-style-type: none"> • Coluviales con cantos muy gruesos, ángulosos y heterométricos 	<ul style="list-style-type: none"> • Inestabilidades • Erosión
II	ABANICOS ALUVIALES	<ul style="list-style-type: none"> • Arenas gruesas y gravas mal clasificadas, ocasionalmente cementos de calcita y dunas 	<ul style="list-style-type: none"> • Movilidad en dunas • Colapsos • Erosión
III	LLANURA	<ul style="list-style-type: none"> • Limos y arenas • Dunas 	<ul style="list-style-type: none"> • Movilidad en dunas • Colapsos
IV	PLAYA	<ul style="list-style-type: none"> • Arcillas limosas compactas y lentejones de evaporitas • Costras de sales 	<ul style="list-style-type: none"> • Ataques por sales • Hinchamientos • Colapsos



El ciclo geológico e la formación de sedimentos: mas en detalle un esquema del proceso sedimentario en ambiente árido (como en le valle de SLP)

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS

ZONA GEOMORFOLÓGICA	MATERIALES CARACTERÍSTICOS	PROBLEMAS GEOTÉCNICOS
I	PIEDEMONTES Y CANCHALES	<ul style="list-style-type: none"> • Coluviales con cantos muy gruesos, ángulosos y heterométricos • Inestabilidades • Erosión
II	ABANICOS ALUVIALES	<ul style="list-style-type: none"> • Arenas gruesas y gravas mal clasificadas, ocasionalmente cementos de calcita y dunas • Movilidad en dunas • Colapsos • Erosión
III	LLANURA	<ul style="list-style-type: none"> • Limos y arenas • Dunas • Movilidad en dunas • Colapsos
IV	PLAYA	<ul style="list-style-type: none"> • Arcillas limosas compactas y lentejones de evaporitas • Costras de sales • Ataques por sales • Hinchamientos • Colapsos

Deposito sedimentario – ambiente aluvial

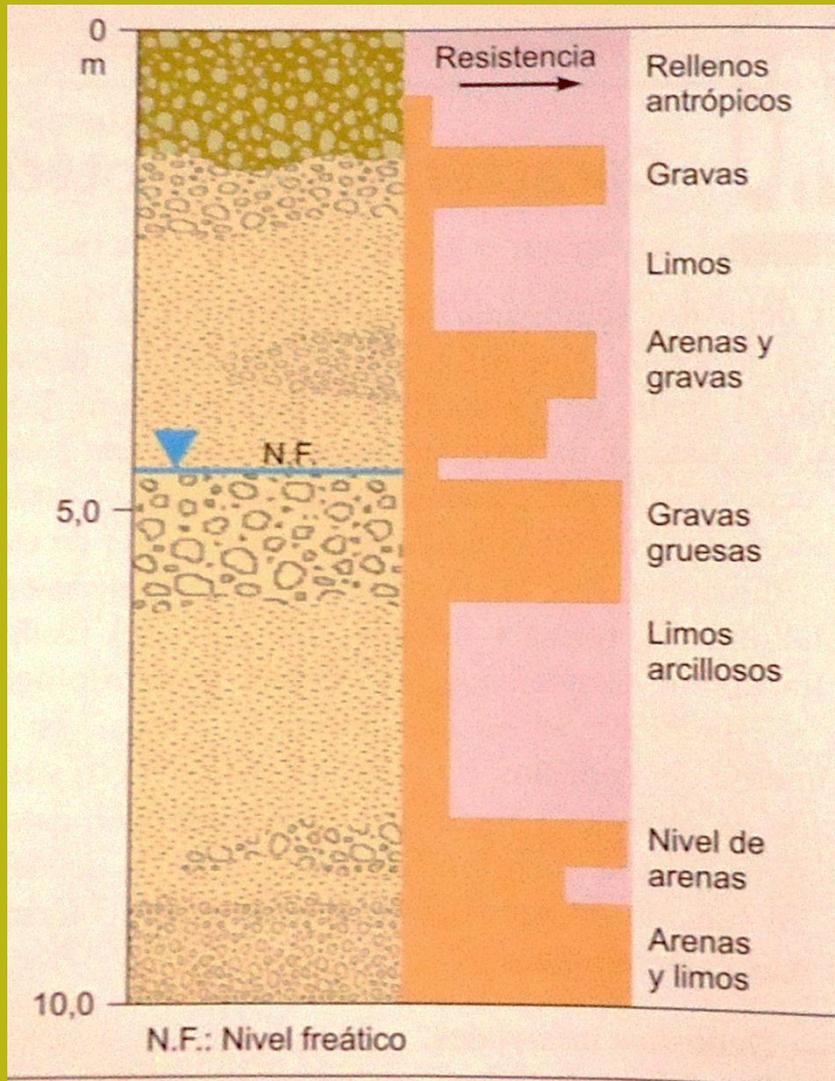


Figura 2.78 Perfil tipo de depósitos aluviales.



Deposito sedimentario - ambiente lacustre (antiguas lagunas)

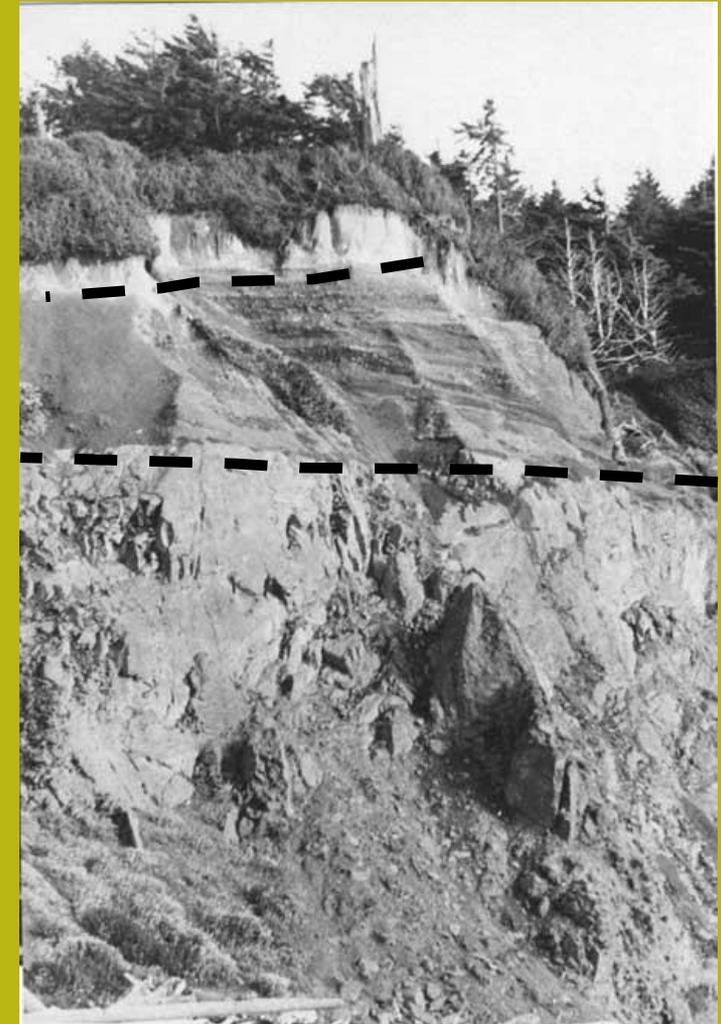
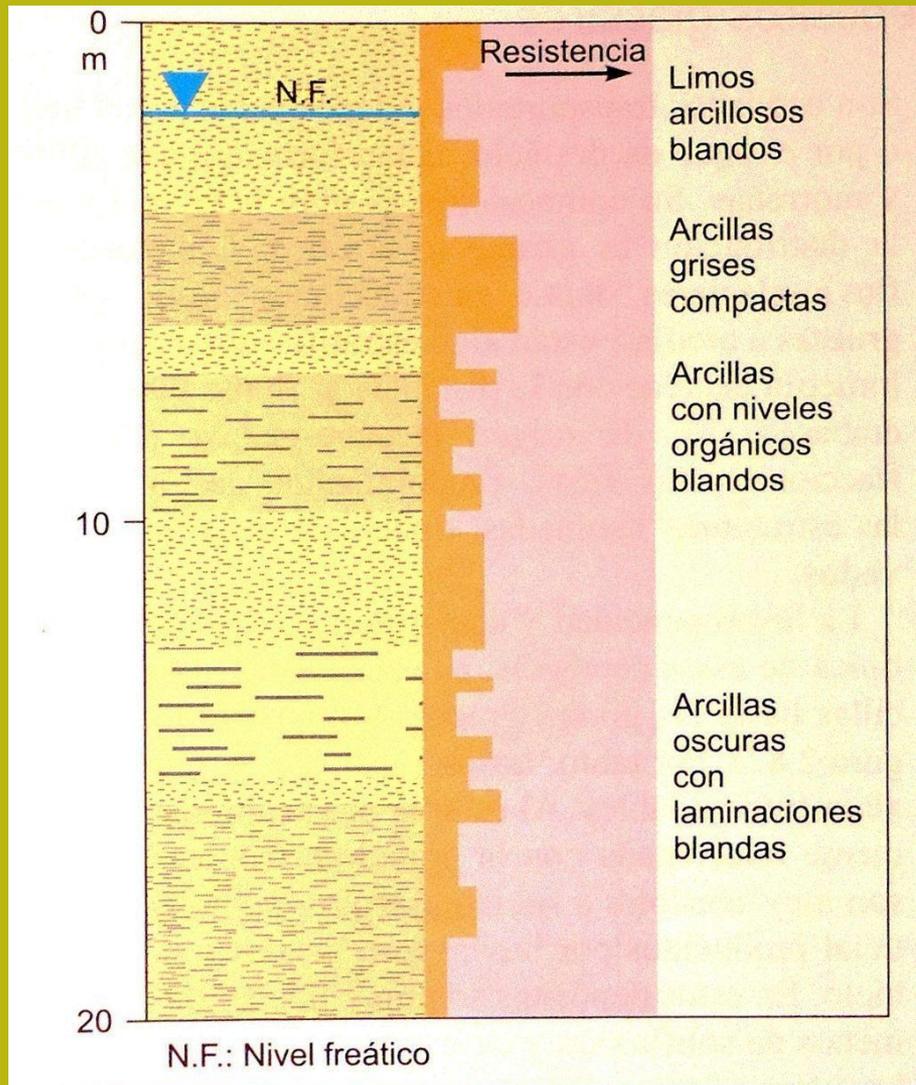
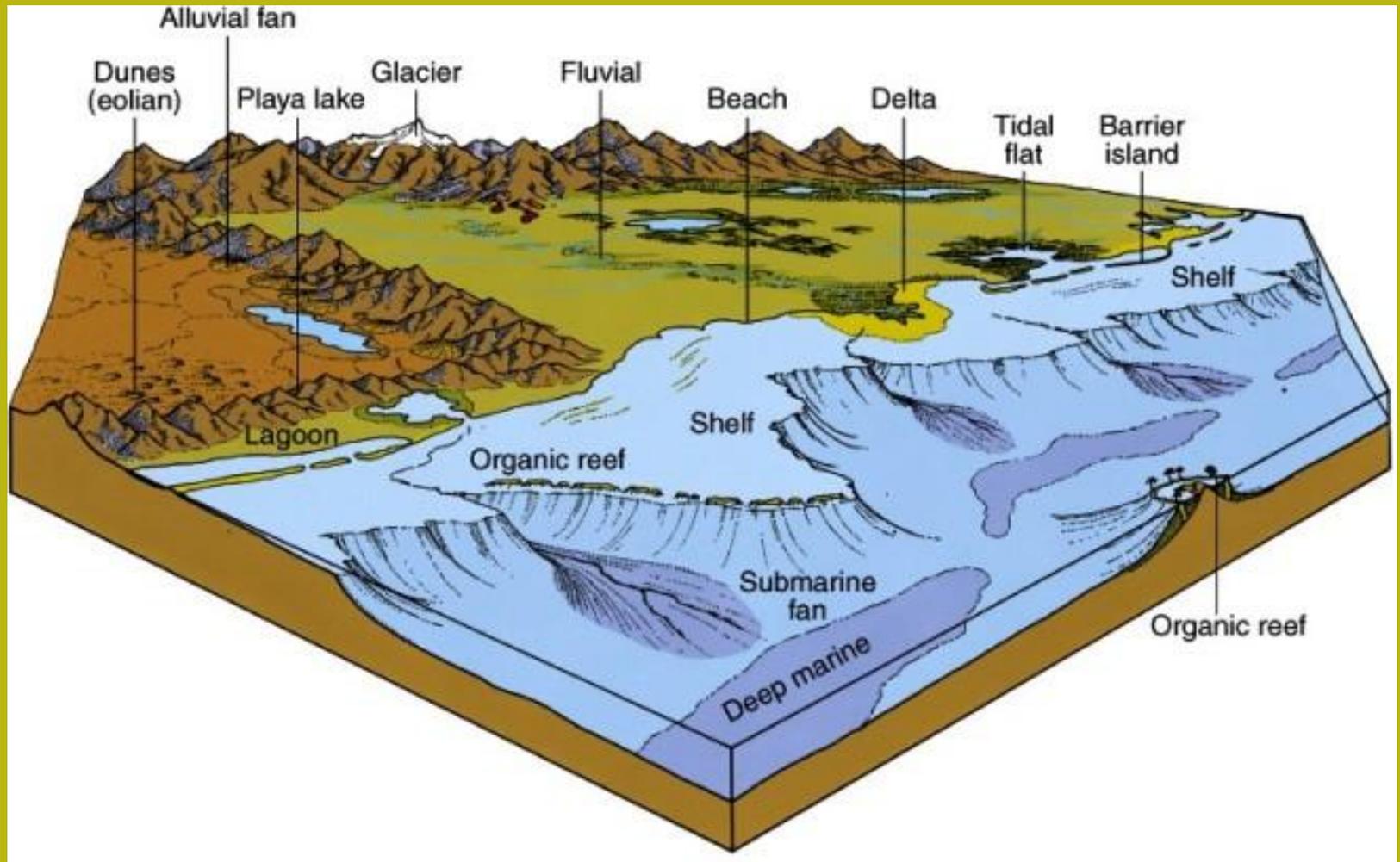


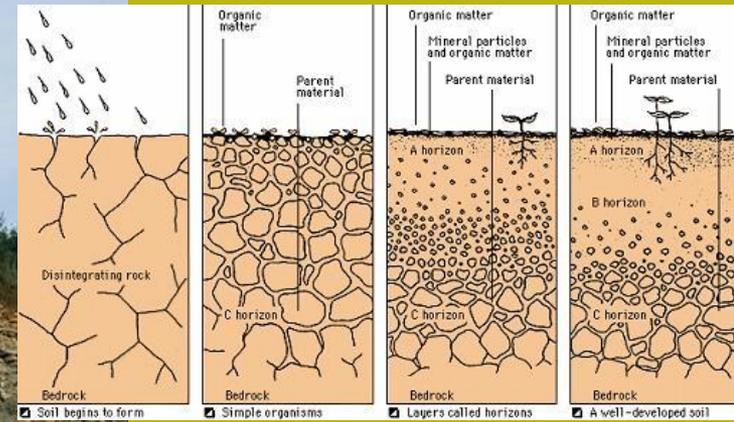
Figura 2.80 Perfil tipo de depósitos lacustres.

Características de los sedimentos vs. distancia de su origen y energía del proceso: ej. Ambiente marino

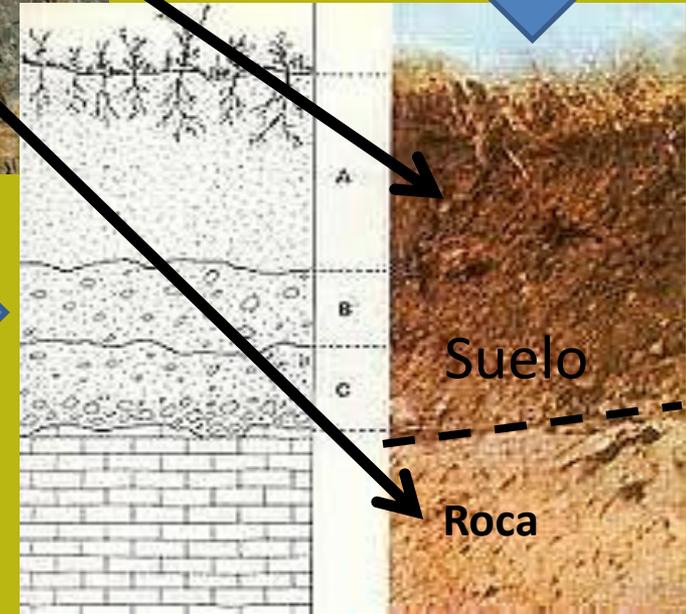


By <http://explanet.info>

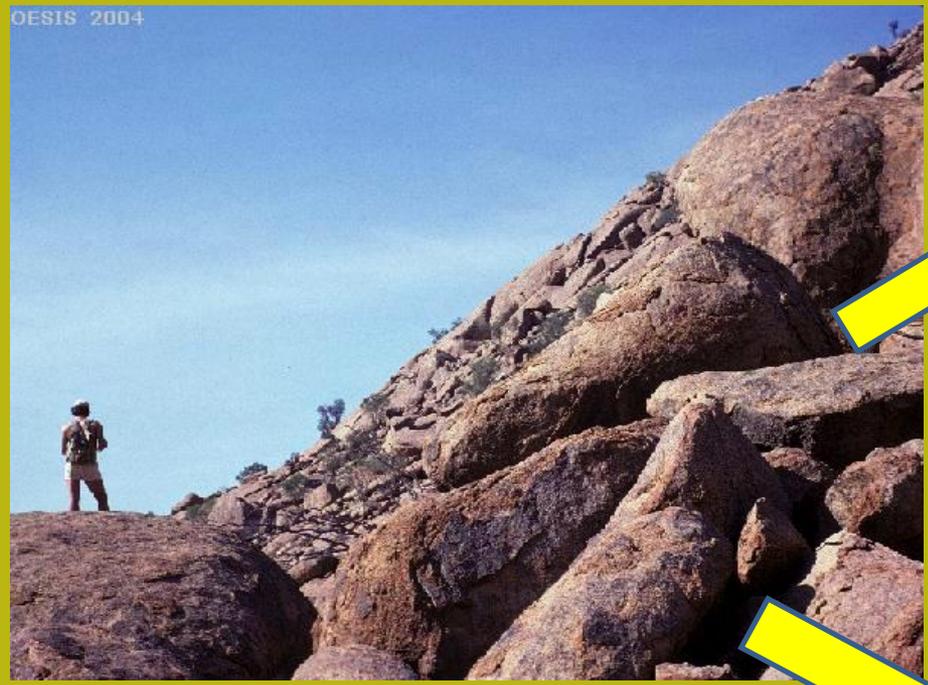
Proceso de formación de suelo A empezar da alteración de rocas (suelos Residuales)



Diferentes horizontes de alteración y transformación en el proceso de formación de suelos a empezar da una macizo rocoso.



Proceso alteración y formación de suelos superficiales a empezar de las rocas intactas



Resultados de la Alteración



Debido a Acción de hielo, temperatura, lluvia, viento, acciones biológicas, erosión directa de flujos de agua

Proceso alteración a empezar de las rocas intactas (foto L.B. Sierra san Miguelito, SLP , 2012)

*Causa: Acción de hielo,
temperatura, lluvia, viento,
acciones biológicas,
erosión directa de flujos
de agua*



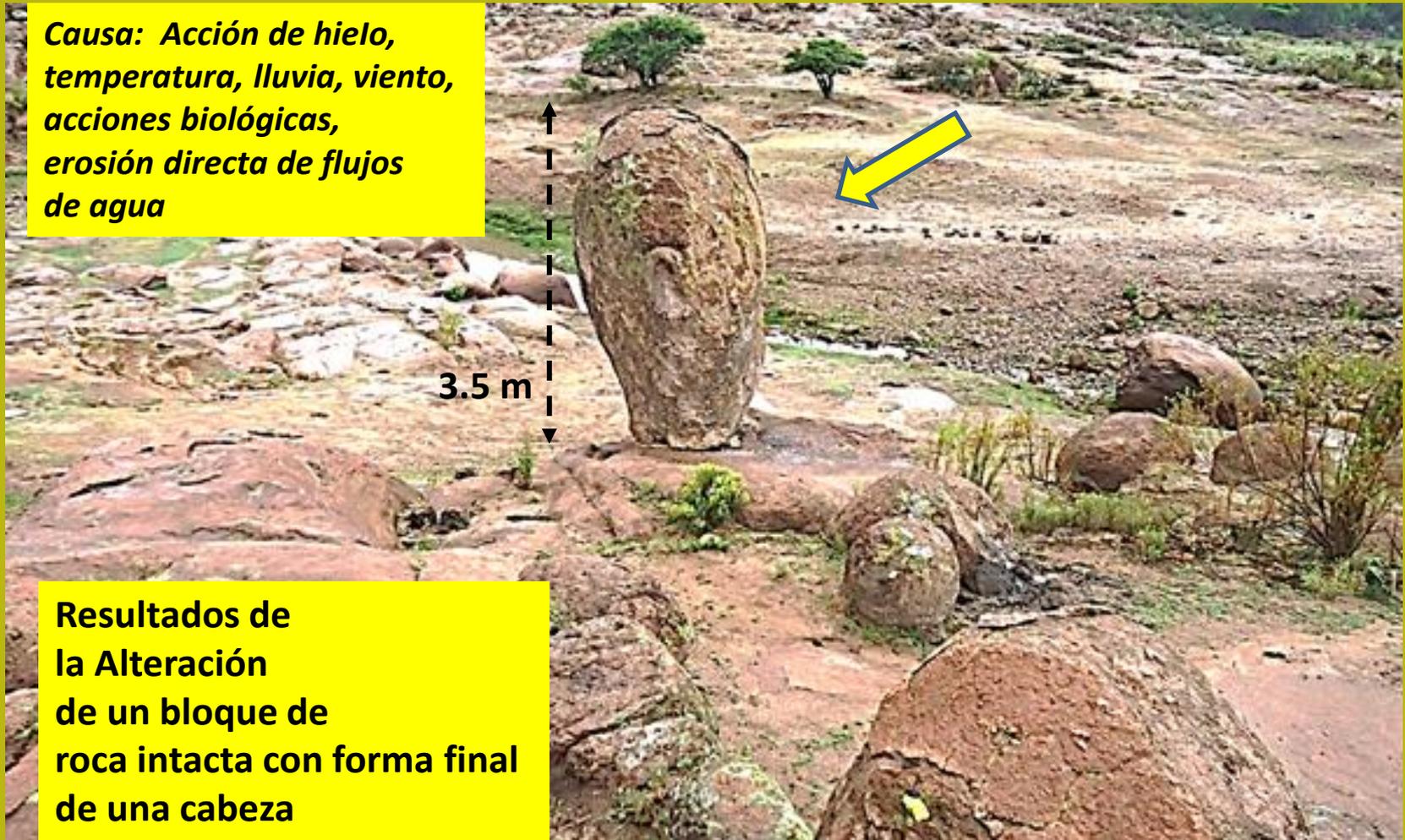
**Resultados de
la Alteración
de un bloque de
roca intacta con forma final de bola**

Proceso alteración a empezar de las rocas intactas (foto L.B. Sierra san Miguelito, SLP , 2012)

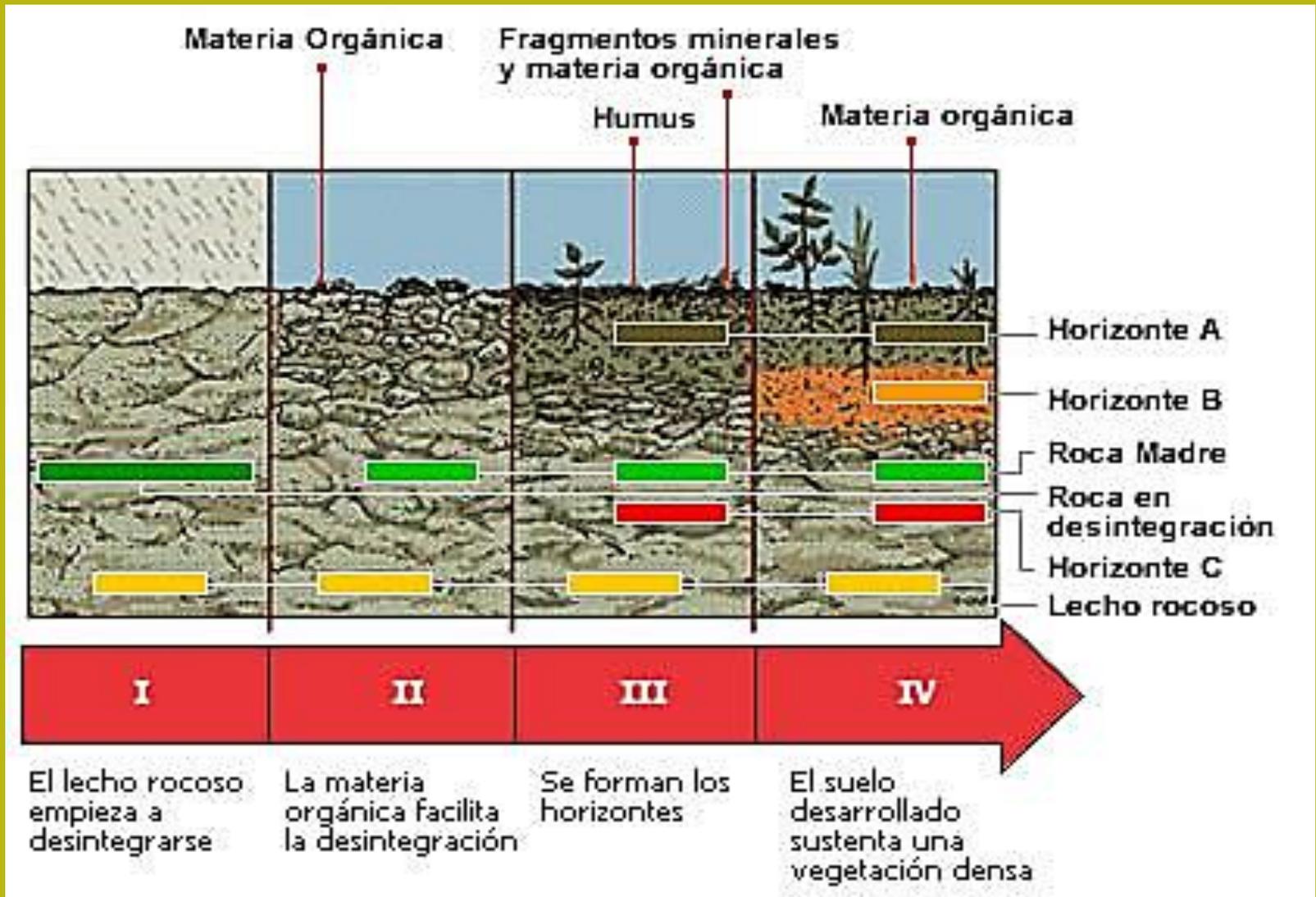
*Causa: Acción de hielo,
temperatura, lluvia, viento,
acciones biológicas,
erosión directa de flujos
de agua*

3.5 m

**Resultados de
la Alteración
de un bloque de
roca intacta con forma final
de una cabeza**

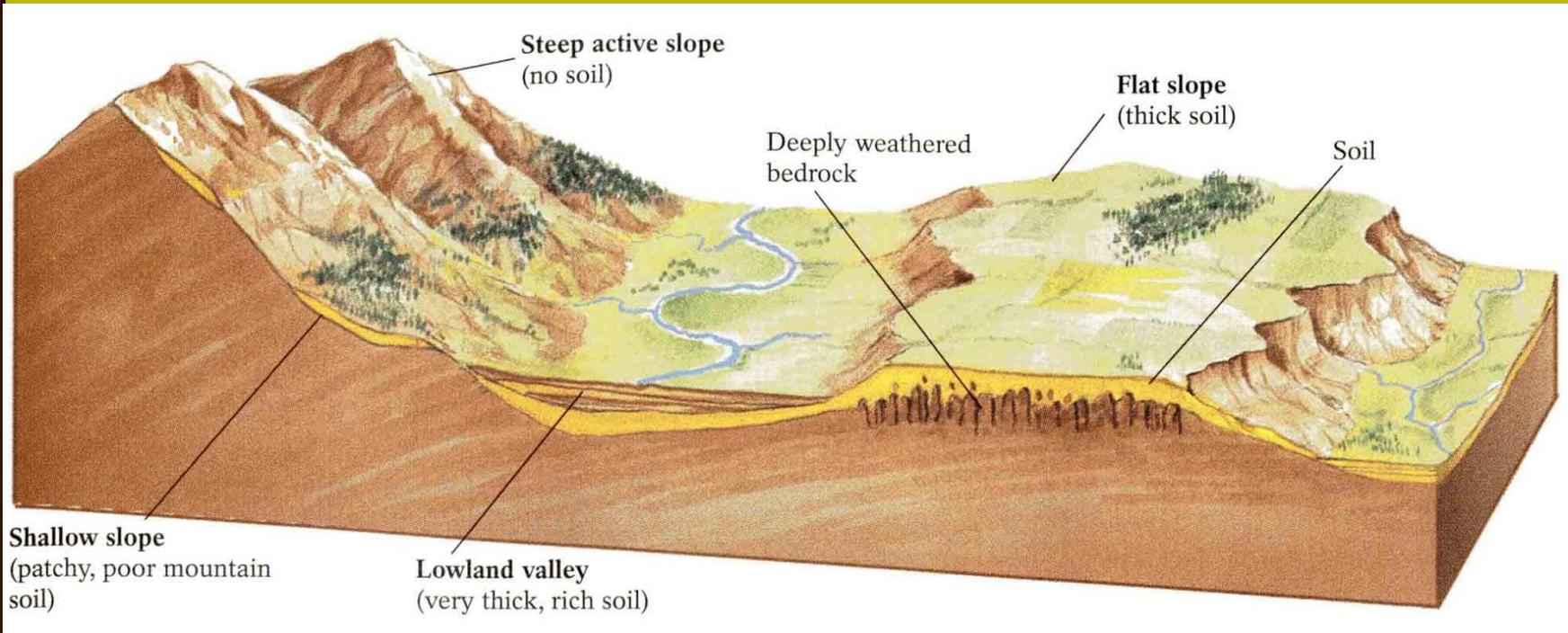


Proceso de formación de suelo a empezar da alteración de rocas:



By <http://www.madrimasd.org>

Proceso de formación de suelo a empezar da alteración de rocas : Espesor y procesos en función de la posición morfológica

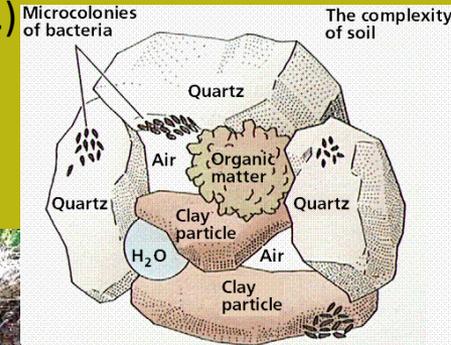


By spot.pcc.edu

Composición de suelos :

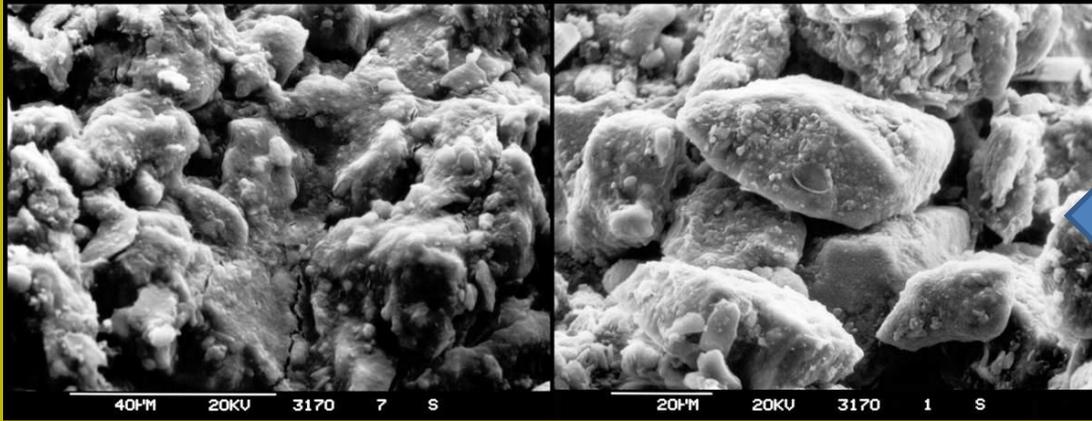
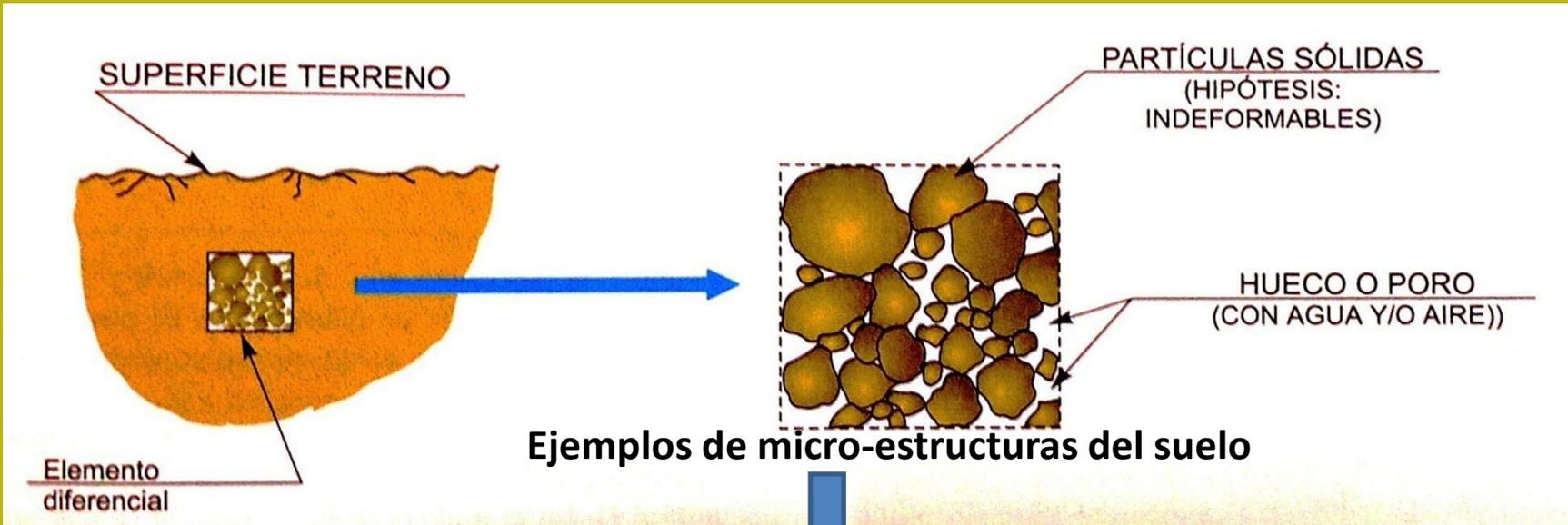
Los suelos están compuestos de agregados de partículas sólidas (fragmentos de roca y minerales) y en algunos casos, de materia orgánica. En general tienen un grado de consolidación variable: da muy blandos a muy compactos.

Los principales componentes minerales son la arcilla y otros minerales como cuarzo, piroxenos, micas, carbonato de calcio, yeso..., dependiendo del proceso de alteración o y transformación de lo minerales originales de la rocas (ejemplo: cuarzo o calcita), o del proceso de formación de nuevos minerales: como los minerales arcillosos .. (Kaolinita., clorita, illita...)



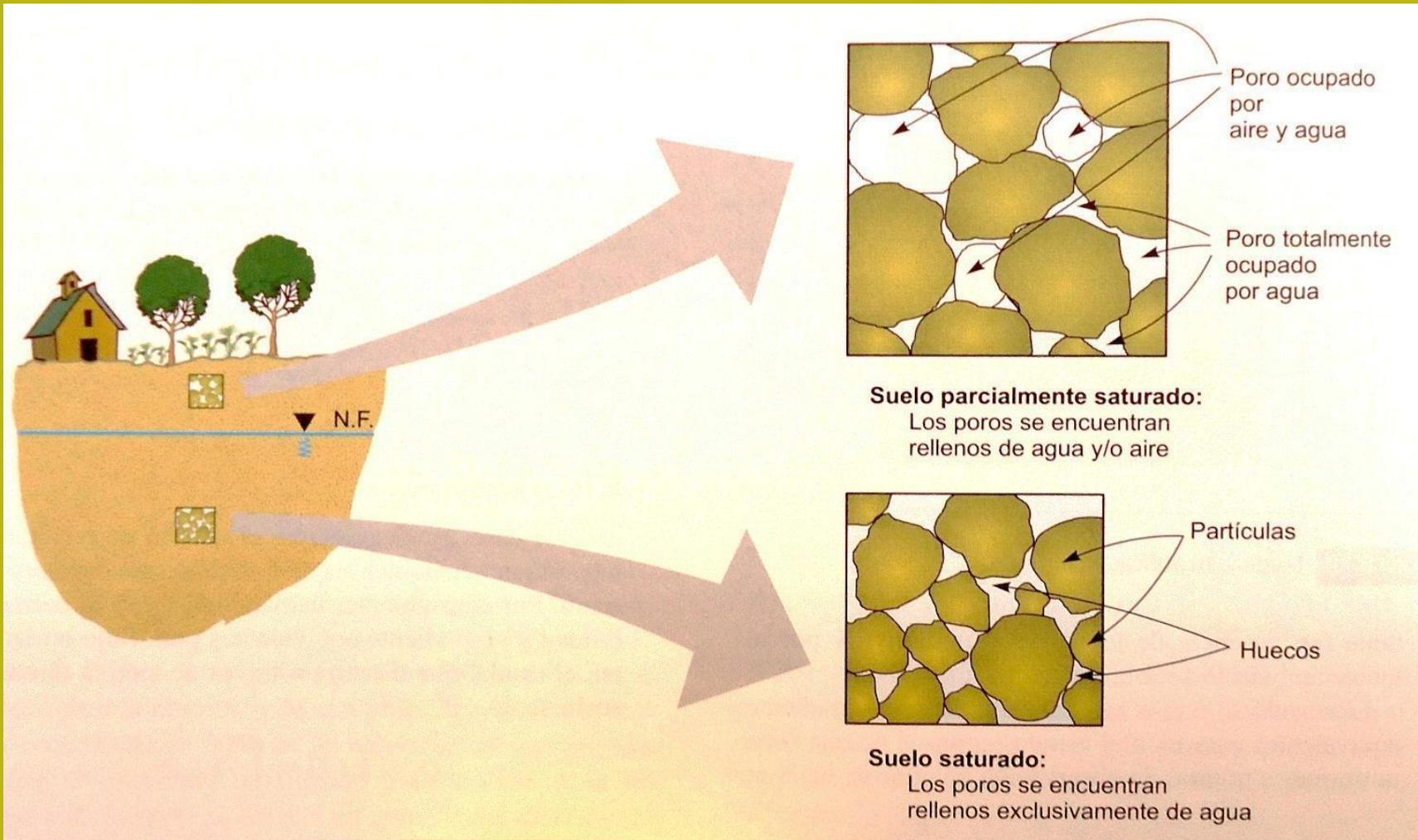
Diferentes horizontes de alteración y transformación en el proceso de formación de suelos

Composición y estructura suelos y sedimentos (no cementados)-1

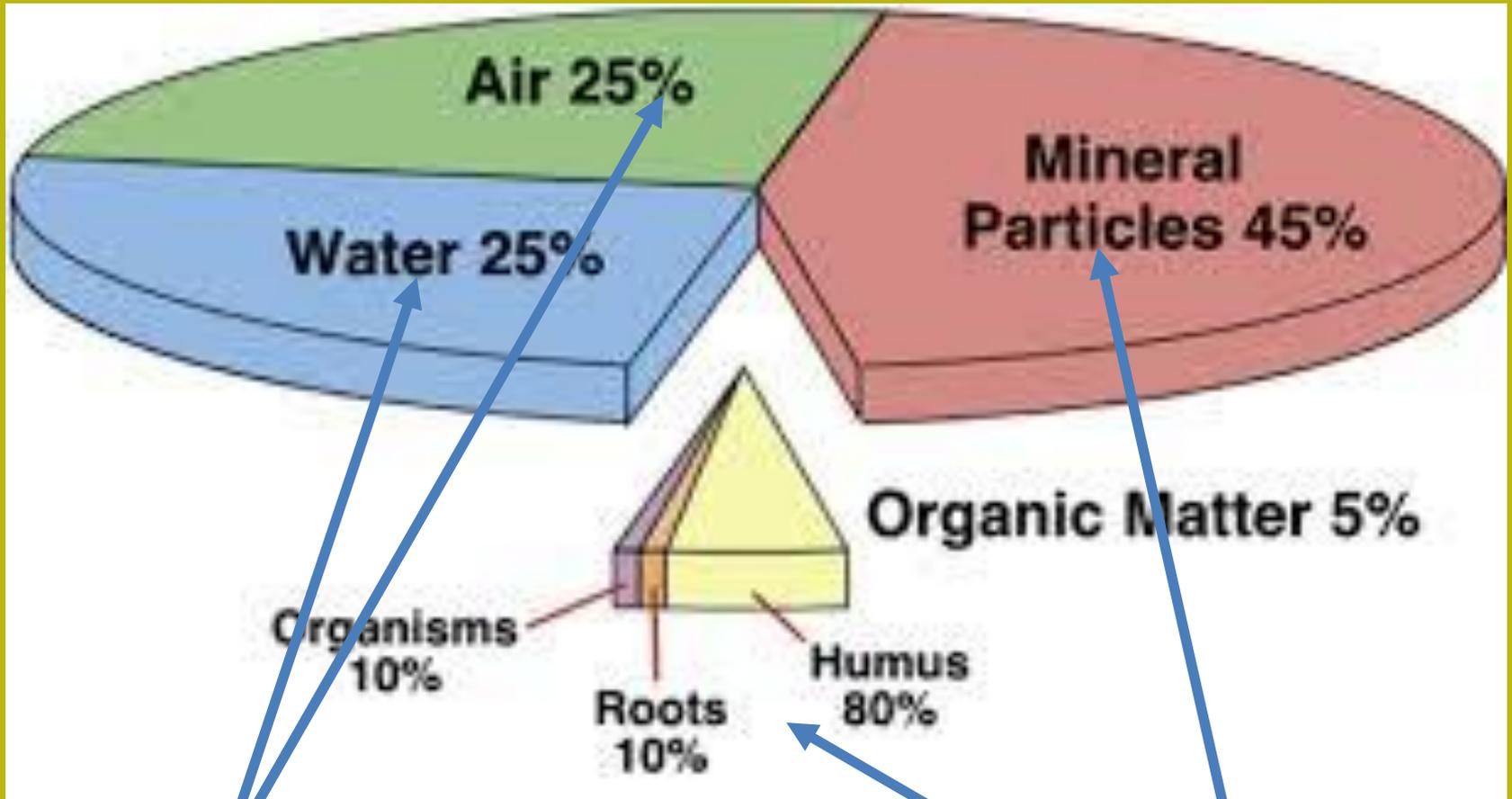


Composición y estructura suelos-2

Detalle del concepto de partículas sólidas, huecos (poros), y huecos ocupados da agua en un suelo



Composición y estructura suelos-3



Espacio Vacio (poros)



En proporciones variables

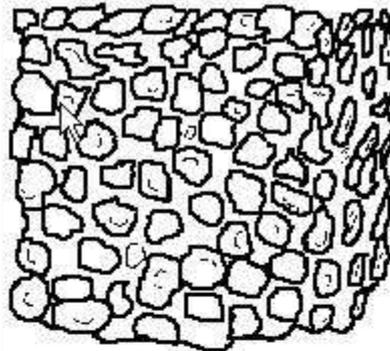


Solidos

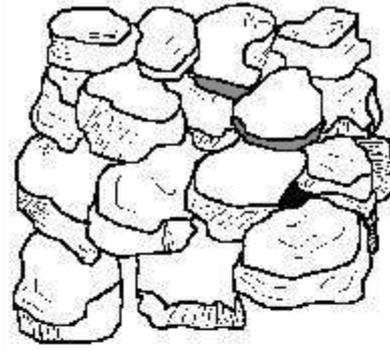
Meso - Estructura (suelo)

Los suelos se Encuentran en Estructuras de Agregados de tipo:

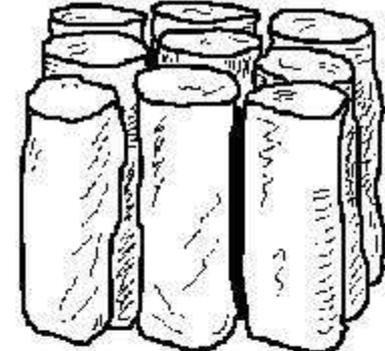
- Granular,
- Bloques,
- Prismática,
- Columnar
- Laminar,
- Gránulos (no agregado)



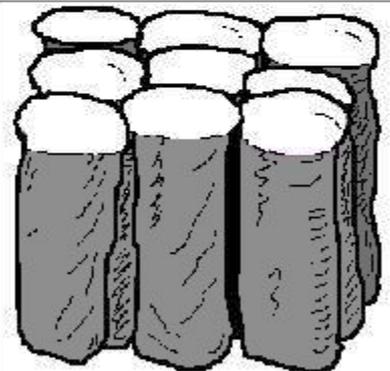
Granular: Resembles cookie crumbs and is usually less than 0.5 cm in diameter. Commonly found in surface horizons where roots have been growing.



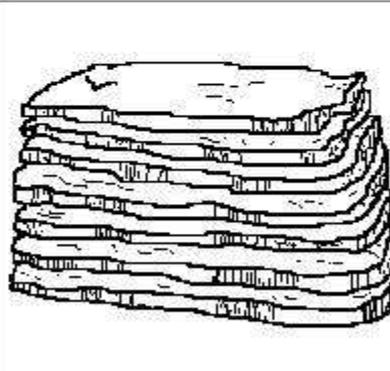
Blocky: Irregular blocks that are usually 1.5 - 5.0 cm in diameter.



Prismatic: Vertical columns of soil that might be a number of cm long. Usually found in lower horizons.



Columnar: Vertical columns of soil that have a salt "cap" at the top. Found in soils of arid climates.



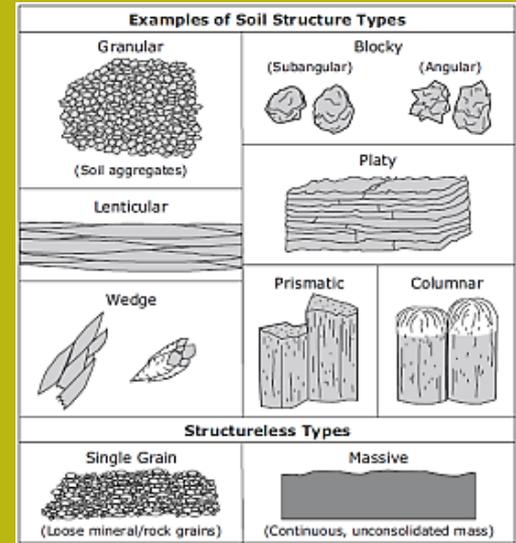
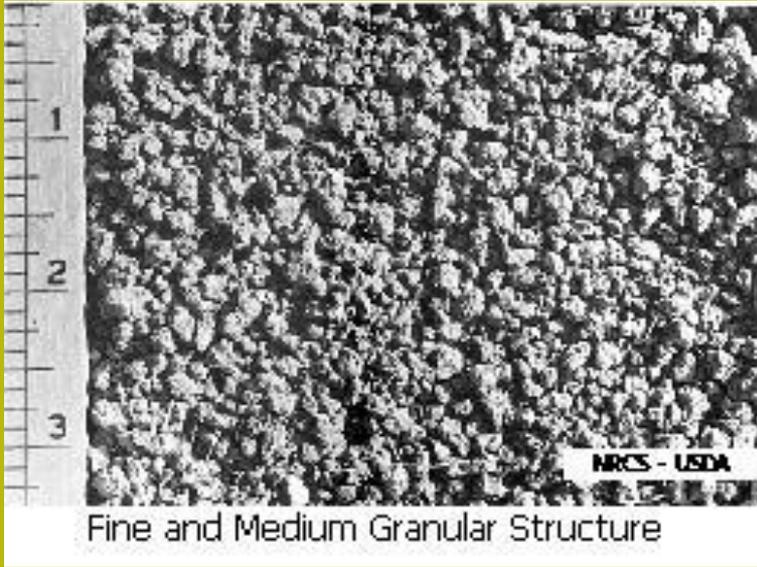
Platy: Thin, flat plates of soil that lie horizontally. Usually found in compacted soil.



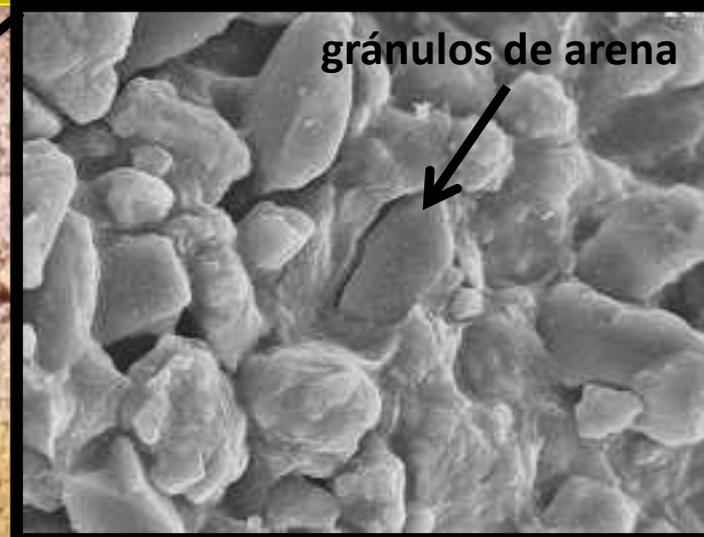
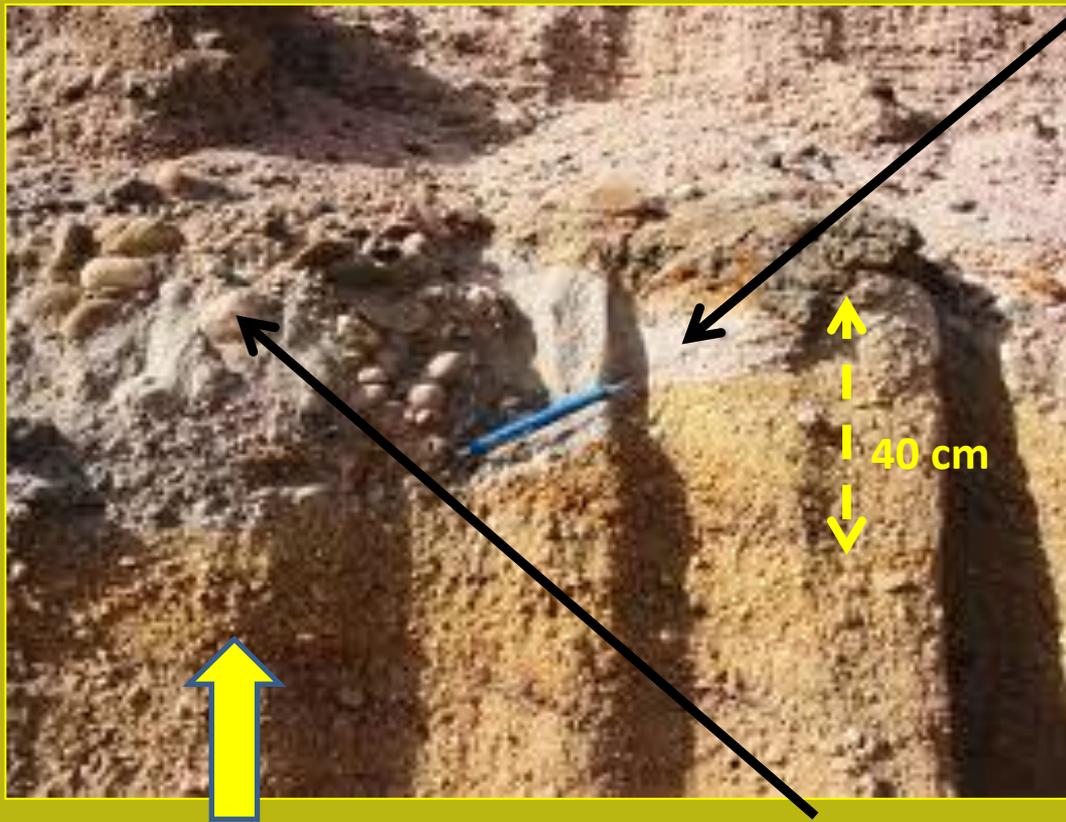
Single Grained: Soil is broken into individual particles that do not stick together. Always accompanies a loose consistence. Commonly found in sandy soils.

Soil Science Society of America

Meso-estructura suelo- 2: ejemplos.



Macro-Estructura del suelo -1



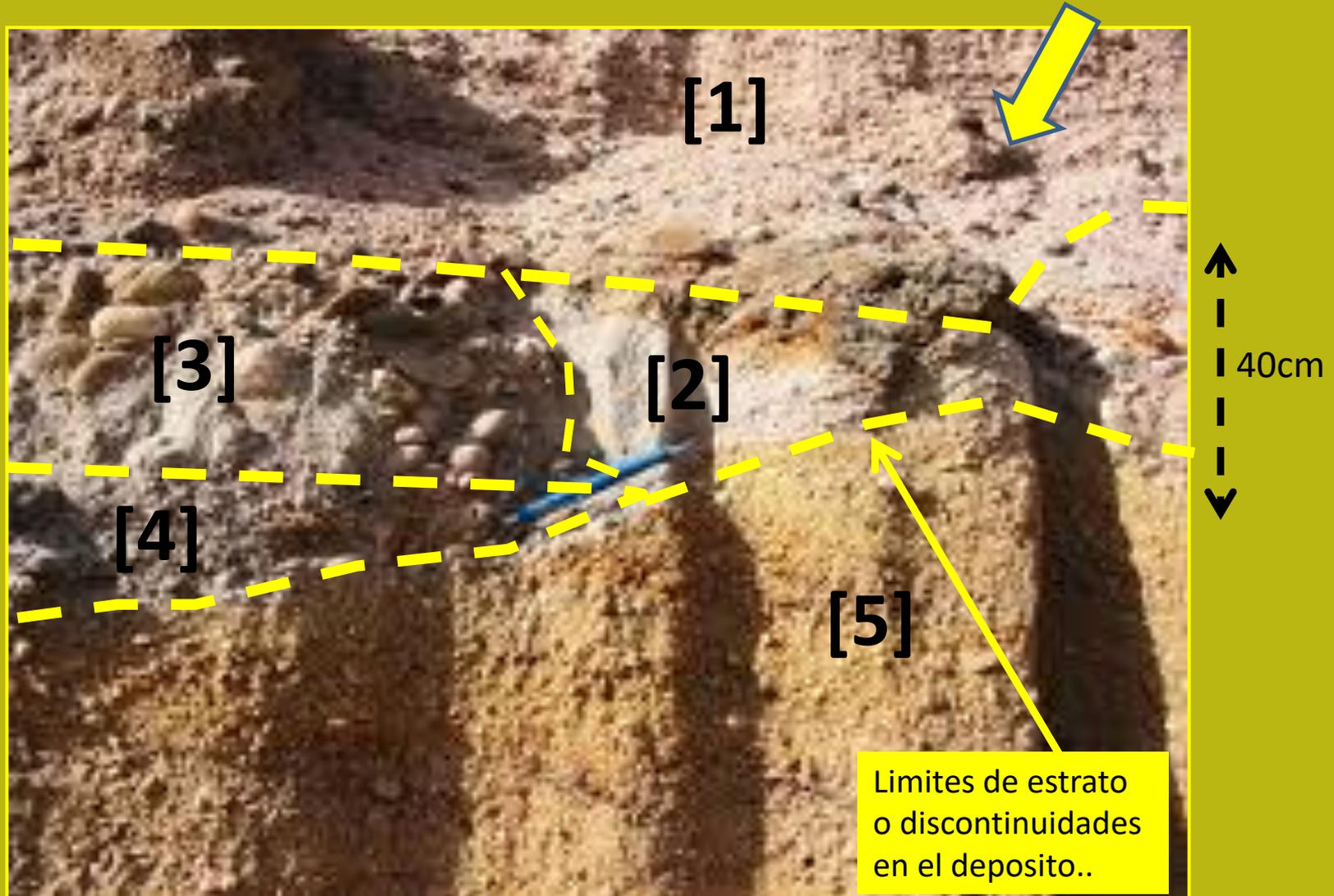
la estructura de los depósitos sedimentarios depende del proceso de sedimentación, energía, tipo de material y tamaño de clastos transportado y depositados.

Bloques en un nivel arenoso

Bloques entre arena y arcilla

Macro-Estructura del suelo - 2

La macro-estructura de un suelo es un conjunto de horizontes y estratos donde el material es relativamente homogéneo en punto de vista físico-mecánico



Conceptos básicos tratados hasta ahora....

- Rocas
- Deformación, fracturación y Macizos rocosos
- Proceso de alteración de las rocas y formación de suelos residuales
- Ciclo geológico
- Proceso de transporte sedimentación y Deposito sedimentarios
- Suelos, y su origen composición y estructura.

Sugerencia: controlen su apuntes y el material didáctico.. de el semestre precedente Curso de geología aplicada.. acerca de los concepto básico propedéuticos mostrado hasta aquí...

B) unidad de medición fundamentales en geotecnia

International System of Units
SI
le **S**ystème **I**nternational d'unités

Unidades básicas en geotecnia (según el Sistema Internacional)

Unidad fundamentales	Nombre	Simbolo
Masa [M]	<i>Kilogramo</i> = $10^3 g$	Kg
	<i>gramo</i>	g
	<i>Mega-gramo</i> = $10^6 g$	Mg
Tiempo [T]	<i>segundo</i>	s
Longitud [L]	<i>Metro</i>	m
	<i>Centímetro</i> = $10^{-2} m$	cm
Area [L ²]	<i>Metro cuadrado</i>	m²
	<i>Centímetro cuadrado</i>	cm²
Volumen [L ³]	<i>Metro cubico</i>	m³
	<i>Centímetro cubico</i>	cm³

http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_Internacional_de_Unidades

Unidades derivadas en geotecnia (según el Sistema Internacional)

Unidad	Nombre	Simbolo
Fuerza [M L T ⁻²]	<i>Newton</i>	N
	<i>Kilonewton = 10³ N</i>	kN
	<i>Meganewton = 10⁶ N</i>	MN
Presion	<i>Pascal = 1 N/m²</i>	Pa
	<i>kiloPascal = 10³ Pa</i>	kPa
	<i>Megapascal = 10⁶ Pa</i>	MPa
Densidad [M L ⁻³]	<i>Gramos por centímetro cubico</i>	g/cm³
	<i>Megagramos por metro cubico</i>	Mg/m³
Peso unitario (fuerza peso por unidad de volumen)	<i>kiloNewton por metro cubico</i>	kN/m³

http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_Internacional_de_Unidades

Prefijos y sufijos para unidades de Medición

Name	Symbol	Factor
Nano	n	$0.000000001 = 10^{-9}$
Micro	μ	$0.000001 = 10^{-6}$
Milli	m	$0.001 = 10^{-3}$
Centi	c	$0.01 = 10^{-2}$
Deci	d	$0.1 = 10^{-1}$
—	—	1
Deca	da	10
Hecto	h	$100 = 10^2$
Kilo	k	$1,000 = 10^3$
Mega	M	$1,000,000 = 10^6$
Giga	G	$1,000,000,000 = 10^9$

Pro ejemplo se usa mucho en mecánica de las rocas : la presión expresada en **MPa** (MegaPascal)...

Ejemplos de Unidades híbridas

Fuerza y PRESION: muchas veces se expresa la presión como una fuerza equivalente a una cierta masa (kg, Mg o Toneladas (T)) que esta arriba de una superficie. Por ejemplo 1.5 kg/cm^2 , ó sea 1.5 kg por arriba de un centímetro cuadrado de superficie.

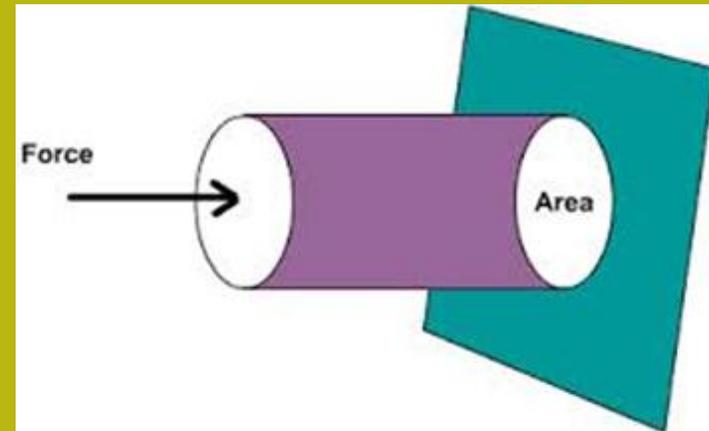
Pero esta manera de expresar la presión no es al 100% correcta. Porque la masa no es una fuerza.. Pero se encuentran mucha veces en textos viejos de geotecnia esta formas ibria para expresar fuerza o la presión:

Fuerza : T (toneladas) , Mg (Megagramos) **nota:** [1Mg = 1T]

Presión : Mg/m² o T/m²

Es siempre mejor expresar las unidades según es sistema internacional para evitare errores graves cuando se hacen los cálculos.....

Si se encuentran unidades híbridas es conveniente siempre hacer las conversión en unidades Internacionales (SI) ante de hacer los cálculos !!!



Unidades básicas y híbridas: conversión

PRESION: si tenemos una presión equivalente a 1.5 kg/cm^2 cual es la presión Equivalente, y correcta, en **kPa** (kilopascal)?

Ejemplo:

$1 \text{ kg/cm}^2 = 98.1 \text{ kPa}$ (**98.1** es el factor de conversión)

Respuesta: $1.5 \text{ kg/cm}^2 = \underline{98.1} \times 1.5 = 147.5 \text{ kPa}$

Y cual es el equivalente en MPa (Megapascal) ?

Respuesta: $147.5 \text{ kPa} / 1000 = \mathbf{0.1475 \text{ MPa}}$



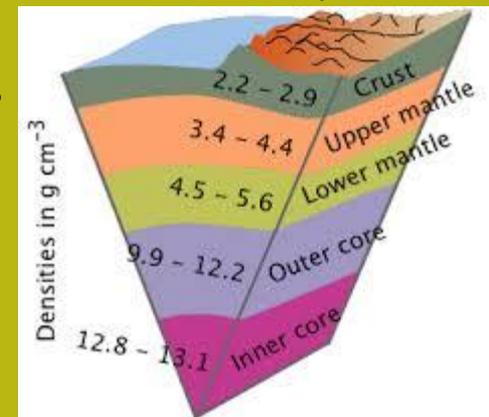
DENSIDAD : si tenemos una densidad de 1.8 Mg/m^3 ..
Cual es la densidad en g/cm^3 y el peso unitario en kN/m^3

Respuesta:

$1.8 \text{ Mg/m}^3 = \underline{1.8} \text{ g/cm}^3$ (densidad)

$1.8 \text{ g/cm}^3 = \underline{9.81} * 1.8 = \underline{17.66} \text{ kN/m}^3$ (peso unitario)

Densidad de la varias capas de la tierra



Conversion da English Units to SI Units (en geomecnica)

En textos y reporte de Geotecnia y mecánica de rocas en Ingles y de área anglófona todavía se puede encontrar el uso de las Unidad de medición que non siguen el Sistema métrico Internacional (SI). Por eso son reportadas aquí algunas tabla que facilitan la conversión de uno al otro sistema.



SI CONVERSION FACTORS				
APPROXIMATE CONVERSIONS FROM SI UNITS				
Symbol	When You Know	Multiply By **	To Find	Symbol
LENGTH				
mm	millimeters	0.039	inches	in
m	meters	3.28	feet	ft
m	meters	1.09	yards	yd
km	kilometers	0.621	miles	mi
AREA				
mm ²	square millimeters	0.0015	square inches	in ²
m ²	square meters	10.758	square feet	ft ²
m ²	square meters	1.188	square yards	yd ²
ha	hectares	2.47	acres	ac
km ²	square kilometers	0.386	square miles	mi ²
VOLUME				
ml	milliliters	0.034	fluid ounces	fl oz
l	liters	0.264	gallons	gal
m ³	cubic meters	35.29	cubic feet	ft ³
m ³	cubic meters	1.295	cubic yards	yd ³
MASS				
g	grams	0.035	ounces	oz
kg	kilograms	2.205	pounds	lb
tonnes	tonnes	1.103	US short tons	tons
TEMPERATURE				
°C	Celsius	1.8°C + 32	Fahrenheit	°F
WEIGHT DENSITY				
kN/m ³	kilonewtons / cubic meter	6.36	Pound force / cubic foot	pcf
FORCE and PRESSURE or STRESS				
N	newtons	0.225	pound force	lbf
kN	kilonewtons	225	pound force	lbf
kPa	kilopascals	0.145	pound force / square inch	psi
kPa	kilopascals	20.88	pound force / square foot	psf
PERMEABILITY (VELOCITY)				
cm/sec	centimeter/second	1.9685	feet/minute	ft/min

** Atención esta tabla puede ser usada por la conversión da US units a SI units dividiendo la cantidad en US unit por el coeficiente en la columna central

http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_Internacional_de_Unidades

Conversion da English Units to SI Units (en geomecanica)

A copy of the SI (Modern Metric) Conversion Factors table may be found at:
<http://www.fhwa.dot.gov/publications/convtabl.cfm>

CONVERSION FACTORS

Approximate Conversions to SI Units			Approximate Conversions from SI Units		
When you know	Multiply by	To find	When you know	Multiply by	To find
(a) Length					
inch	25.4	millimeter	millimeter	0.039	inch
foot	0.305	meter	meter	3.28	foot
yard	0.914	meter	meter	1.09	yard
mile	1.61	kilometer	kilometer	0.621	mile
(b) Area					
square inches	645.2	square millimeters	square millimeters	0.0016	square inches
square feet	0.093	square meters	square meters	10.764	square feet
acres	0.405	hectares	hectares	2.47	acres
square miles	2.59	square kilometers	square kilometers	0.386	square miles
(c) Volume					
fluid ounces	29.57	milliliters	milliliters	0.034	fluid ounces
gallons	3.785	liters	liters	0.264	gallons
cubic feet	0.028	cubic meters	cubic meters	35.32	cubic feet
cubic yards	0.765	cubic meters	cubic meters	1.308	cubic yards
(d) Mass					
ounces	28.35	grams	grams	0.035	ounces
pounds	0.454	kilograms	kilograms	2.205	pounds
short tons (2000 lb)	0.907	megagrams (tonne)	megagrams (tonne)	1.102	short tons (2000 lb)
(e) Force					
pound	4.448	Newton	Newton	0.2248	pound
(f) Pressure, Stress, Modulus of Elasticity					
pounds per square foot	47.88	Pascals	Pascals	0.021	pounds per square foot
pounds per square inch	6.895	kiloPascals	kiloPascals	0.145	pounds per square inch
(g) Density					
pounds per cubic foot	16.019	kilograms per cubic meter	kilograms per cubic meter	0.0624	pounds per cubic foot
(h) Temperature					
Fahrenheit temperature(°F)	5/9(°F- 32)	Celsius temperature(°C)	Celsius temperature(°C)	9/5(°C)+ 32	Fahrenheit temperature(°F)

- Notes: 1) The primary metric (SI) units used in civil engineering are meter (m), kilogram (kg), second(s), newton (N) and pascal (Pa=N/m²).
 2) In a "soft" conversion, an English measurement is mathematically converted to its exact metric equivalent.
 3) In a "hard" conversion, a new rounded metric number is created that is convenient to work with and remember.

http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_Internacional_de_Unidades

Unidades básicas: tarea de grupo da desarrollar

- A) Buscar en internet una buena tabla de factores de conversión entra las unidades básicas. (así que la vamos poner entro el material didáctico)
- B) Desarrollar uno ejemplo de conversión arriba de la unidad de Fuerzas y volumen..

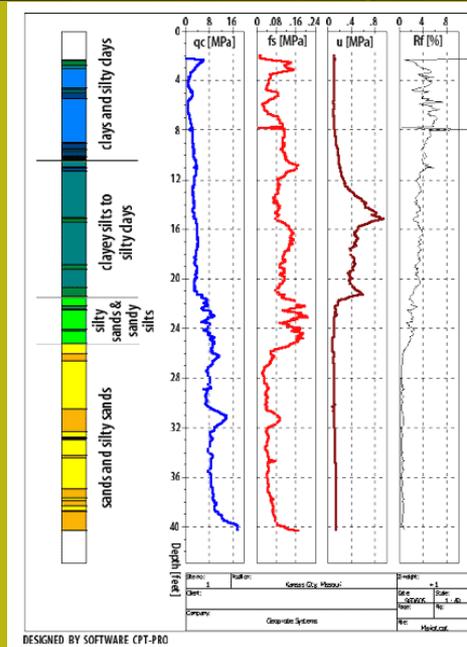
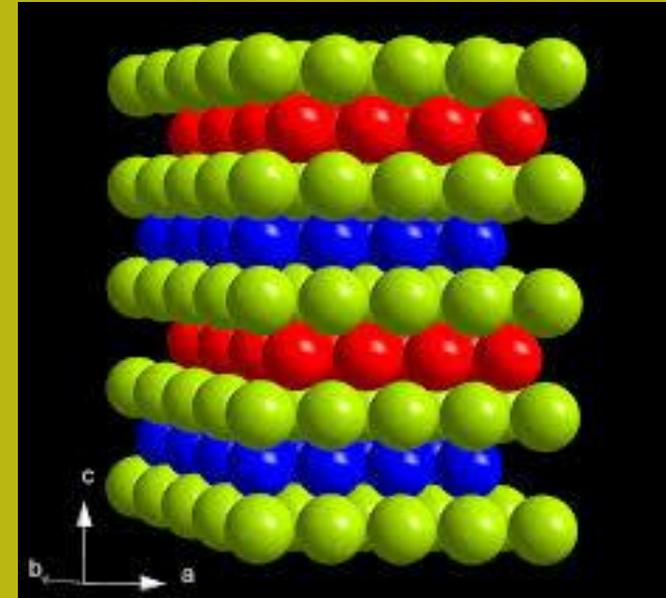
Por Ejemplo: *convertir fuerza en Toneladas (T) o Mg (ósea una fuerza equivalente en masa) hasta kN (fuerza con unidades propia en Newton (N) o su múltiplos..)*

Ej. 150 (Mg) cual es el equivalente en kN ? Y qual en N ?

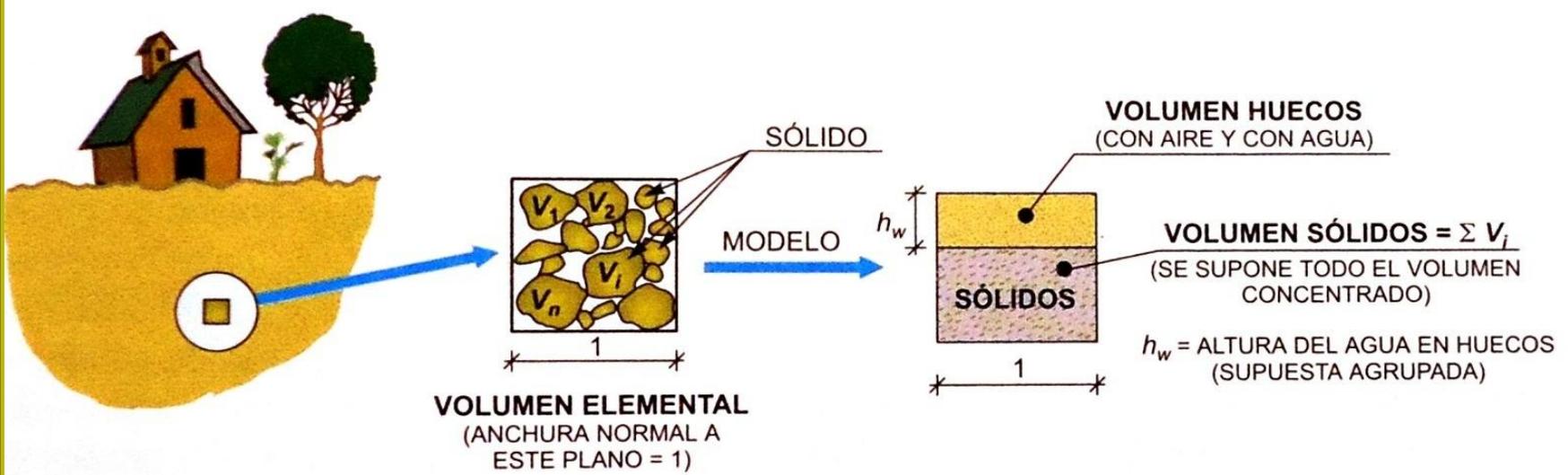
Referencias en internet:

http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_Internacional_de_Unidades

C) Propiedades físicas de los geomateriales

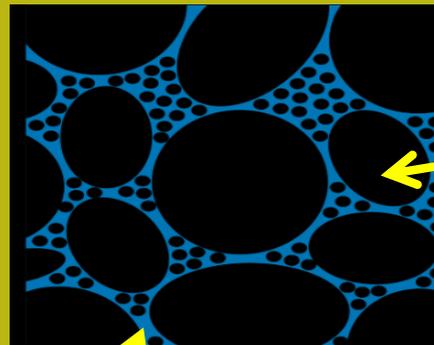


Geomateriales como medios porosos -1



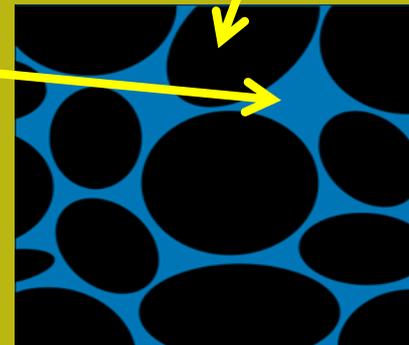
Los Geomateriales son medios Porosos.

Ósea un conjunto de una porción de huecos (poros) circundados da Porciones solidas



Solido (color negro)

Agua,aire (color azul)



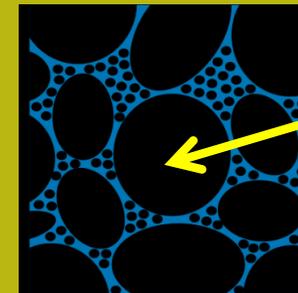
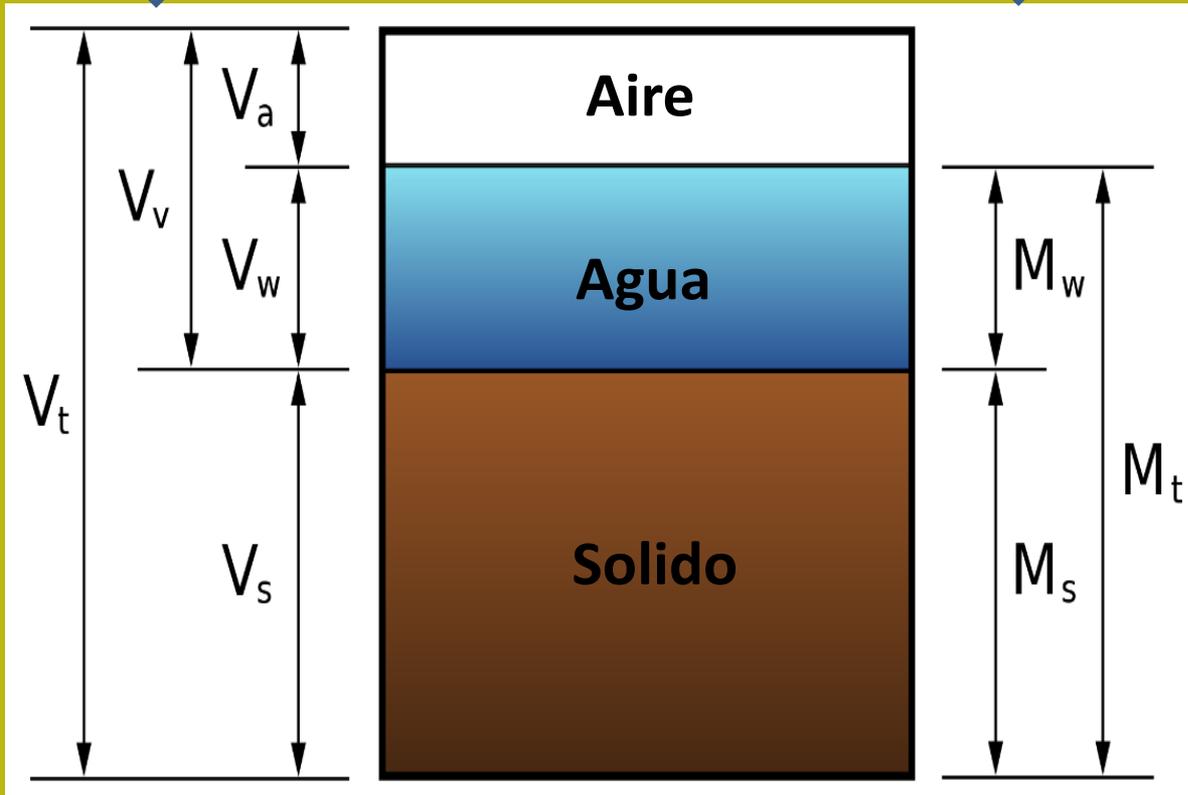
Geomateriales como medios porosos – 2

Fracciones medidas como Volumen

Fracciones medidas como Masa

V_s =volumen solido
 V_v =volumen huecos
 V_w =volumen agua
 V_a =Volumen aire
 V_t =volumen total

M_s =masa solido
 M_w =masa agua
 M_t =masa Total



Sólido
(color negro)



Agua, aire
(color azul)

Diagramma de fase en un medio poroso

Porosidad (ϕ) o fracción de vacío. Es una medida del espacios vacíos en un material, y es una fracción del volumen de huecos en el volumen total y se describe como fracción, variable entre 0.0-1.0, o como un porcentaje entre 0-100% .

La porosidad (ϕ) de un medio poroso (como roca o sedimento), describe la fracción de espacio vacío en la materia, donde el vacío puede contener, por ejemplo, aire o agua. Se define entonces por la relación:

$$\phi = \frac{V_v}{V_T}$$

donde V_v es el volumen del vacío total en el espacio (como líquidos y aire) y V_T es el volumen total del material (incluye todos los componentes: sólido y vacío).

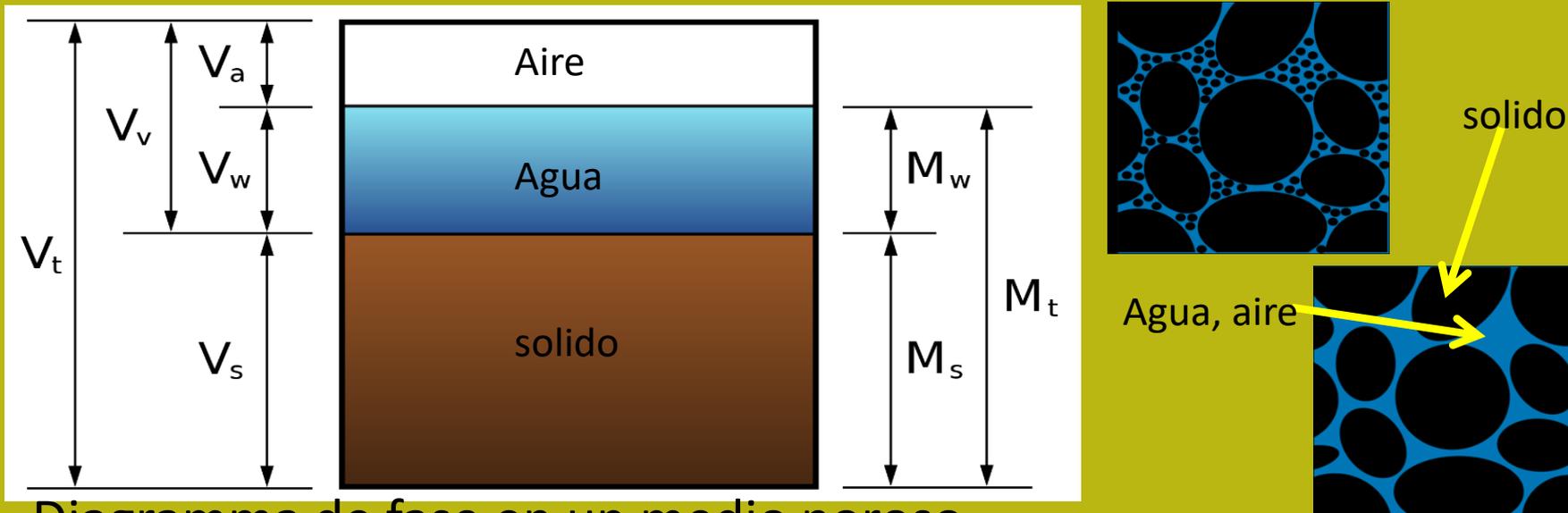


Diagramma de fase en un medio poroso

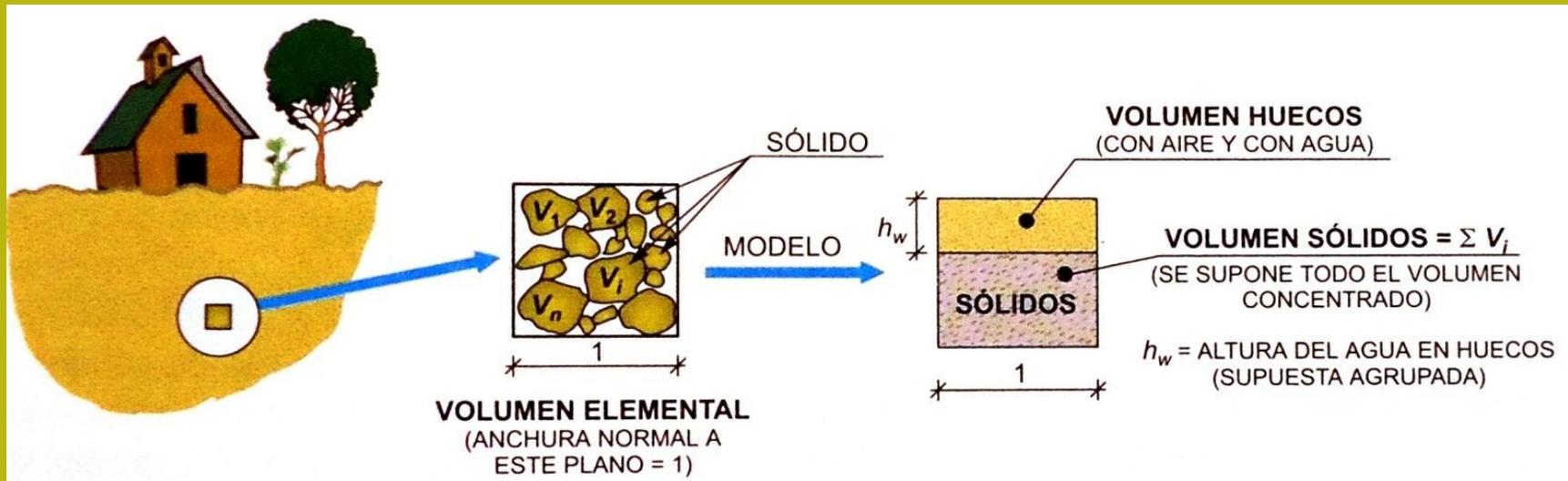
Índice de vacíos y porosidad

El **Índice de vacíos**, en ciencia de materiales, está **relacionada con la porosidad** y se define con la relación:

$$e = \frac{V_V}{V_S} = \frac{V_V}{V_T - V_V} = \frac{\phi}{1 - \phi}$$

donde: **e** es índice de vacíos, **φ** es la porosidad, la **V_v** es el volumen del vacío del espacio, **V_s** es el volumen de los sólidos, y **V_T** es el volumen total.

$$\phi = \frac{V_V}{V_T} = \frac{V_V}{V_S + V_V} = \frac{e}{1 + e}$$



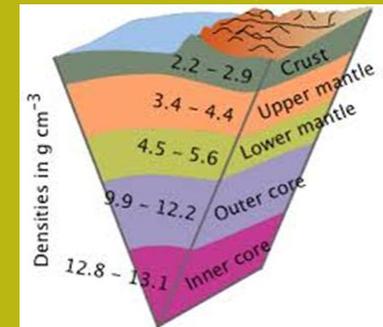
Propiedades físicas de lo geomateriales-2

La densidad es el masa por unidad de volumen de un material. El símbolo de la densidad es ρ (*rho* letra griega).

$$\rho = \frac{M}{V} = [ML^{-3}] \quad (\text{g/cm}^3 \text{ o } \text{Mg/m}^3)$$

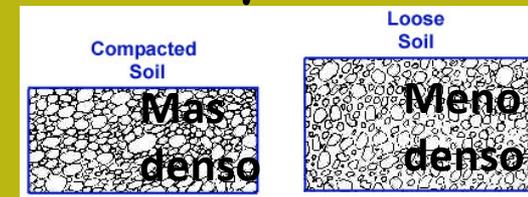
por ejemplo la agua dulce a 5 ° tiene densidad acerca de 1.0 g/cm³)

Densidad de la varias capas de la tierra



Pero en geotecnia se usa preferiblemente la definición de Peso unitario γ .

$$\gamma = \rho g = \rho \times 9.81 \quad (\text{kN/m}^3)$$



γ entonces es el peso unitario (fuerza peso por unidad de volumen, (en kN/m³), ρ es la densidad del material (Mg/m³), g es la aceleración de la gravedad en la tierra (la tasa de cambio de velocidad de un cuerpo en caída libre, en m/s²) que es 9.8067 m/s² (y en geotecnia se aproxima a **9.81**).

La constante 9.81 se usa para la conversión directa da peso especifico (densidad) al Correspondiente valor de peso unitario.

El peso unitario de el agua γ_w es entonces: **9.81 kN/m³**

Propiedades físicas de los geomateriales

Tabla con valores de
Densidad y peso unitario
de geomateriales

Material	Densidad (g/cm ³)	Peso unitario (kN/m ³)
Aire	~0	~0
Agua	1	9.81
Sedimentos	1.7-2.3	16.5-22.5
Arenisca	2.0-2.6	19.5-25.5
Esquisto	2.0-2.5	19.5-24.5
Caliza	2.5-2.8	24.5-27.5
Granito	2.5-2.8	24.5-27.5
Basalto	2.7-3.1	26.5-30
Rocas Metamorfica	2.6-3.0	25.5-30

Propiedades físicas de los geomateriales

Tabla con valores de peso unitario de geomateriales

Agregados de fragmentos de rocas

Arena y grava

Arena

Suelos argilosos cohesivos

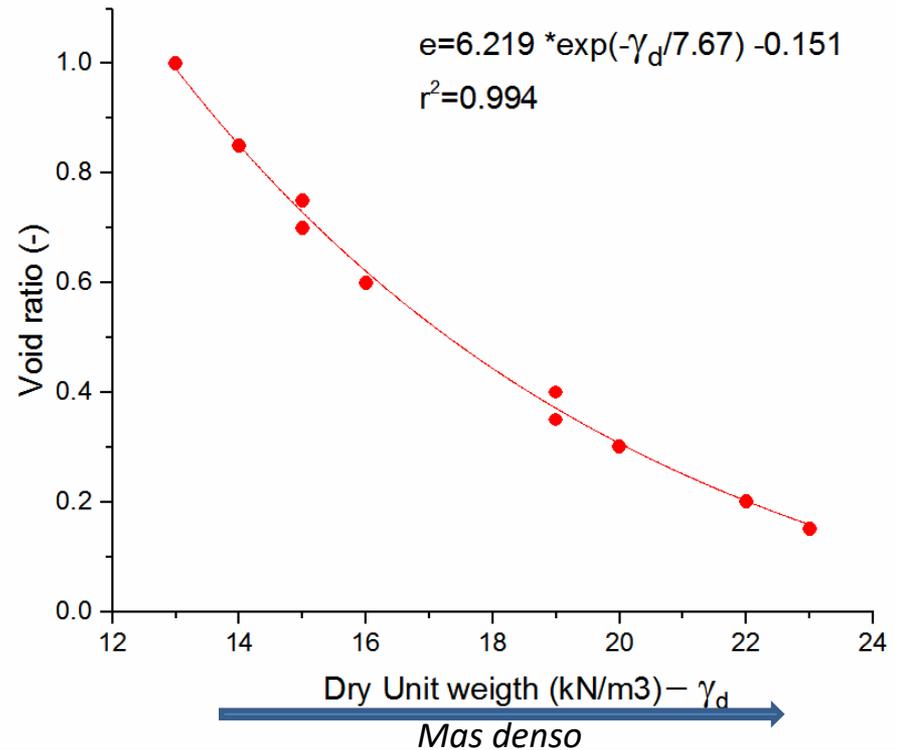
<i>Type</i>	<i>Soil description</i>	<i>Unit weight range (kN/m³)</i>	
		<i>Dry</i>	<i>Saturated</i>
<i>Cohesionless</i> Compacted broken rock	Soft sedimentary (chalk, shale, siltstone, coal)	12	18
	Hard sedimentary (Conglomerate, sandstone)	14	19
	Metamorphic	18	20
	Igneous	17	21
<i>Cohesionless</i> Sands and gravels	Very loose	14	17
	Loose	15	18
	Medium dense	17	20
	Dense	19	21
	Very dense	21	22
<i>Cohesionless</i> Sands	Loose – Uniformly graded	14	17
	Loose – Well graded	16	19
	Dense – Uniformly graded	18	20
	Dense – Well graded	19	21
<i>Cohesive</i>	Soft – organic	8	14
	Soft – non organic	12	16
	Stiff	16	18
	Hard	18	20

Table 3.2 Typical ranges of void ratio and dry unit weight of coarse grained soil (Adopted from Das 1985)

Soil type	Void ratio e		Dry unit weight γ_d (kN/m ³)	
	Maximum	Minimum	Minimum	Maximum
Gravel	0.6	0.3	16	20
Coarse sand	0.75	0.35	15	19
Fine sand	0.85	0.4	14	19
Gravelly sand	0.7	0.2	15	22
Silty sand	1	0.4	13	19
Silty sand and gravel	0.85	0.15	14	23

Tabla con índices de vacío de suelos

Se nota como a los geomateriales con Índice de vacío mas baja corresponde una densidad mas alta ... esto es confirmado Da una simple correlación estadística altamente significativa



Contenido de agua $W\%$, volumétrico θ , y el grado de saturación S

Contenido gravimétrico $w\%$ de agua se expresa en % de masa en la siguiente manera:

$$w(\%) = \frac{M_w}{M_s} \times 100$$

donde M_w es la masa de agua y M_s es la masa del solido.

Contenido volumétrico de agua, θ , se define matemáticamente como:
(nota bien: expresado como fracción m^3/m^3 es ADIMENSIONAL , y multiplicado por 100 se expresa como %)

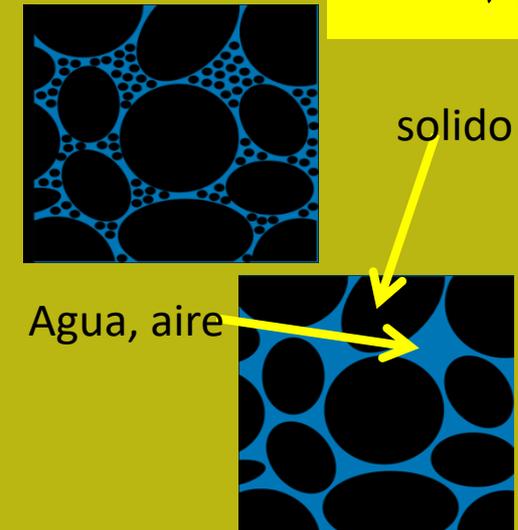
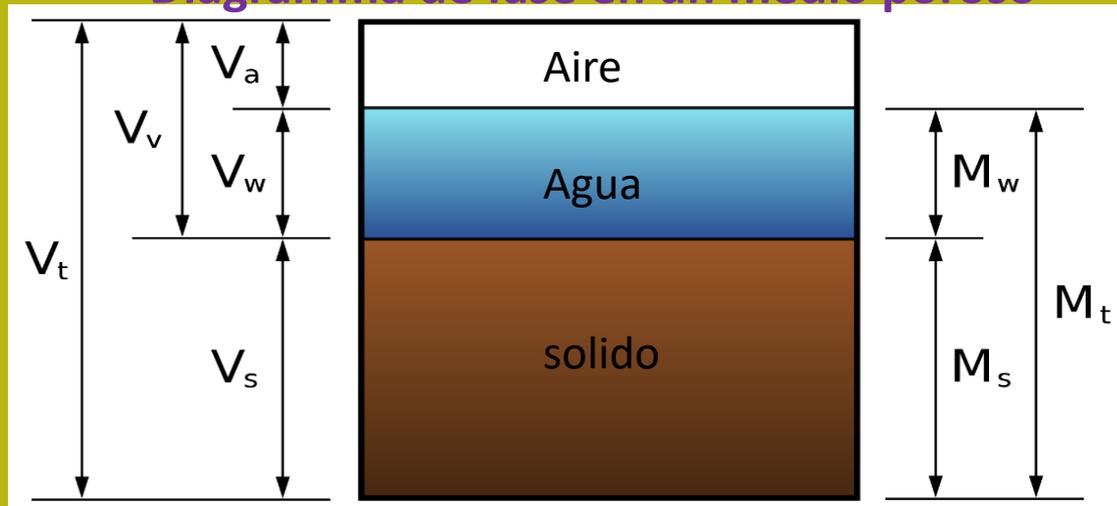
$$\theta = \frac{V_w}{V_T}$$

donde V_w es el volumen de agua y $V_T = V_s + V_v = V_s + V_w + V_a$ es el volumen total (es decir el volumen de suelo + agua + volumen de espacio aéreo).

Asi mismo el **grado de saturación S** se define como:

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

Diagramma de fase en un medio poroso



Densidad relativa

la **densidad relativa** es un parámetro especial que se utiliza para los suelos arenosos y de grava (grana gruesa) y se define como:

$$Dr(\%) = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \times 100$$



Definición índice de vacíos

$$e = \frac{V_V}{V_S} = \frac{V_V}{V_T - V_V}$$

donde e es el índice de vacíos a lo estado natural, e_{\max} es la condición que corresponde a la densificación mínimo y el otro e_{\min} a la condición de máxima compactación. Estos valores se miden con un test específico (ASTM D4253 y D4354). La densidad relativa varía en la práctica de un mínimo de 10% a un máximo de 90 a 95%.

TABLE 4.4 CONSISTENCY OF COARSE-GRAINED SOILS
VARIOUS RELATIVE DENSITIES (Lambe and Whitman, 1969;
Adapted by permission of John Wiley and Sons, Inc.)^a

Relative Density, D_r (%)	Classification
0 - 15	Very loose
15 - 35	Loose
35 - 65	Medium dense ^b
65 - 85	Dense
85 - 100	Very dense



**Densidad
creciente**

tabla con valore de densidad y porosidad de suelos

Peso unitario !!!

Propiedades de estado de suelos de grano grueso

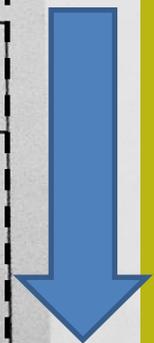
Suelos de grano grueso	Densidad relativa D_r (%)	Densidad seca γ_d (kN/m^3)	Humedad W (%)	Índice de huecos e
Muy flojos	0-40	< 14,0	> 16	> 0,9
Flojos	40-60	14,0-16,0	12-16	0,65-0,9
Medianamente densos	60-80	16,0-17,5	8-12	0,55-0,65
Densos	80-90	17,5-18,5	6-8	0,4-0,55
Muy densos	90-100	> 18,5	< 6	< 0,4



Densidad creciente

Propiedades de estado de suelos finos

Suelos finos	Índice de fluidez, I_L	Densidad seca γ_d (kN/m^3)	Humedad W (%)	Índice de huecos e
Muy blandos	1,00-0,80	< 1,40	> 55	> 1,30
Blandos	0,80-0,65	1,40-1,55	40-55	1,0-1,3
Consistencia media	0,65-0,40	1,55-1,70	25-40	0,7-1,0
Duros	0,40-0,25	1,70-1,80	15-25	0,5-0,7
Muy duros	< 0,25	> 1,80	< 15	< 0,5



Densidad creciente

Gravedad específica, G_s

La **gravedad específica, G_s** , es la relación entre la **masa del sólido y la masa de una igual volumen de agua en un medio poroso.**

$$G_s = \frac{M_s}{V_s \rho_w} = \frac{\rho_s}{\rho_w}$$

donde:

G_s es la **gravedad específica** (adimensional)

M_s es la **masa de sólido**

V_s es el **volumen del sólido**

ρ_w **densidad agua**

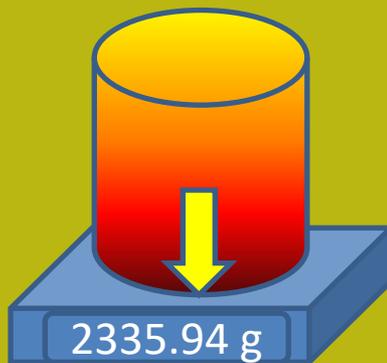
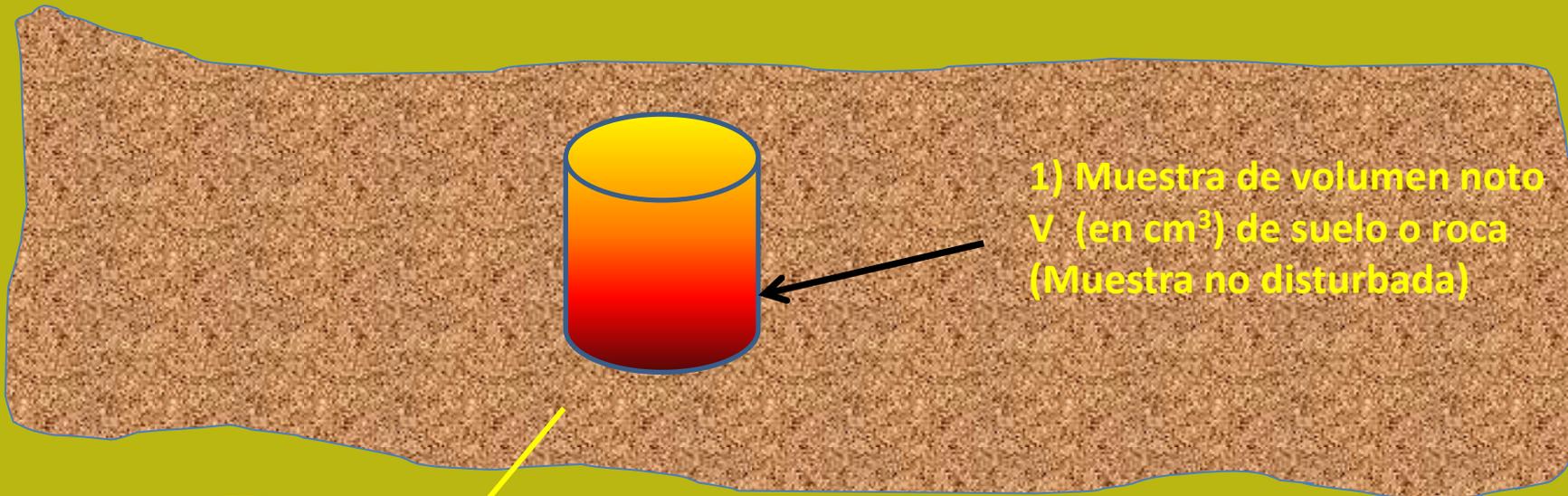
ρ_s **densidad del sólido**

*En la práctica G_s es también equivalente, **numéricamente**, a la densidad media de las partículas que componen el medio poroso (se excluye, entonces, la componente de vacíos)*



Mineral	G_s (-)
quarzo	2.65
calcita	2.71
olivina	3.5-4.5
Hematita	5.20
kaolinita	2.62-2.66

Como se mide la densidad y el peso unitario -1



2) Bascula de precisión
Para medir la masa
Total M (en gramos)

3) Calculo densidad y
peso unitario

$$\rho = \frac{M}{V} \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

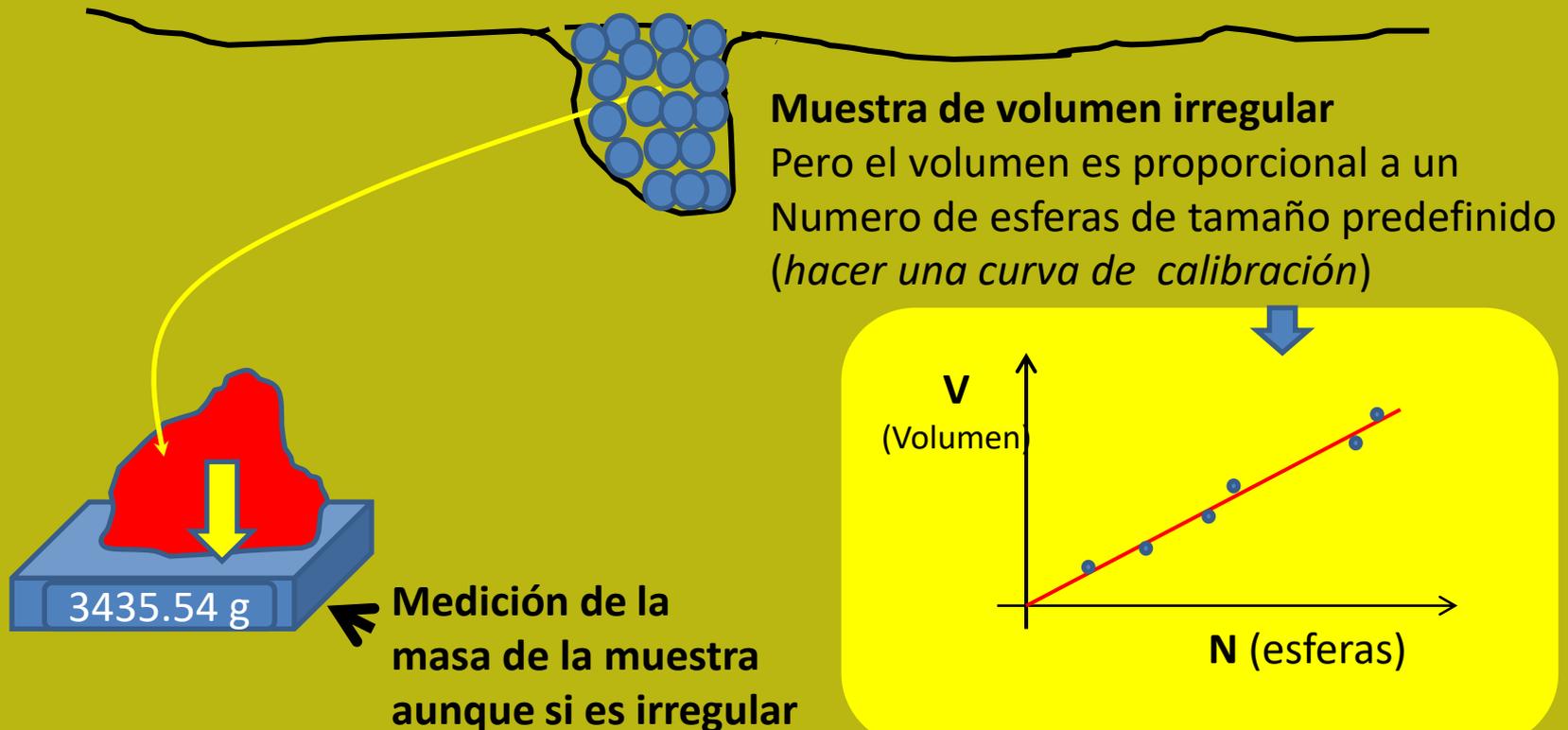
$$\gamma = \rho \times 9.81 \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

Como se mide densidad y peso unitario - 2

Condiciones particulares :

1) Dificultades al sacar una muestra de volumen noto:

existen técnicas particulares para sacar muestras de cualquier volumen e medir el volumen real de la muestra...



Como se mide el contenido de humedad natural

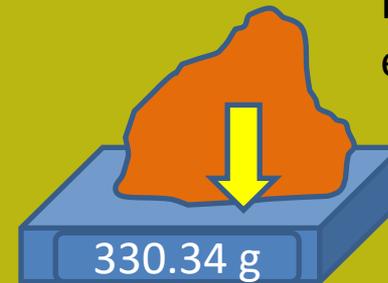
$$w(\%) = \frac{M_w}{M_s} \times 100$$

Muestra a Humedad natural



24 horas a 105°C

Muestra Secada en horno a 105°



$$w\% = \frac{M_w}{M_s} = \frac{(\text{Masa natural} - \text{Masa seca})}{\text{Masa seca}} \times 100$$

Entonces:

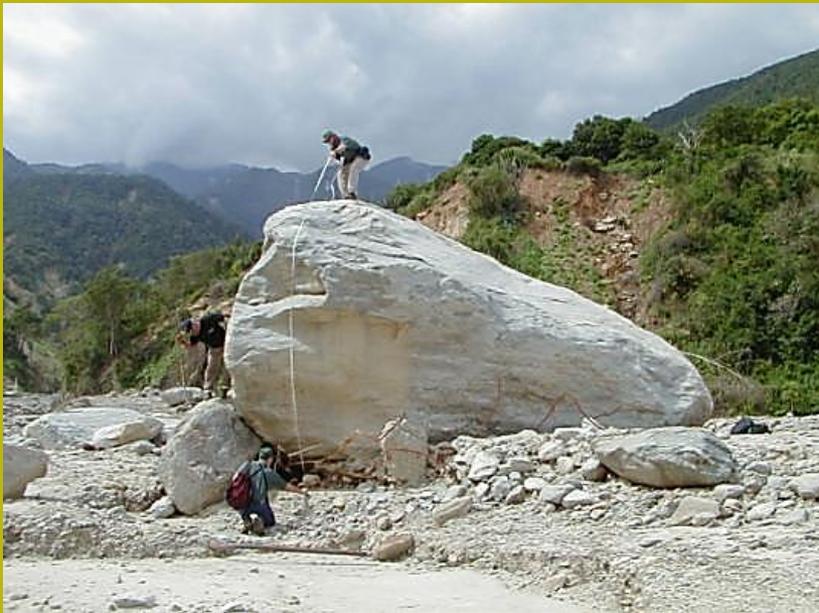
$$w\% = \frac{435.54 - 330.34}{330.34} \times 100 = \frac{105.2}{330.34} \times 100 = 31.83\%$$

Tabla con peso unitario de suelo en condición saturada e no saturada de agua

TABLE 4.1 TYPICAL UNIT WEIGHTS.

Soil Type and Unified Soil Classification	Typical Unit Weight, γ	
	Non saturado	saturado
	(kN/m ³)	(kN/m ³)
GP — Poorly graded gravel	17.5 - 20.5	19.5 - 22.0
GW — Well graded gravel	17.5 - 22.0	19.5 - 23.5
GM — Silty gravel	16.0 - 20.5	19.5 - 22.0
GC — Clayey gravel	16.0 - 20.5	19.5 - 22.0
SP — Poorly graded sand	15.0 - 19.5	19.0 - 21.0
SW — Well graded sand	15.0 - 21.0	19.0 - 23.0
SM — Silty sand	12.5 - 21.0	17.5 - 22.0
SC — Clayey sand	13.5 - 20.5	17.5 - 21.0
ML — Low plasticity silt	11.5 - 17.5	12.5 - 20.5
MH — High plasticity silt	11.5 - 17.5	11.5 - 20.5
CL — Low plasticity clay	12.5 - 17.5	11.5 - 20.5
CH — High plasticity clay	12.5 - 17.5	11.0 - 19.5

Distribución granulométrica (suelos y rocas)



Como se describe cuantitativamente el tamaño de las partículas que componen un deposito natural de sedimento o suelo ?



Distribución granulométrica (suelos) en geotecnia

Sistema USCS- estandarizado como la norma ASTM D 2487-93



Distribución granulométrica (suelos) en geotecnia

Comparación entre diferentes sistemas de clasificación.

USCS →

ASTM →

Classification System	Grain Size (mm)					
	100	10	1	0.1	0.01	0.001
Unified	Cobbles	Gravel	Sand	Fines (silt and clay)		
	75	4.75	.075			
AASHTO	Cobbles	Gravel	Sand	Silt	Clay	
	75	2	.05	.002		
MIT		Gravel	Sand	Silt	Clay	
		2	.06	.002		
ASTM		Gravel	Sand	Silt	Clay	
		4.75	.075	.002		
USDA	Cobbles	Gravel	Sand	Silt	Clay	
	75	2	.05	.002		

Nuestra referencia es el sistema Internacional USCS y ASTM , pero cuidado si a usted le piden de usar otro sistema como el AASTHO .. Hay varias diferencias ..
¿Usted la ve?

Distribución granulométrica (suelos)



Tamices de laboratorio para el análisis de la distribución de tamaño de grano. Muestra (de derecha a izquierda) son los números tamiz. 3/8-pulg. (9,5 mm), N ° 10 (2,0 mm), N ° 40 (250 micrón) y N ° 200 (75 micrón) y los tamaños de las partículas del suelo Incluyendo ejemplo (de derecha a izquierda): **grava medio, grava fina, medio-grueso de arena, limo, polvo de arcilla seca.**

La distribución de tamaño de grano de las partículas gruesas se obtiene a partir de un análisis de tamizado mecánico (AASHTO T 88, ASTM D 422). Una muestra representativa se lava a través de una serie de tamices. La cantidad recogida en cada tamiz, se secan, y se pesaron para determinar el porcentaje de material que pasa cada tamiz.

Tamices ASTM

U.S. standard mesh sieve sizes

sieve designation standard	sieve designation alternate "mesh"
125 mm	5
100 mm	4
75 mm	3
50 mm	2
25 mm	1
12.5 mm	1/2
6.3 mm	1/4
4.75 mm	No. 4
4 mm	No. 5
3.35 mm	No. 6
2.8 mm	No. 7
2.36 mm	No. 8

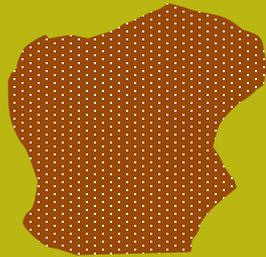
Da 125 a 2.38 mm

Rangos típicos para las categorías de tamaño las partículas del suelo de textura Varios son los siguientes (ASTM D 2487):



sieve designation standard	sieve designation alternate "mesh"
2 mm	No. 10
1.7 mm	No. 12
1.4 mm	No. 14
1.18 mm	No. 16
1 mm	No. 18
850 μm	No. 20
710 μm	No. 25
600 μm	No. 30
500 μm	No. 35
425 μm	No. 40
355 μm	No. 45
300 μm	No. 50
250 μm	No. 60
212 μm	No. 70
180 μm	No. 80
150 μm	No. 100
125 μm	No. 120
106 μm	No. 140
90 μm	No. 170
75 μm	No. 200
63 μm	No. 230
53 μm	No. 270
45 μm	No. 325
38 μm	No. 400
32 μm	No. 450
25 μm	No. 500
20 μm	No. 635

Distribución granulométrica (suelos)



Muestra de suelo
Seco desagregado
con masa total M_T (g)

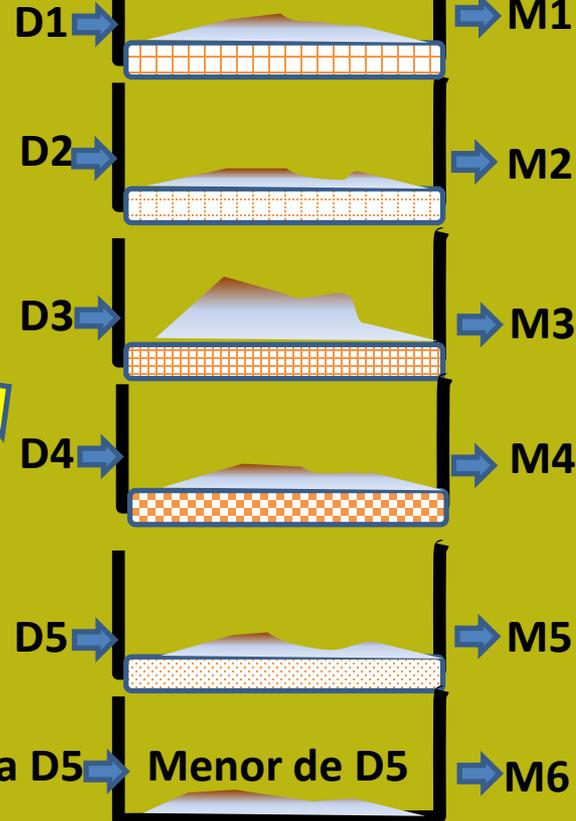


escala de tamices (en mm)

$D1 > D2 > D3 > D4 > D5$

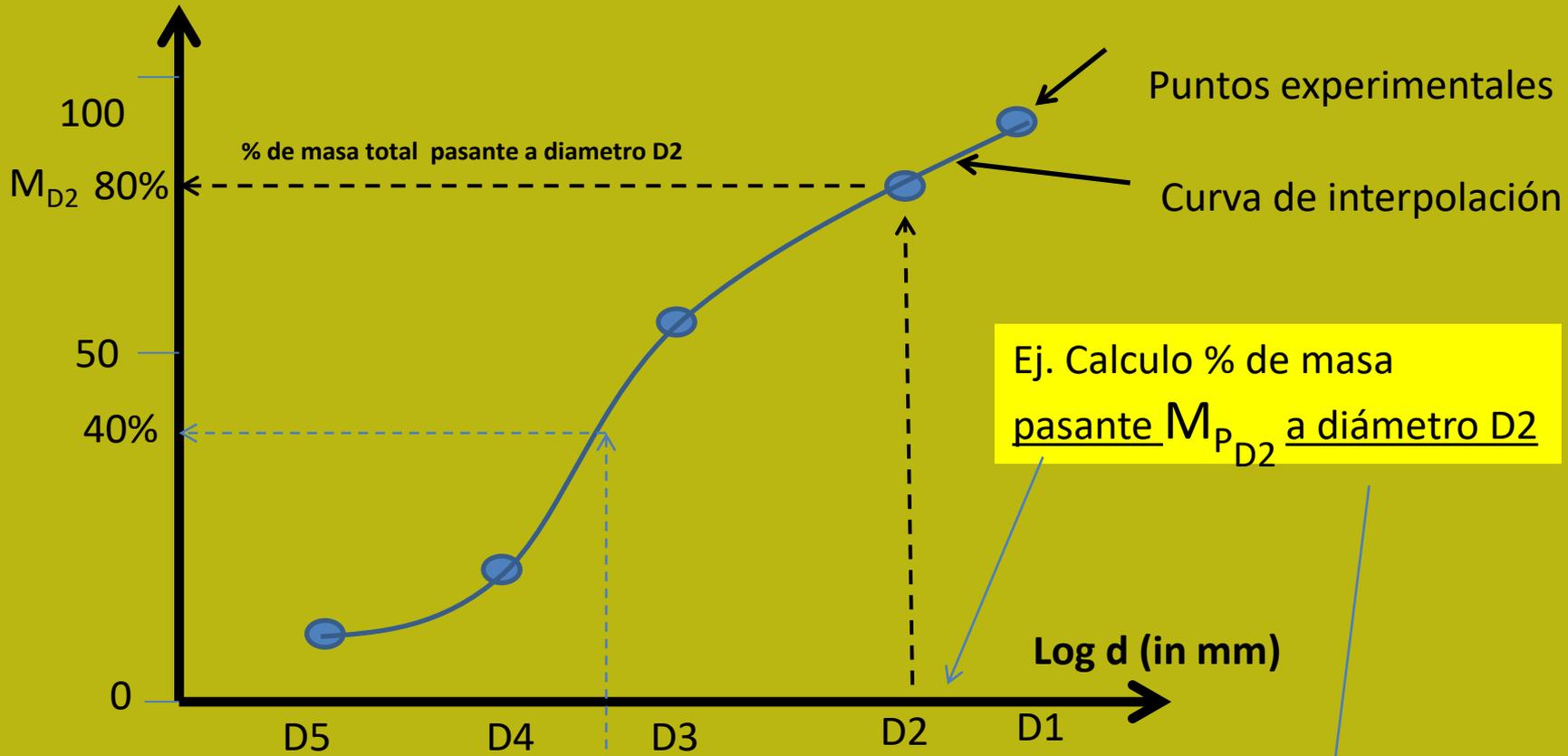
Diámetro
Malla
tamiz
(mm)

Medir la Masa retenida
En cada tamiz
(g)



Masa total: $M_T = M1 + M2 + M3 + M4 + M5 + M6$

Ejemplo: Masa pasante en D2 : $M_{PD2} = M_T - (M1 + M2)$



D_x (genérico diámetro que se puede Interpolarse en la curva y en la escala logarítmica)

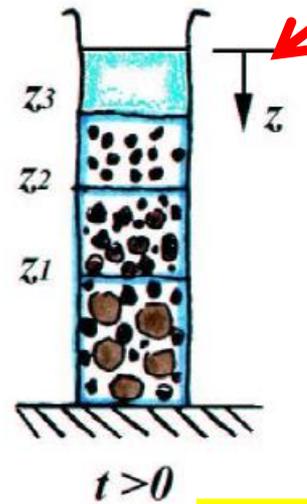
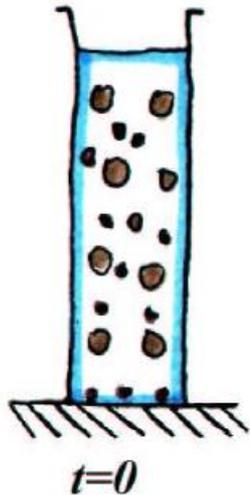
Formula general

$$\% M_{P_{D_i}} = \frac{M_T - \sum_{j=1}^i M_{D_j}}{M_T} \times 100$$

$$\% M_{P_{D2}} = \frac{M_T - (M_{D1} + M_{D2})}{M_T} \times 100$$

Distribución granulométrica (suelos)

La distribución de tamaño de grano de las partículas finas se determina a partir de un análisis de hidrómetro (AASHTO T 88, ASTM D 422). Suelo más finos de 0,075 mm (en el tamiz o N^o 200) se mezcla con agua destilada y dispersante y se coloca en un cilindro especial.



el hundimiento de las partículas procede de acuerdo con la ley de Stokes

$$v = Bd^2$$

donde :

v velocidad (mm/s)

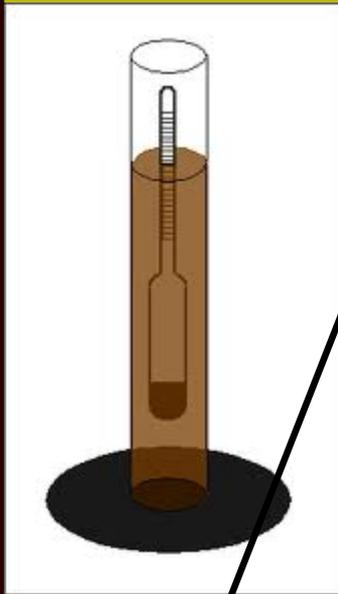
B constante que depende de la viscosidad del fluido

d diametro partícula (mm)

Las partículas mas gruesa son la mas rápidas a hundirse



Distribución granulométrica (suelos)



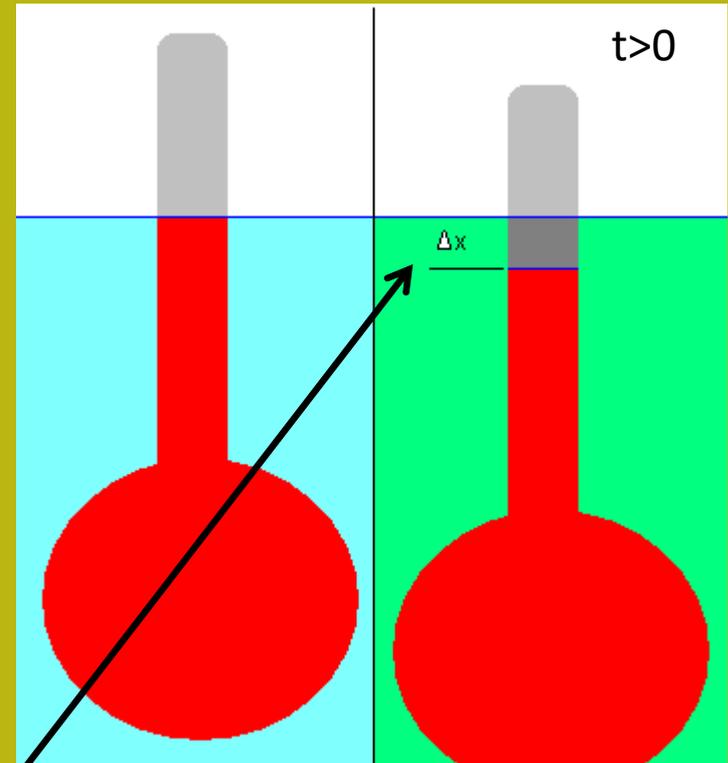
$$R_d = \frac{\rho_{fluido}}{\rho_w}$$

donde :

ρ_{fluido} densidad fluido a 20°

ρ_w densidad agua a 20°

Hidrómetro para la medición de la densidad relativa del fluido



- 1) Lectura R_d hidrómetro correcta temperatura T°
- 2) Lectura hundimiento Δx al tiempo t
- 3) calculo diámetro partículas [K ès una constante del hidrometro $K=f(Gs, t, T^\circ, \text{viscosidad fluido})$]

$$d = K \sqrt{\frac{\Delta x}{t}}$$

Distribución granulométrica (suelos)

Es posible planear el test para tener diferente valores de d (mm) y P% inferior al valore de d considerado

$$d(mm) = K \sqrt{\frac{\Delta x}{t}}$$

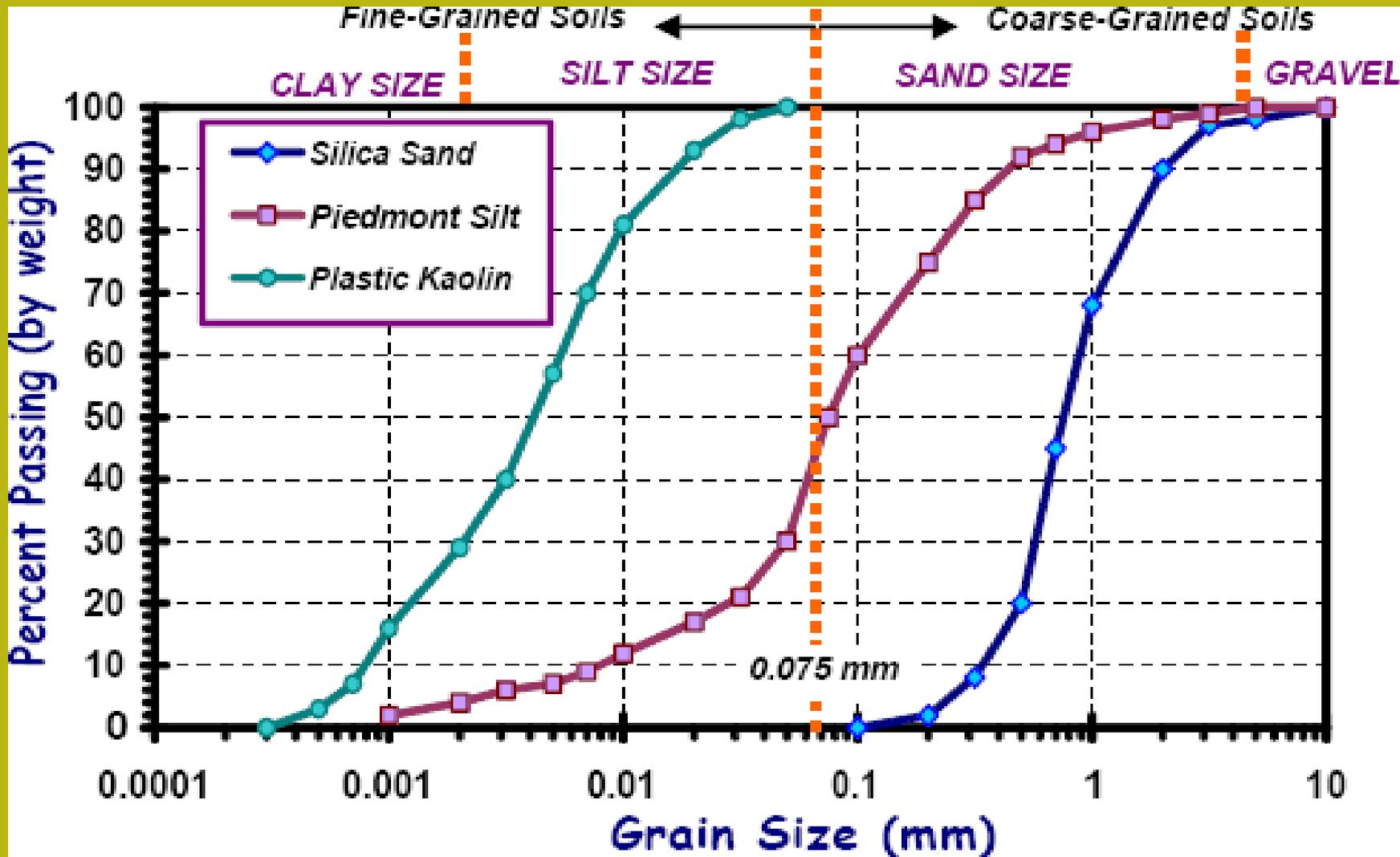
$$P\% = \left[\frac{G_s}{(G_s - G_w)} \frac{V_t}{W_s} \right] (Rd_{fluido} - Rd_{agua})$$

V_T = volumen cilindro ; W_s =masa solido

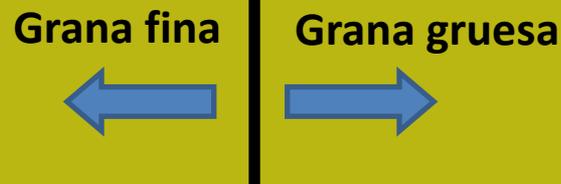
Sugerencia de lectura y algunos video en YOUTUBE aquí:

<https://www.geoengineer.org/education/laboratory-testing/step-by-step-guide-for-grain-size-analysis>

Distribución granulométrica (suelos)

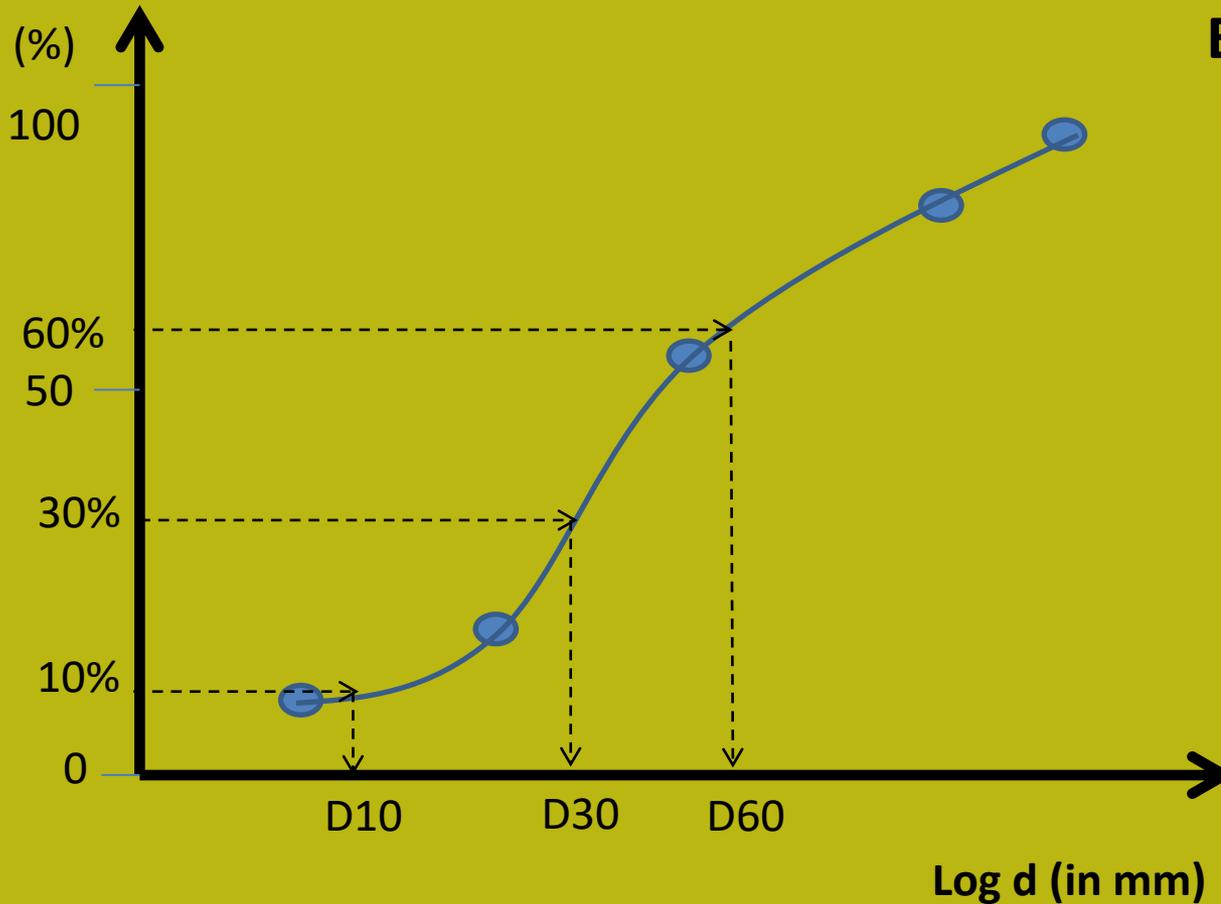


La figura muestra el ejemplo de las distribuciones de tamaño de grano para los suelos de arena, limo y arcilla, obtenidas a partir de pruebas de tamiz mecánico + hidrómetro



% en masa pasante a dato tamizado

Curva de distribución granulométrica



El coeficiente de uniformidad C_u

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

EL coeficiente de curvatura

C_c

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

Estos coeficientes son muy importantes
Per la clasificación geotécnica de los suelos

Ejemplo de curvas granulométricas e calculo de Cu



Calcular unos valores de **Cu** de las varias curvas:

C → **Cu=22.5**

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{1.8}{0.08}$$

Calcular otras curvas ? Ej.

B → **Cu= 3**

F → **Cu= 8**

En Las curvas C , G y B son prevalente los material Grueso
 El las curva D y E son prevalentes los Finos
 En Las curva A y F hay un condición intermedia

Mas el valor de Cu es cerca de 1 mas uniforme es la distribución
 Ej. Curva B

Suelos Grueso y suelos finos... una definición sencilla..

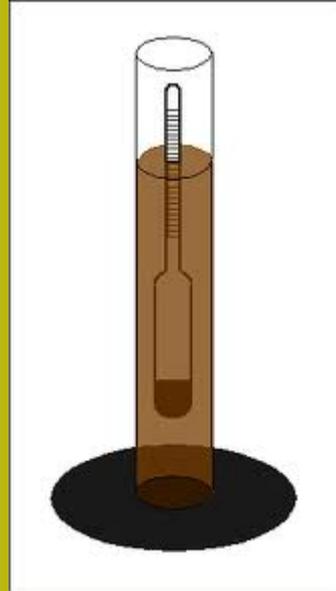
Suelos grueso

Estos suelos están constituidos de partículas con textura granular compuestas de fragmentos de roca y mineral. De acuerdo al sistema de clasificación unificado estas partículas tienen un tamaño comprendido entre 75 y 0.075 mm, que corresponde al **tamaño de la grava y arena**.

Aunque en su mayoría contienen **partículas mayores a 0.075 mm (mayor de 50%)** también contienen material fino en pequeña cantidad, como conjunto estos suelos tienen mayor resistencia a la erosión.

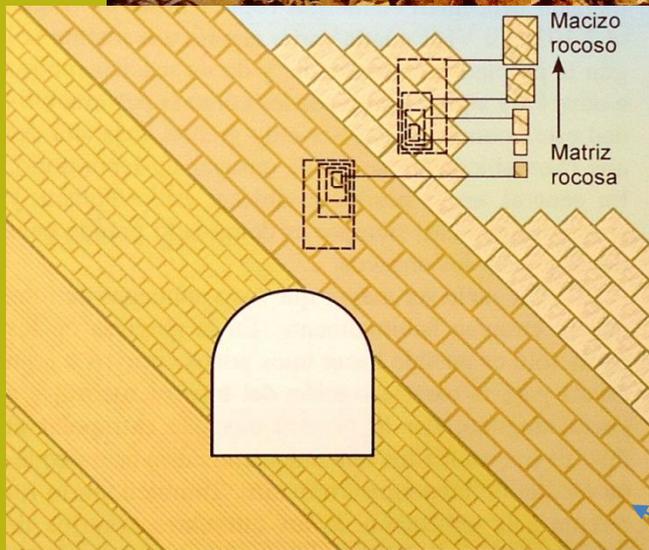
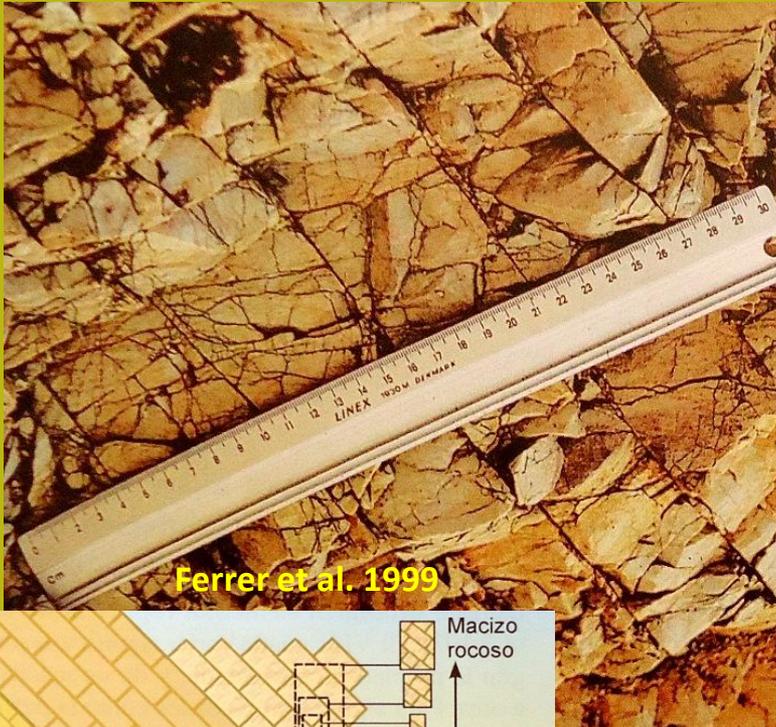


Suelos Grueso y suelos finos... una definición sencilla..



Suelos finos

Los suelos finos están constituidos de partículas compuestas de fragmentos diminutos de roca, minerales y minerales de arcilla, con textura granular y en hojuelas. De acuerdo al sistema de clasificación unificado estas partículas tienen **un tamaño inferior a 0.075 mm (a veces 0.060 dependiendo del tipo de clasificación)**, que corresponden a la **categoría del limo y la arcilla**, por lo que toda fracción de suelo que pasa el tamiz Nr. 200 es considerado como suelo fino (pasante %50)



Las frecuencia de discontinuidad tienen una grande efecto en la características mecánica y hidráulica de un macizo rocoso. Esta distribución tiene muchas similitud con la distribución granulométricas del suelo

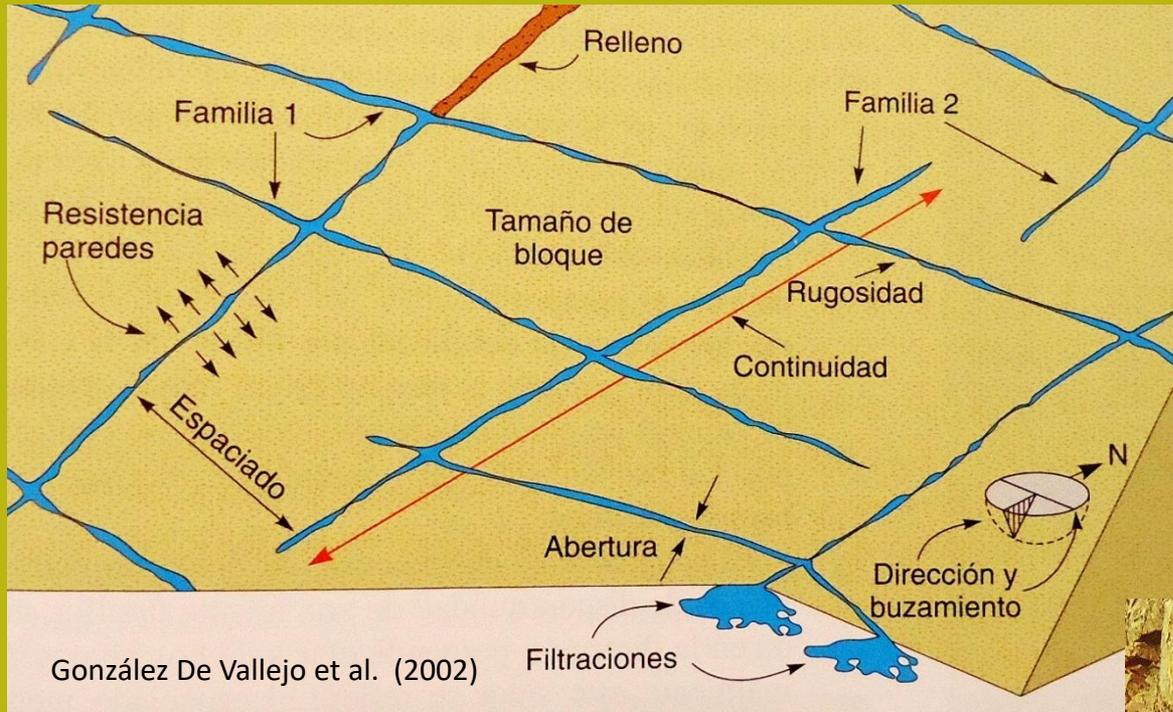
FERRER, Mercedes; DE VALLEJO, Luis I. González (ed.). Manual de campo para la descripción y caracterización de macizos rocosos en afloramientos. Instituto Tecnológico Geominero de España, 1999.

González de Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. A. R. L. O. S. (2002). Ingeniería geológica.

Figura 3.102 Representación del efecto escala (Cunha, 1990)

Distribución de tamaño de bloques en un macizo rocoso

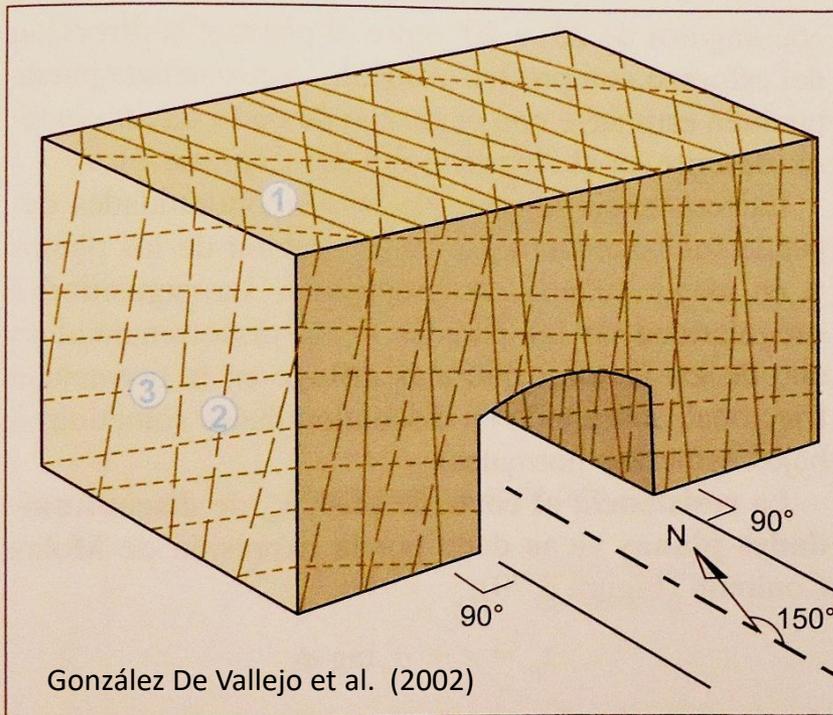
Discontinuidades y términos técnicos...



Distribución de tamaño de bloques en un macizo rocoso

Una de las características más importantes es la medición de frecuencia de la discontinuidad y esto está relacionado inmediatamente a la dimensión de bloque de rocas intacta.

Generalmente hay varias familias de discontinuidades:



González De Vallejo et al. (2002)



Ferrer et al. 1999

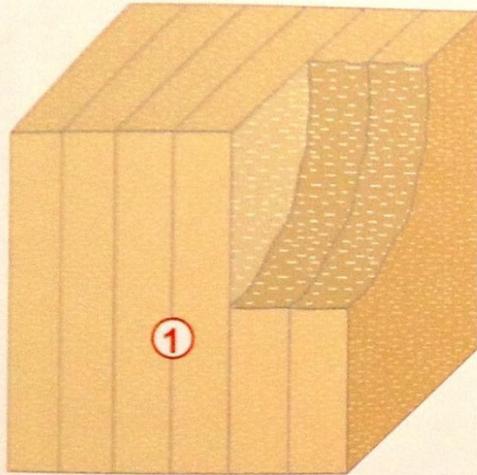
Granito. Calidad buena. Varias familias de discontinuidades alteradas.

Figura 3.77 Representación de las familias de discontinuidades mediante un bloque diagrama (ISRM, 1981).

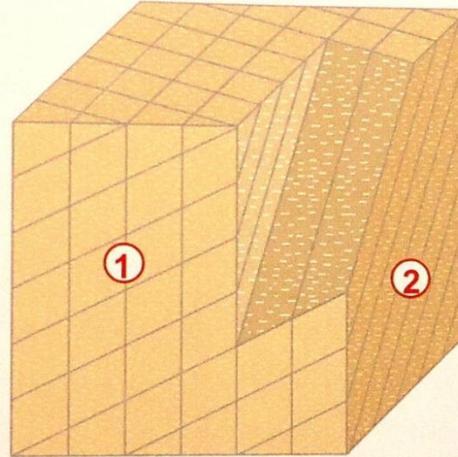
Distribución de tamaño de bloques en un macizo rocoso

Familias de discontinuidad:

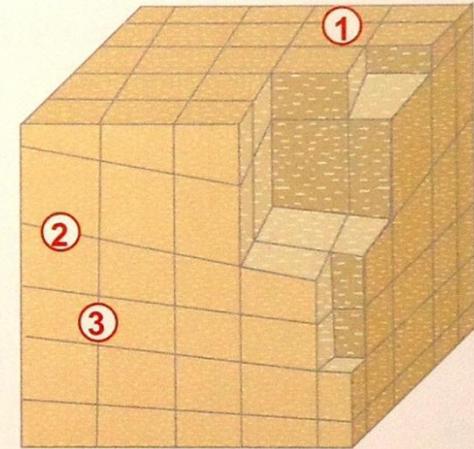
González De Vallejo et al. (2002)



1 familia

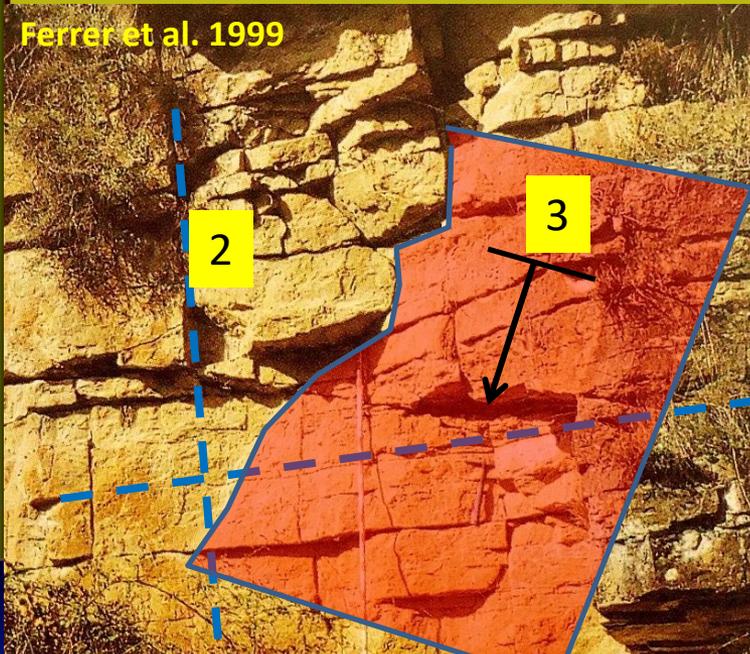


2 familias



3 familias

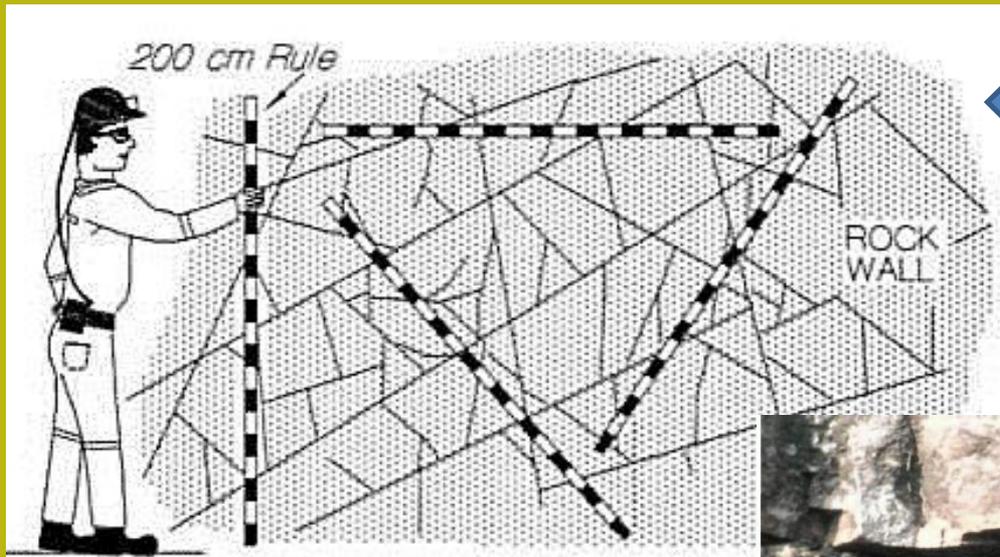
Ferrer et al. 1999



Afloramiento con 3 familias principales de discontinuidad

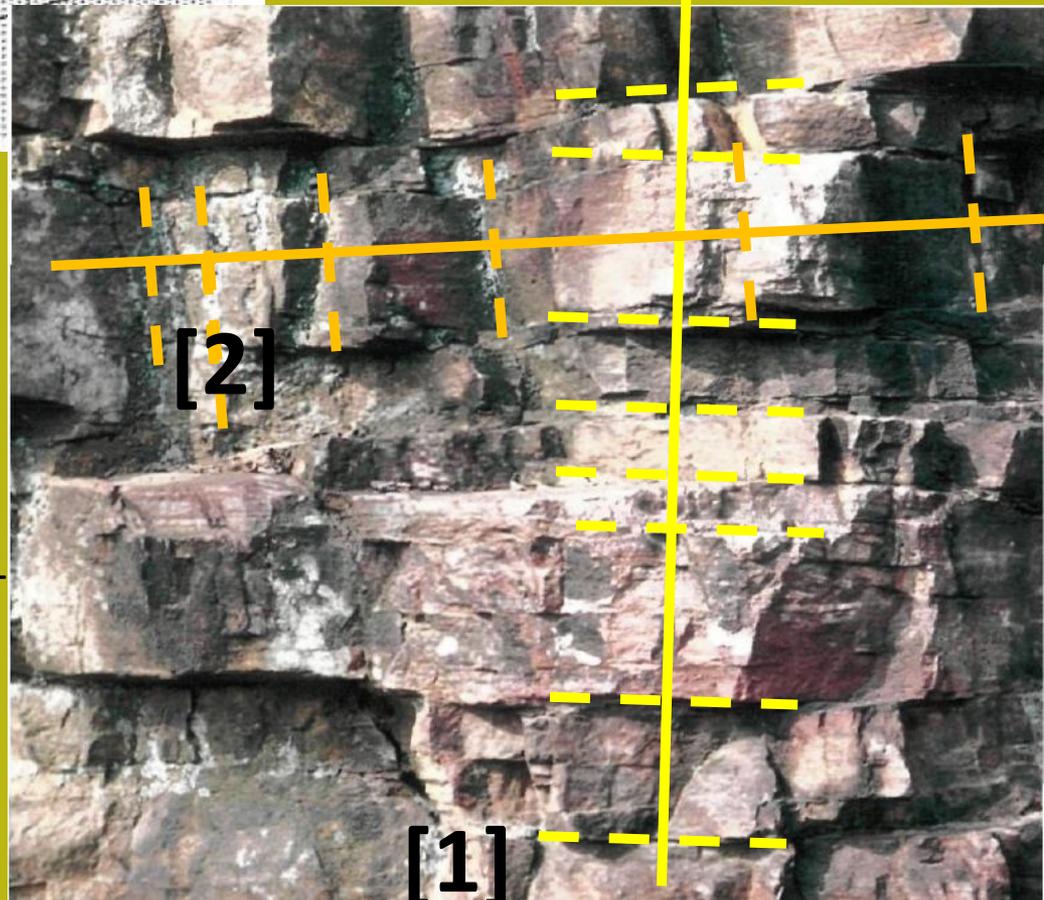
González de Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. A. R. L. O. S. (2002). Ingeniería geológica.

Medidas de la frecuencia de discontinuidad



Posicionamiento aleatorio del los perfiles de medicion

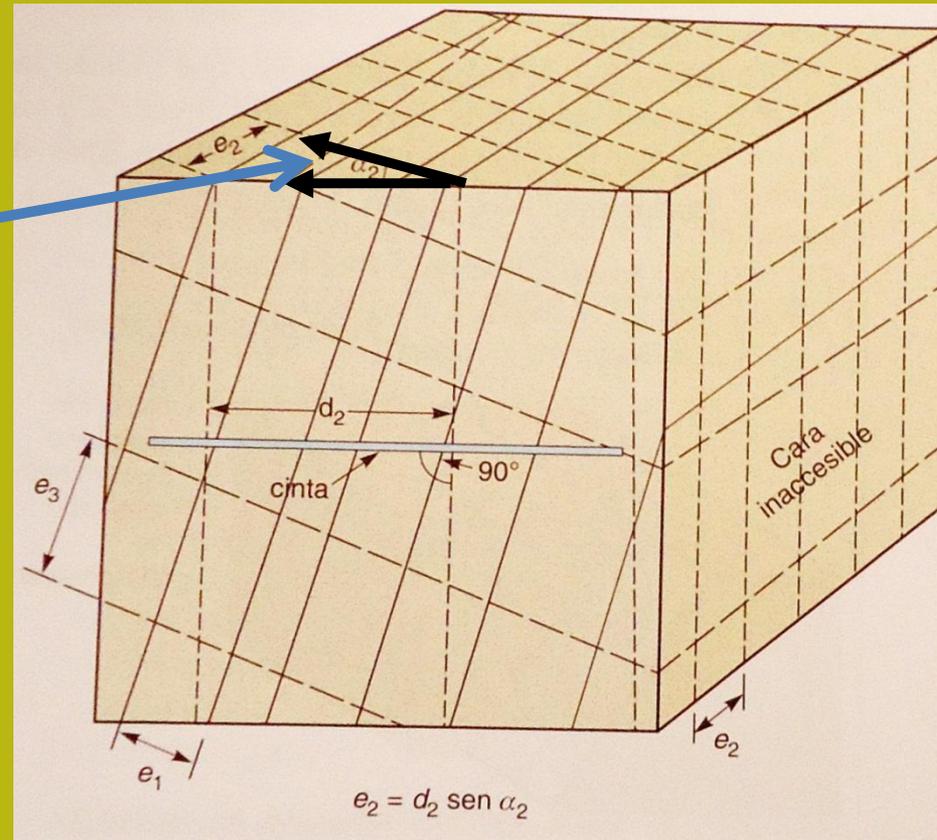
Ejemplo de posicionamiento de transects para la medición de las frecuencia de la discontinuidad (2 familias y posición ortogonal al la líneas de discontinuidad as – líneas continuas – en un macizo rocoso de rocas sedimentarias)



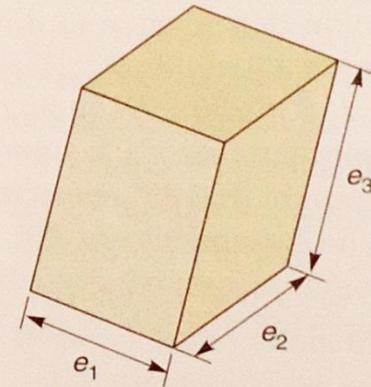
Distribución de tamaño de bloques en un macizo rocoso

Medidas de la frecuencia de discontinuidad:

Ej. ángulo alpha de la familia n. 2



González De Vallejo et al. (2002)

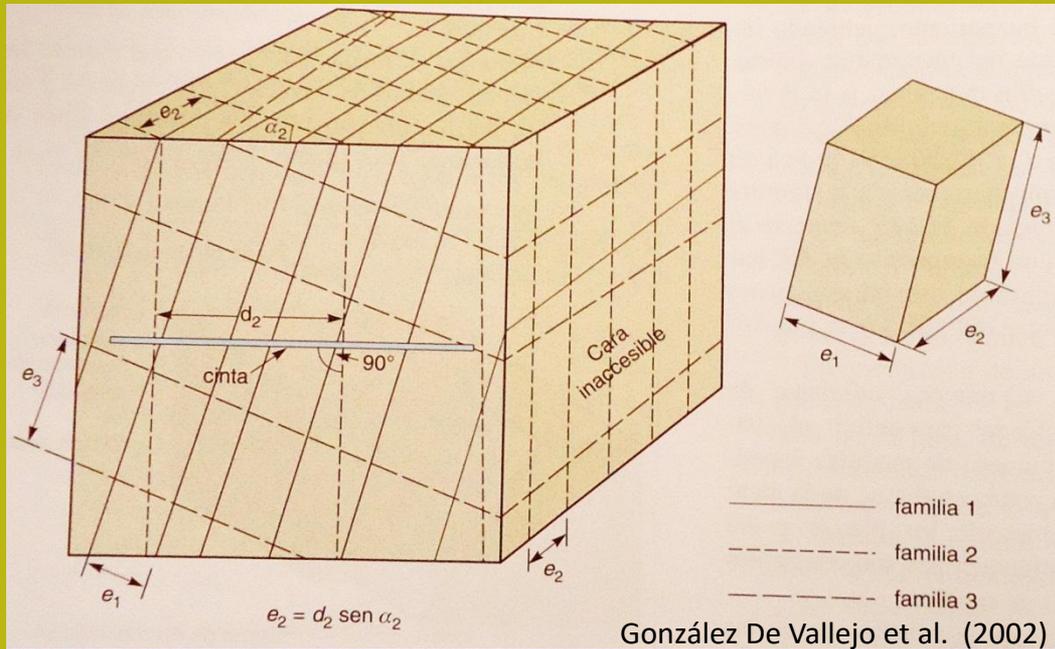


- familia 1
- - - familia 2
- · - familia 3

Se usa una cinta de mínimo 3 m e se hace la medida ortogonalmente a cada familia de discontinuidad y el espaciado efectivo (**e**) se calcula da el espaciado aparente (**d**) y el ángulo alpha (ángulo entre la línea de medición y la dirección de la familia).

$$e = d \text{ sen } \alpha$$

Medición de la frecuencia de discontinuidades



a) sirve para medir índices del tamaño de los bloques

b) Se usa una línea de escansión de por lo meno de 4-5 m.

c) lo que se puede calcular con este tipo de mediciones es el tamaño medio de lo bloques que se asocia a la distancia media del espaciado:

$$\bar{e} = \frac{e_1 + e_2 + e_3}{3}$$

El Numero de discontinuidades

Por unidad de volumen (J_v) . Se calcula con los datos de cada familia.

$$J_v = \sum_i \frac{\text{n.º discontinuidades}}{\text{longitud de medida}} = \sum_i \lambda_i$$

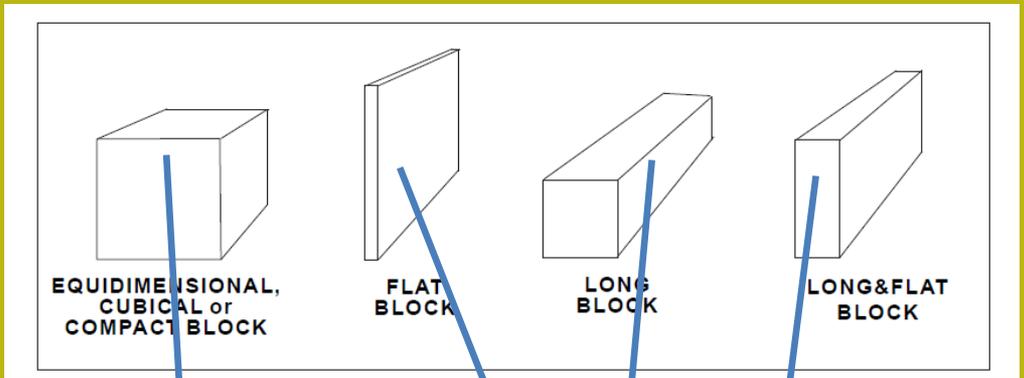
O se calcula con una forma mas simple: como numero λ de discontinuidades por metro

$$\lambda = \frac{\text{numero discontinuidades}}{\text{longitud de medida L(m)}}$$

o se determina como el espaciado promedio $e=1/\lambda$

$$\bar{e} = \frac{1}{\lambda} = \text{espaciado promedio (m)}$$

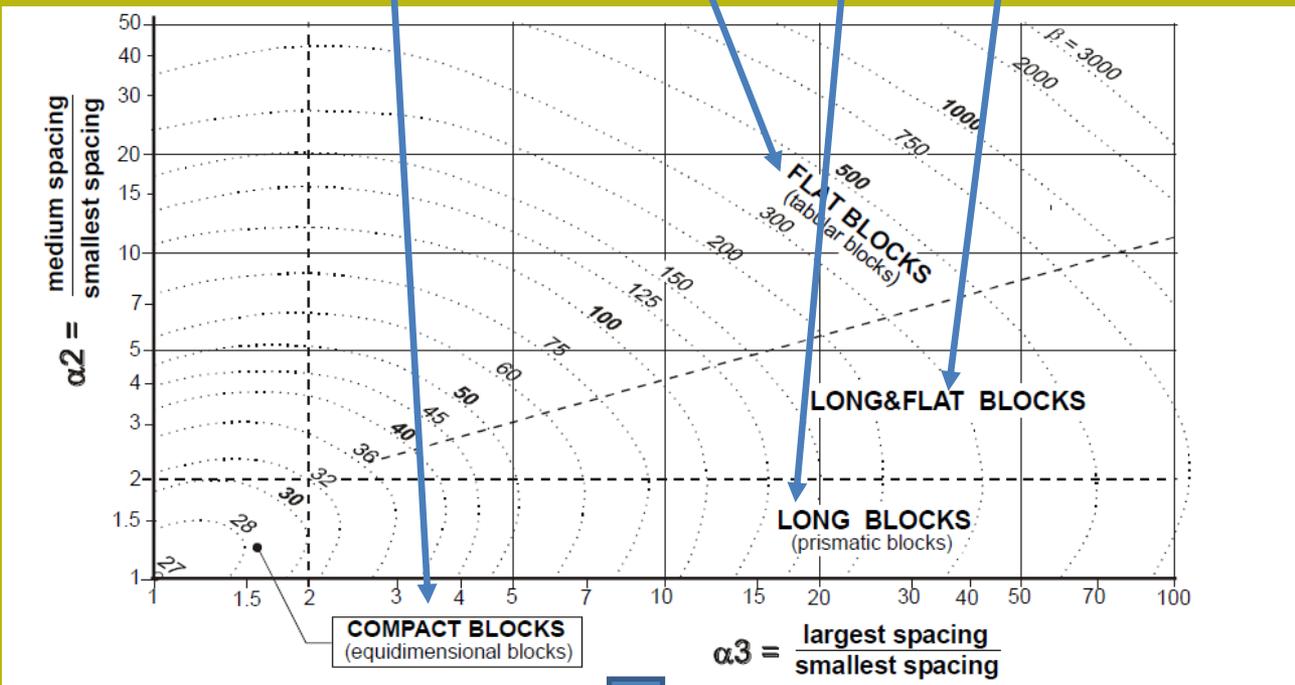
Estima de volumen de los bloques pro medio de su coeficiente de forma y J_v volumen de los bloques



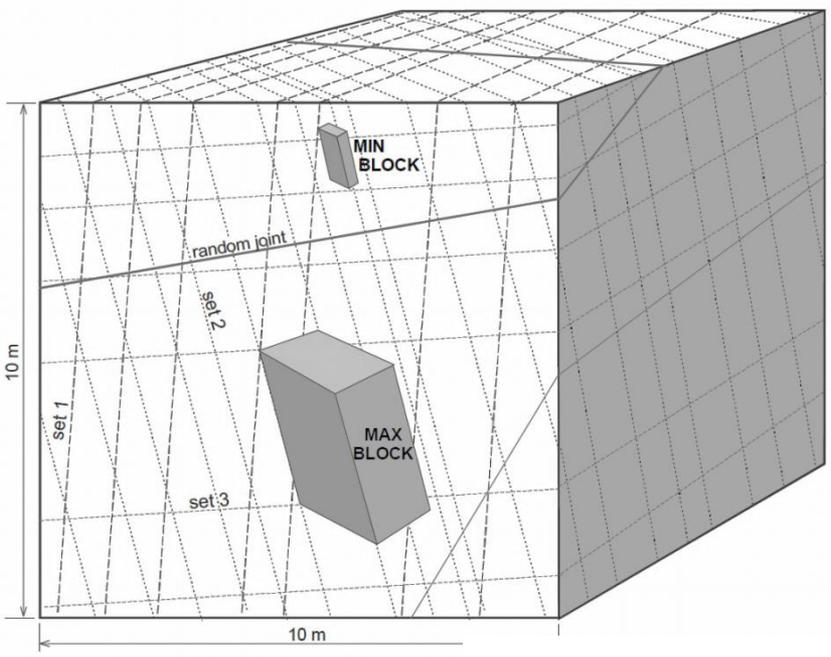
$$\beta = \frac{(\alpha_2 + \alpha_2 \times \alpha_3 + \alpha_3)^3}{(\alpha_2 \times \alpha_3)^2}$$

$$V_b \approx \frac{\beta}{J_v^3}$$

Da Palmström (1995)



Los índices α_2 y α_3 dependen de la distribución del espaciado de las discontinuidad



Distribución de tamaño de bloques en un macizo rocoso basada en J_v

$$J_v = \sum_i \frac{\text{n.º discontinuidades}}{\text{longitud de medida}}$$

Al Final la distribución de la frecuencia de volumen de los bloques

$$V_b \approx \frac{\beta}{J_v^3}$$

$$\beta = 30 \div 100$$

Da Palmström (1995)
Ver las analogías con la distribución granulométrica

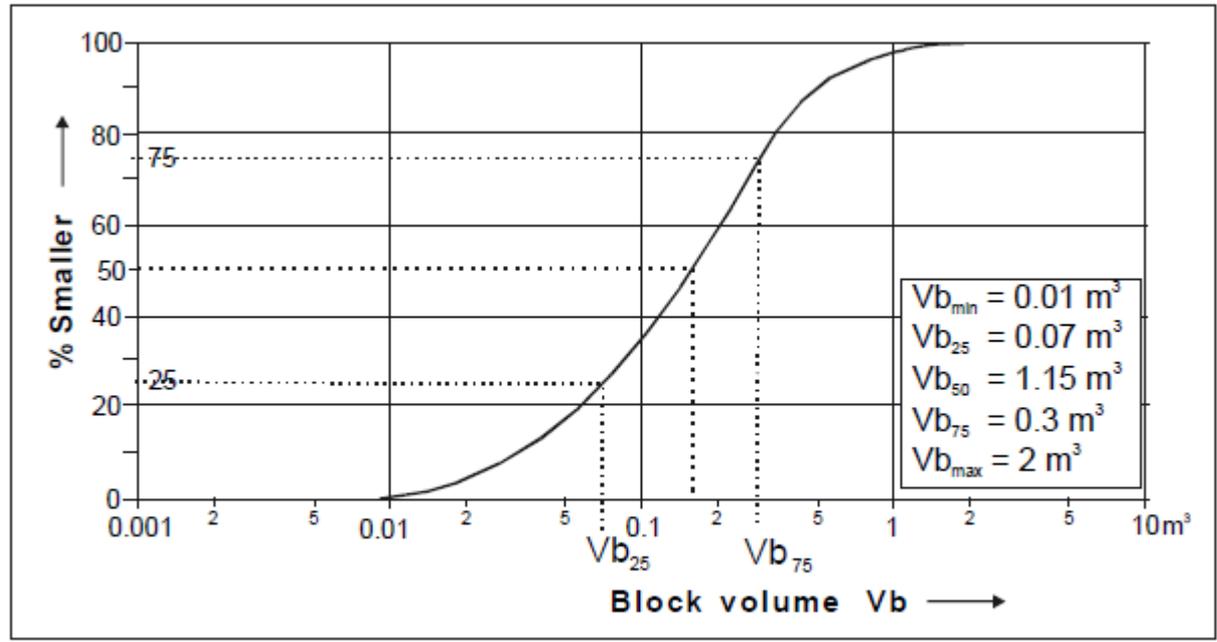
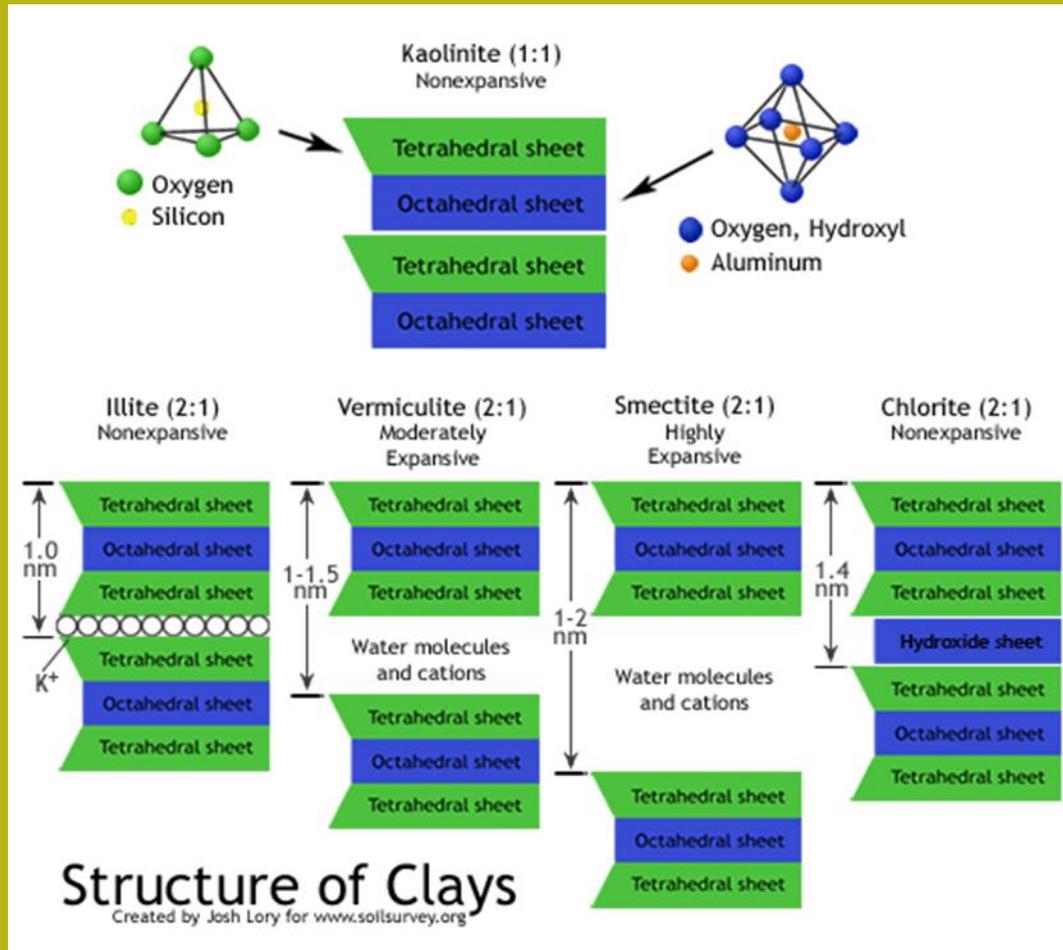


Figure 4 A distribution curve for the blocks in a (large) volume of rock masses

Minerales arcillosos y propiedades importantes in geotecnia



Los minerales arcillosos son formados principalmente por la meteorización química de las rocas, es decir que estos minerales son producto de la alteración de minerales preexistentes en la roca. Estos minerales son tan microscopicos que sólo pueden ser vistos utilizando un microscopio electrónico.

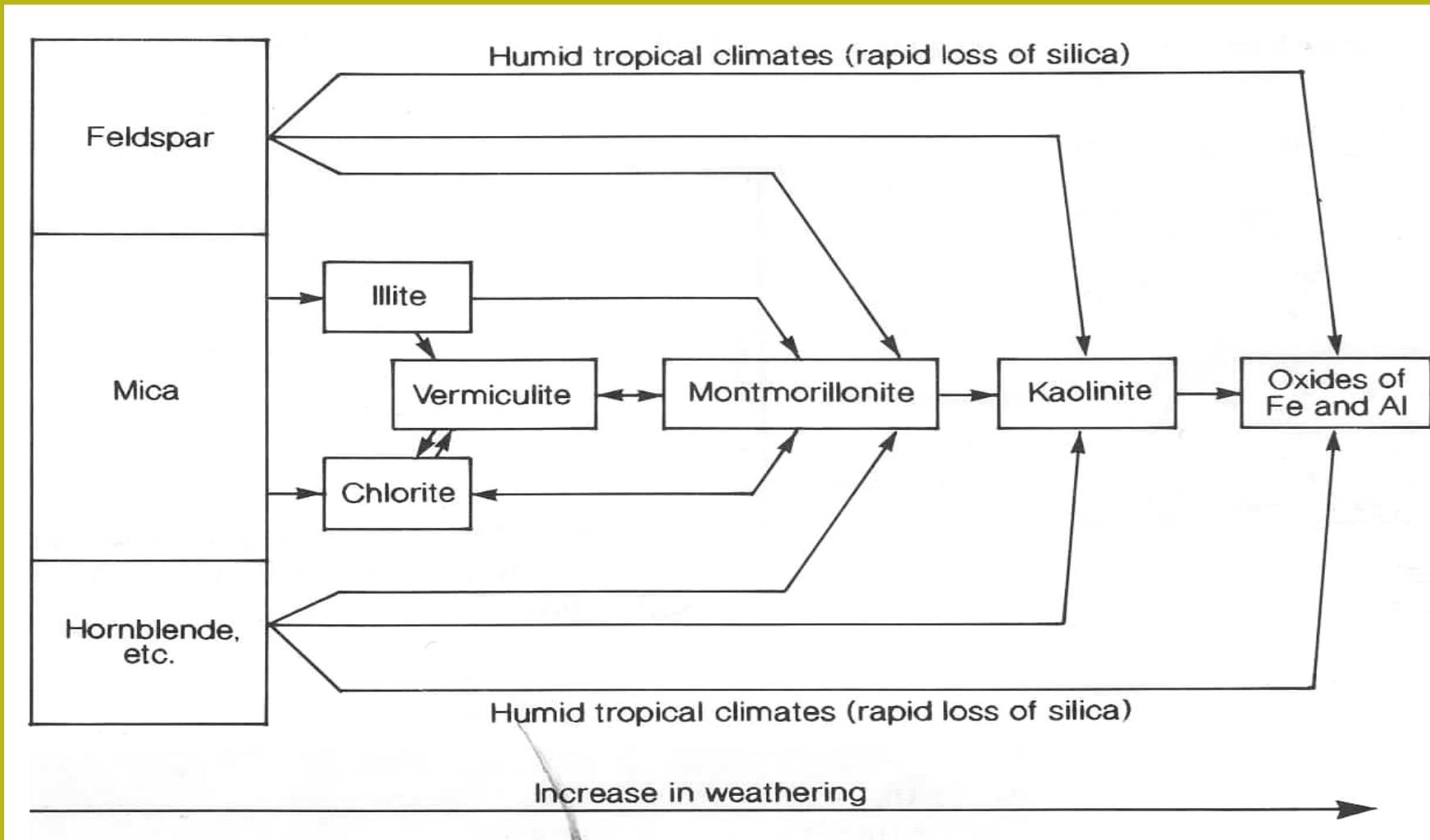
Los principales elementos químicos constituyentes de estos minerales son átomos de: silicio, aluminio, hierro, magnesio, hidrógeno y oxígeno. Estos elementos atómicos se combinan formando estructuras atómicas básicas, que combinándose entre si forman láminas, la que al agruparse forman estructuras laminares que finalmente al unirse por medio de un enlace forman un mineral de arcilla.

Minerales arcillosos y propiedades Importantes in geotecnia

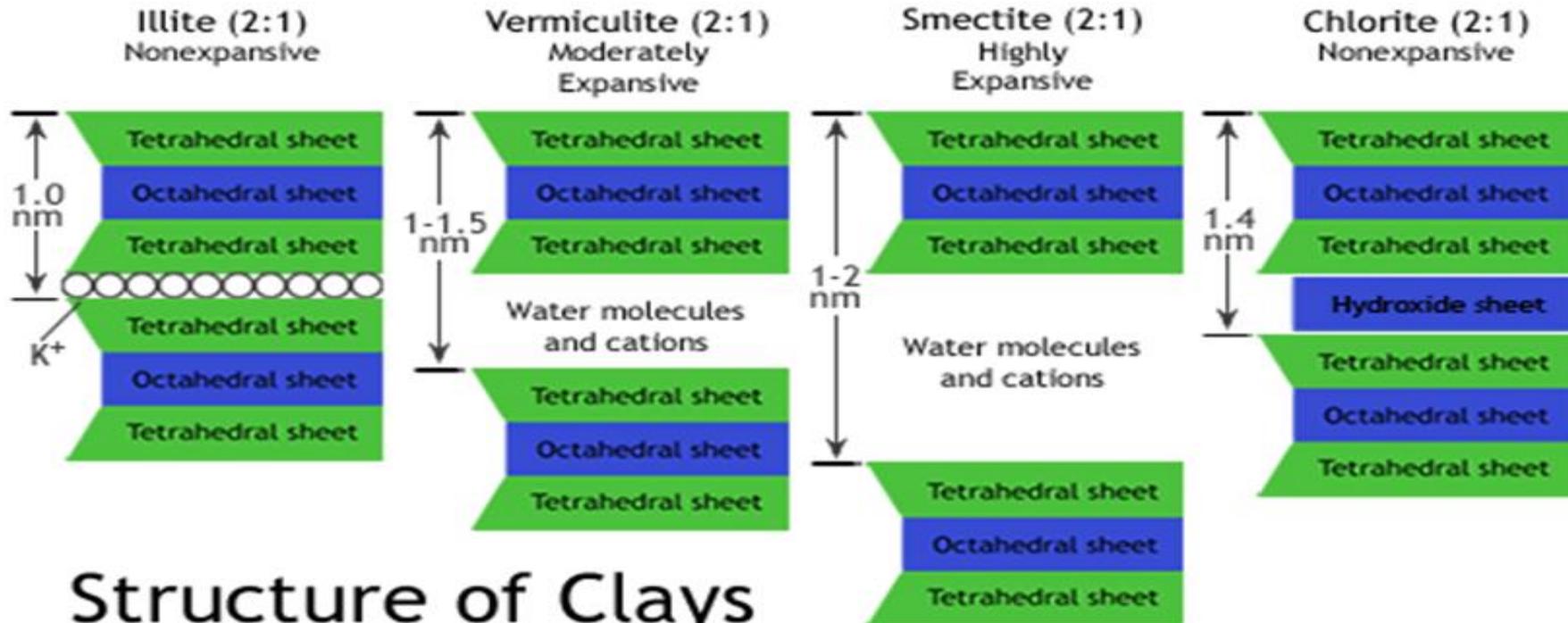
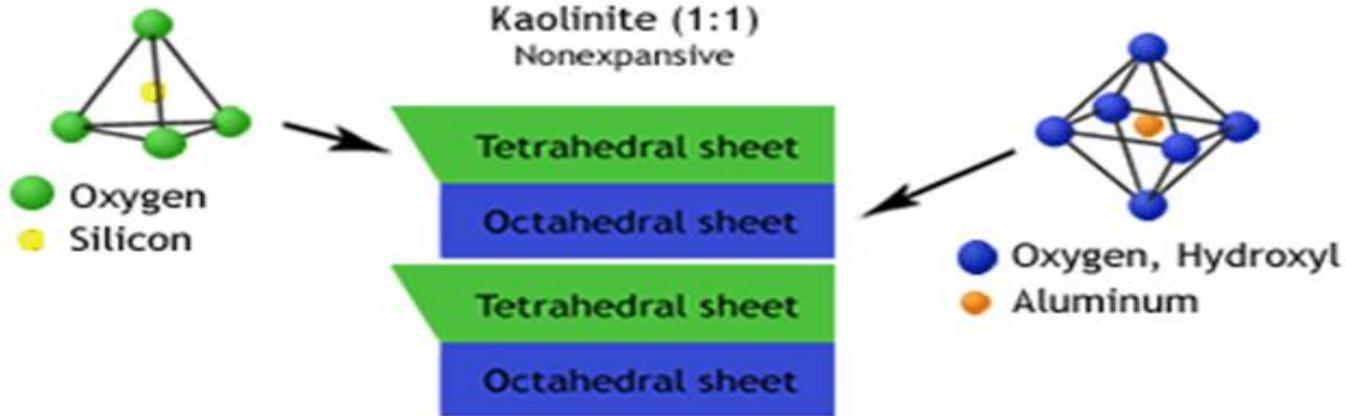
La abundante variedad de minerales de arcilla, está bastante relacionada a la estructura de los minerales que se muestran en por lo que se pueden identificar a cuatro grupos de minerales arcillosos que son:

- **Grupo de la caolinita.**- La caolinita ($\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$) es el principal constituyente del caolín y las arcillas para porcelana.
- **Grupo de la illita.**- La illita es el resultado de la meteorización de las micas, es similar en muchos aspectos a la mica blanca pero tiene menos potasio y más agua en su composición.
- **Grupo de la esmectita(o montmorilonita).**- La esmectita es el constituyente principal de la bentonita y otras variedades similares de arcillas con comportamiento expandible.
- **Grupo de la vermiculita.**- Este grupo contiene productos de la meteorización de la biotita y la clorita.

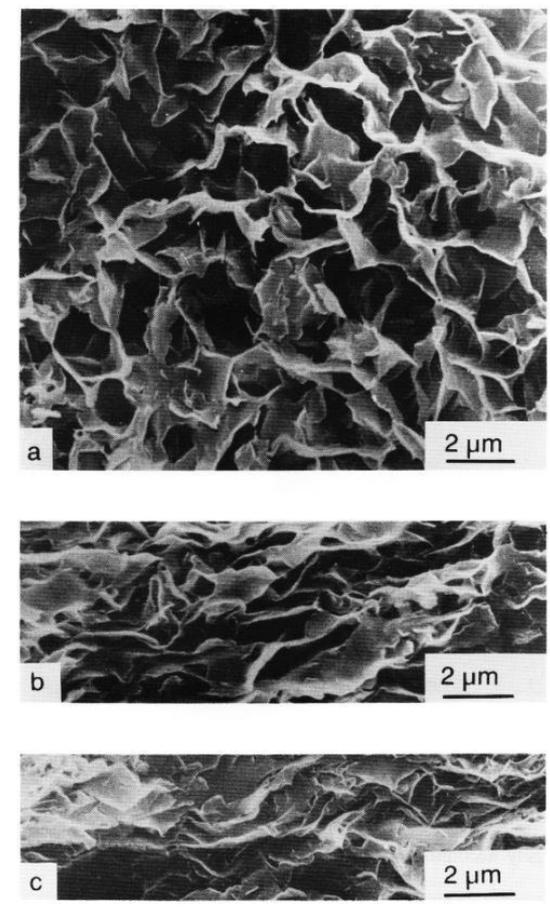
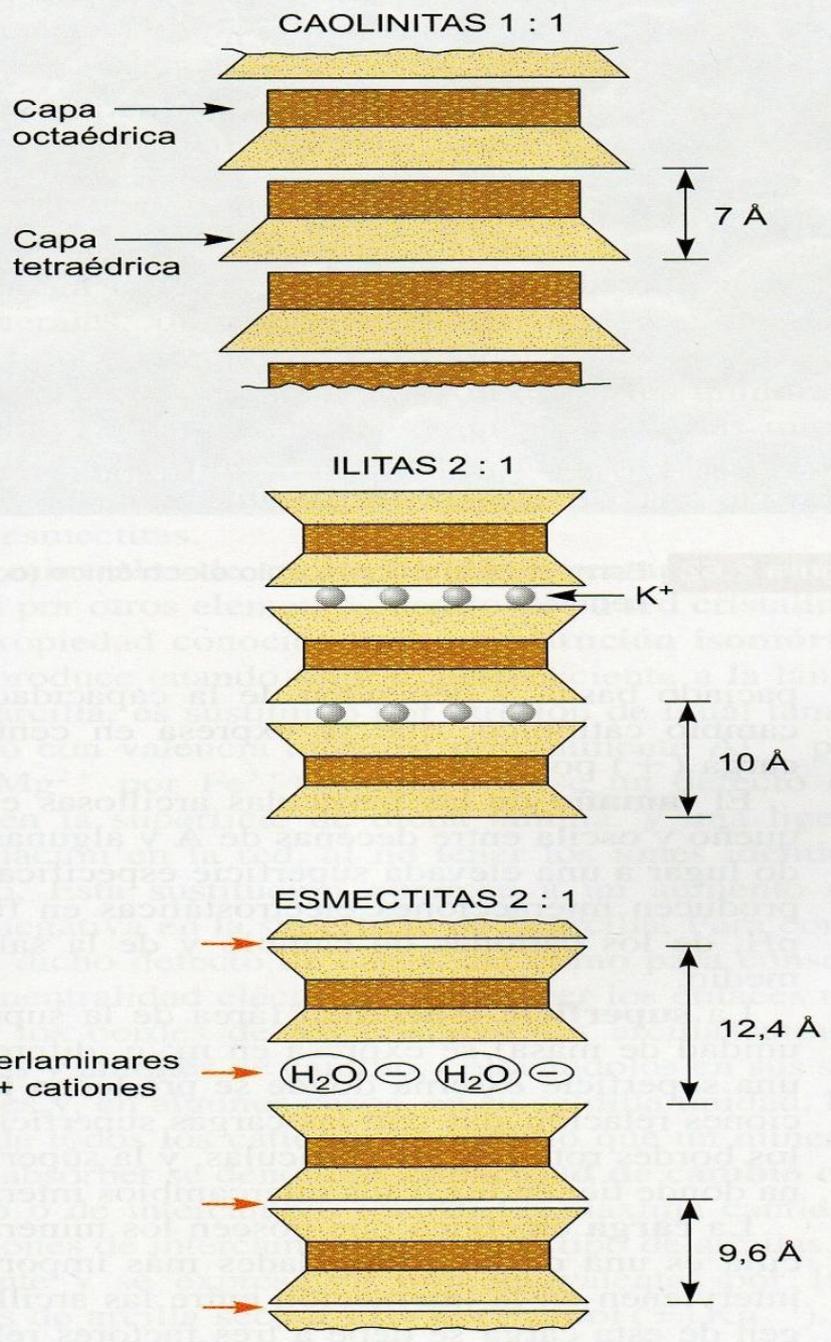
minerales arcillosos de nueva - formación



Estructuras de las arcillas



Structure of Clays
Created by Josh Lory for www.soilssurvey.org



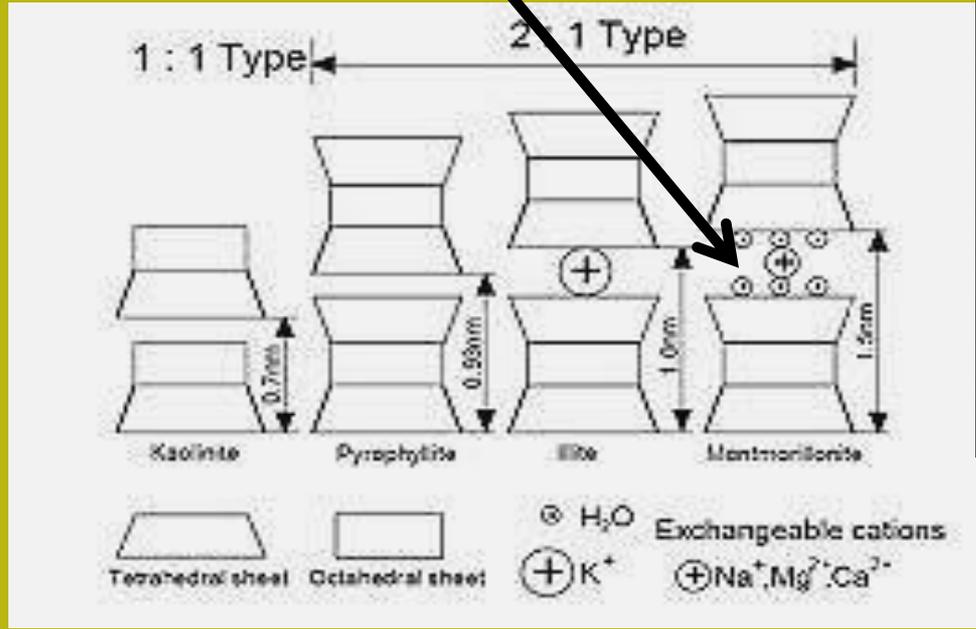
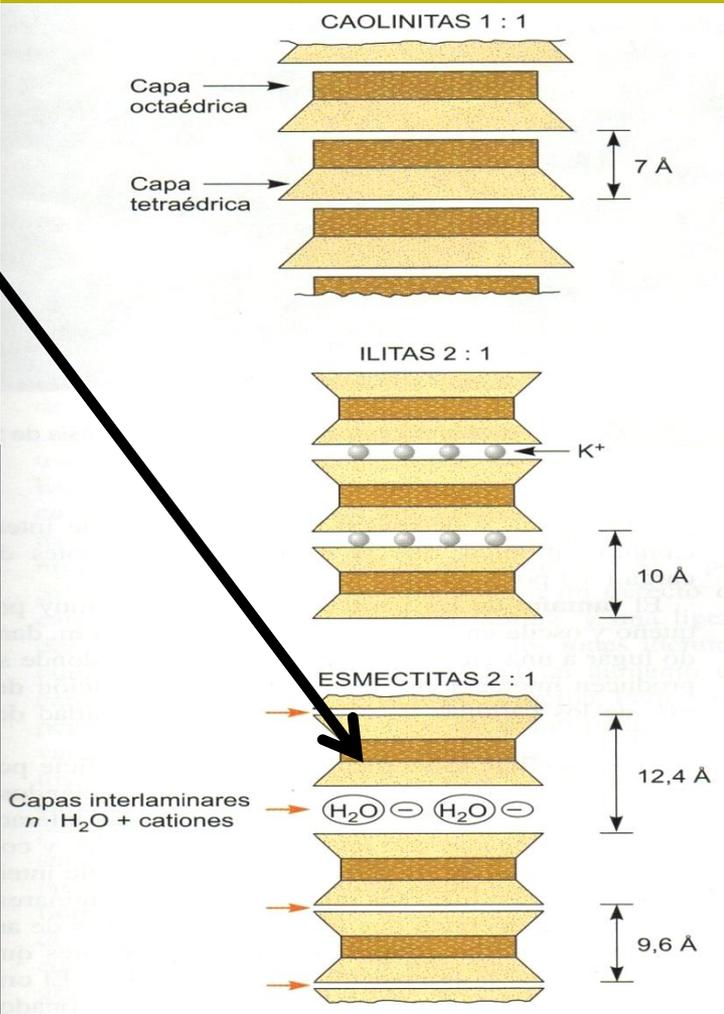
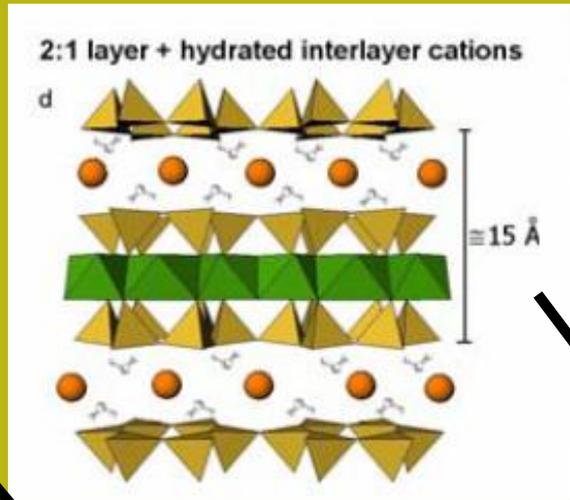
saturación

Fig. 5.29. Scanning electron micrographs of the microstructure of Greek Na-montmorillonite under high electrolyte concentration (1 M NaCl): (a) near saturation (0.0032 MPa); (b) at 0.1 MPa; (c) at 1.0 MPa. (Reprinted with permission from Tessier, 1984.)

Propiedad expansiva de unos minerales arcilloso.

La **esmectita** puede adsorber hasta 4 veces su volumen en agua y entonces expandir su volumen

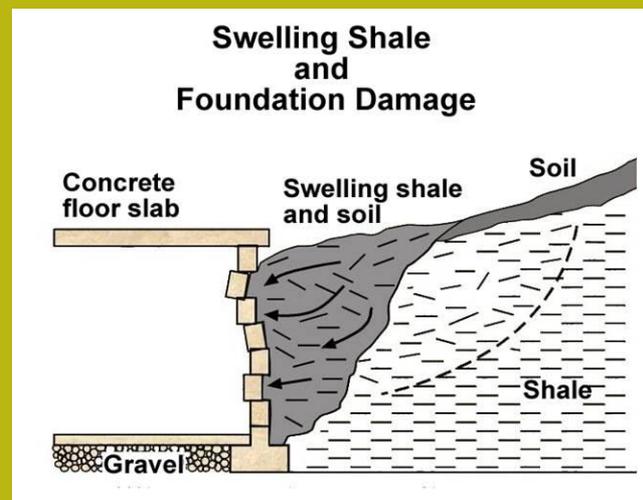
Cationes K^+ Na^+ Ca^{2+} Mg^{2+} para balancear el exceso de carga negativa de la moléculas de agua



Video de efecto de un suelo expansivo

<https://www.youtube.com/watch?v=ACpuYED9WkU>

Efectos macroscopico en campo



Características física y química de esmectita y caolinita

Characteristic	Kaolinite	Smectite
Layer type	1:1	2:1
Typical chemical formula †	$[\text{Si}_4] \text{Al}_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_8$	$\text{M}_x [\text{Si}_8] \text{Al}_{3.2} \text{Fe}_{0.2} \text{Mg}_{0.6} \text{O}_{20} (\text{OH})_4$
Particle size (μm) ‡	0.5 – 5.0	0.01 – 1.0
Specific Surface area (m^2/g) ††	7 – 30	600 - 800
Shrink/swell potential	non-expansive	highly expansive
Interlayer space	none (very small)	very large (hasta 19 Å)
Cation Exchange Capacity ($\text{cmol}_c/\text{kg soil}$) ††	2 - 15	80 - 150

Data obtained from: † Sposito, 2008; ‡ Brady and Weil, 2008; †† Sparks, 2003.

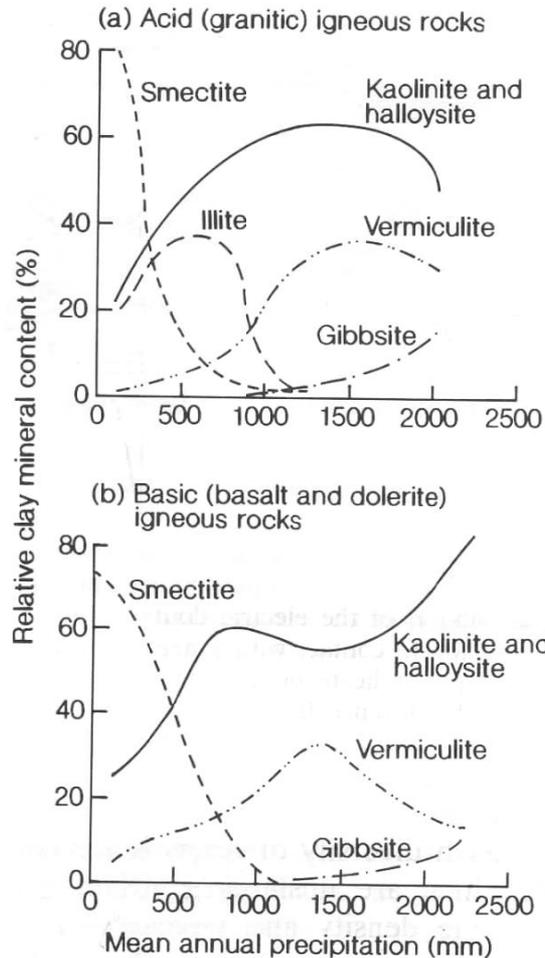
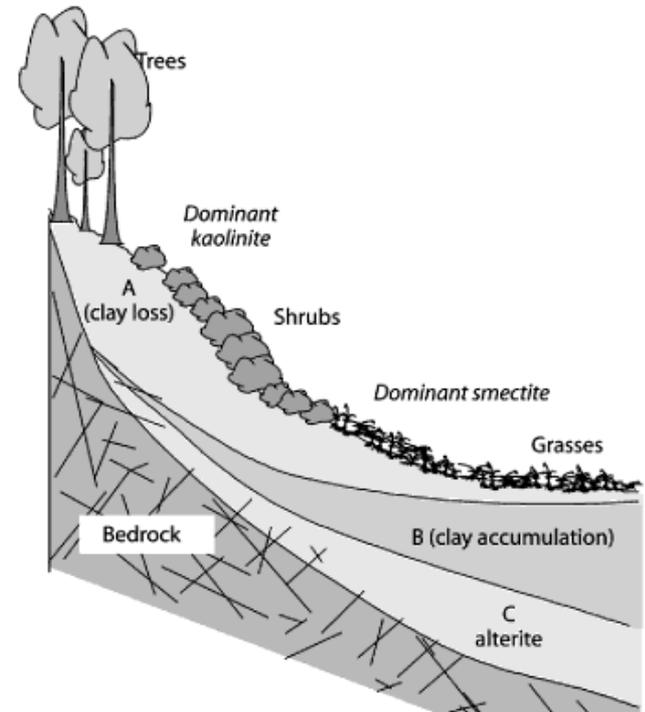


FIG. 3.11. The effect of precipitation on the frequency of clay minerals of given species in soils in California, for acid rocks of high silica content and basic rocks of lower silica but higher ferromagnesian content. (After Barshad 1966.)

Fig. 7.8. Illustration of the relations of clay minerals assemblages as a function of position on a slope in alteration under a contrasted climate regime. High slope and low plant cover produce kaolinite, scrub produces kaolinite and lower slope prairie type vegetation results in a smectitic mineralogy (data after Paquet 1977). The change in mineralogy is essentially due to two factors, one is better drainage and low transit times of water in the soils (low concentration of dissolved ions in solution) and low vegetal activity and low input of translocated elements. Toe slope environments show higher plant activity and an accumulation of transported clays with the result that water transits more slowly and is more saturated with the elements present in the clays. Plants translocate K and Si to the surface



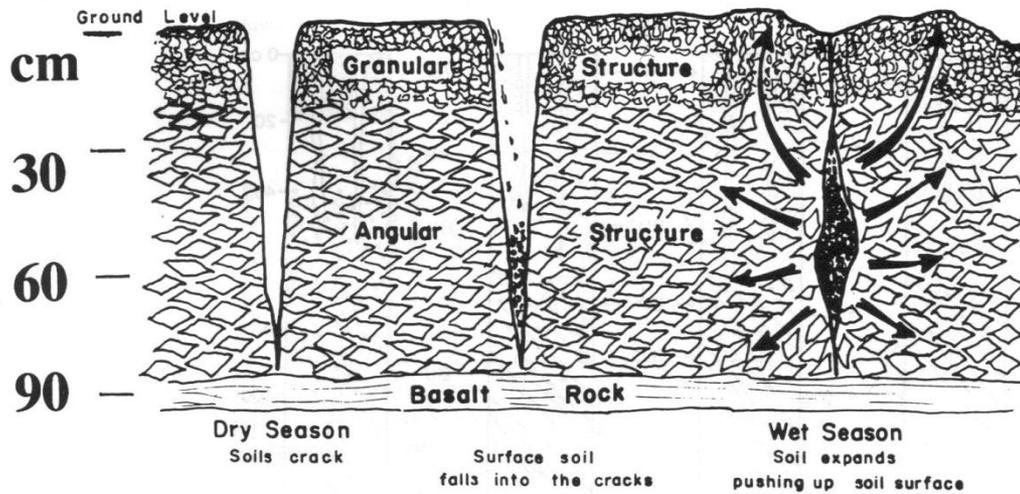


Fig. 2.4. Sketch illustrating the effect of wetting and drying cycles on self-swallowing and gilgai formation (Buol et al., 1980).

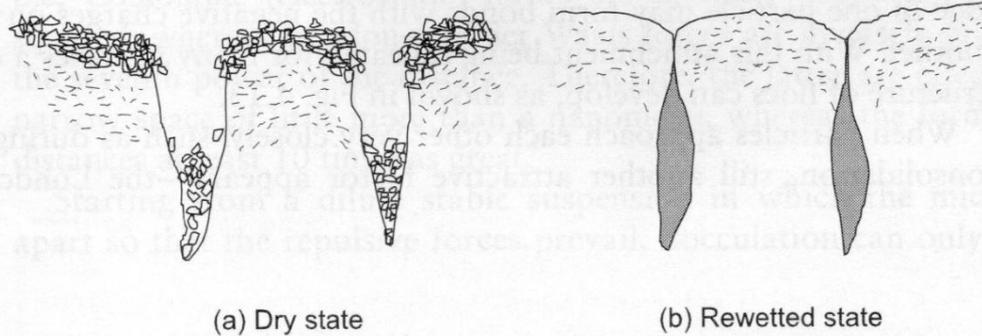


Fig. B4.1 Self-mixing in a vertisol.

Suelos superficiales expandibles que se caracterizan por una alta cantidad de esmectita (*vertisols* ...clasificación edafológica)

Se vea seminario acerca de los suelos expandibles y su importancia en la geotecnia , al fine del curso...



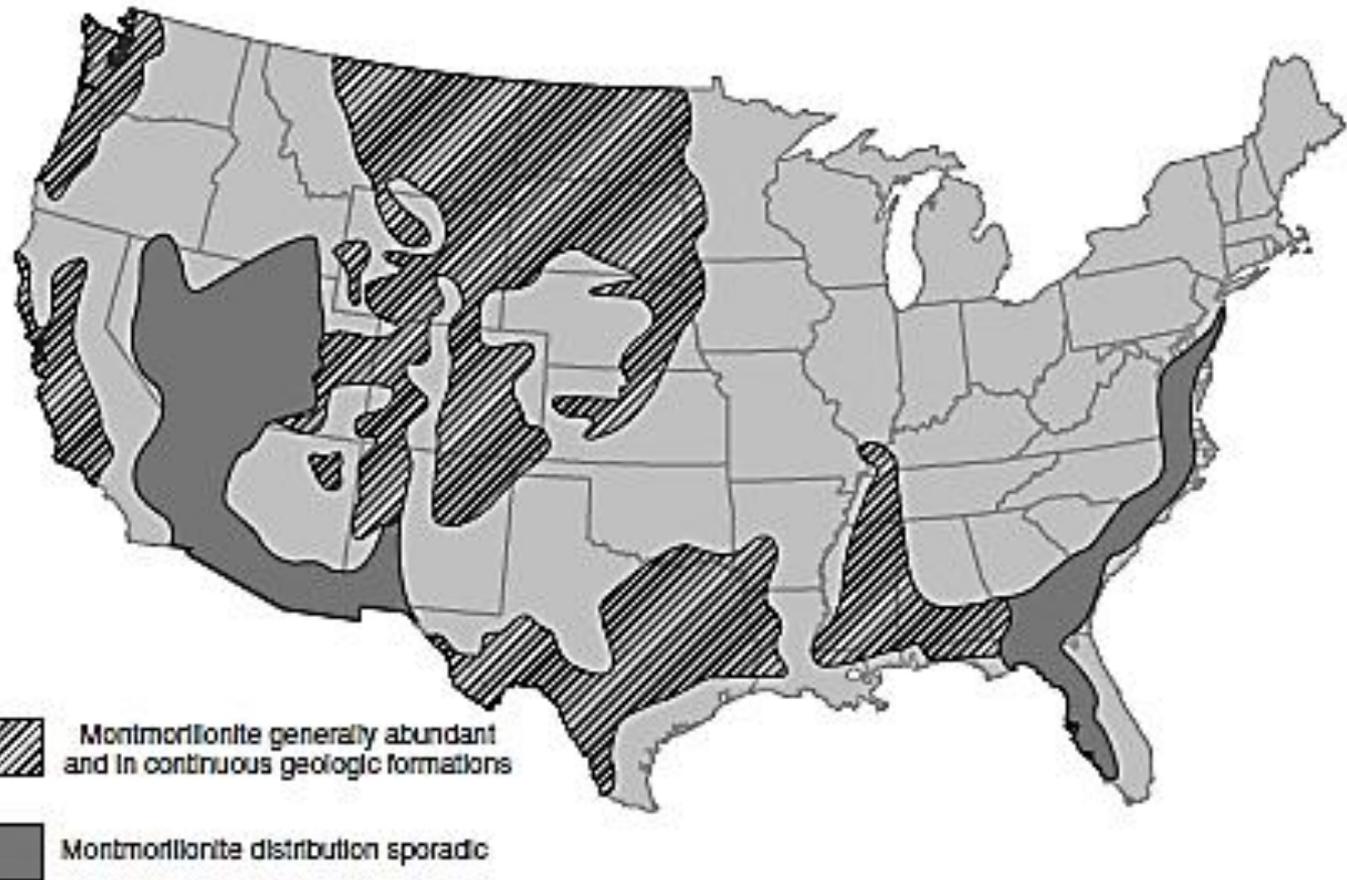
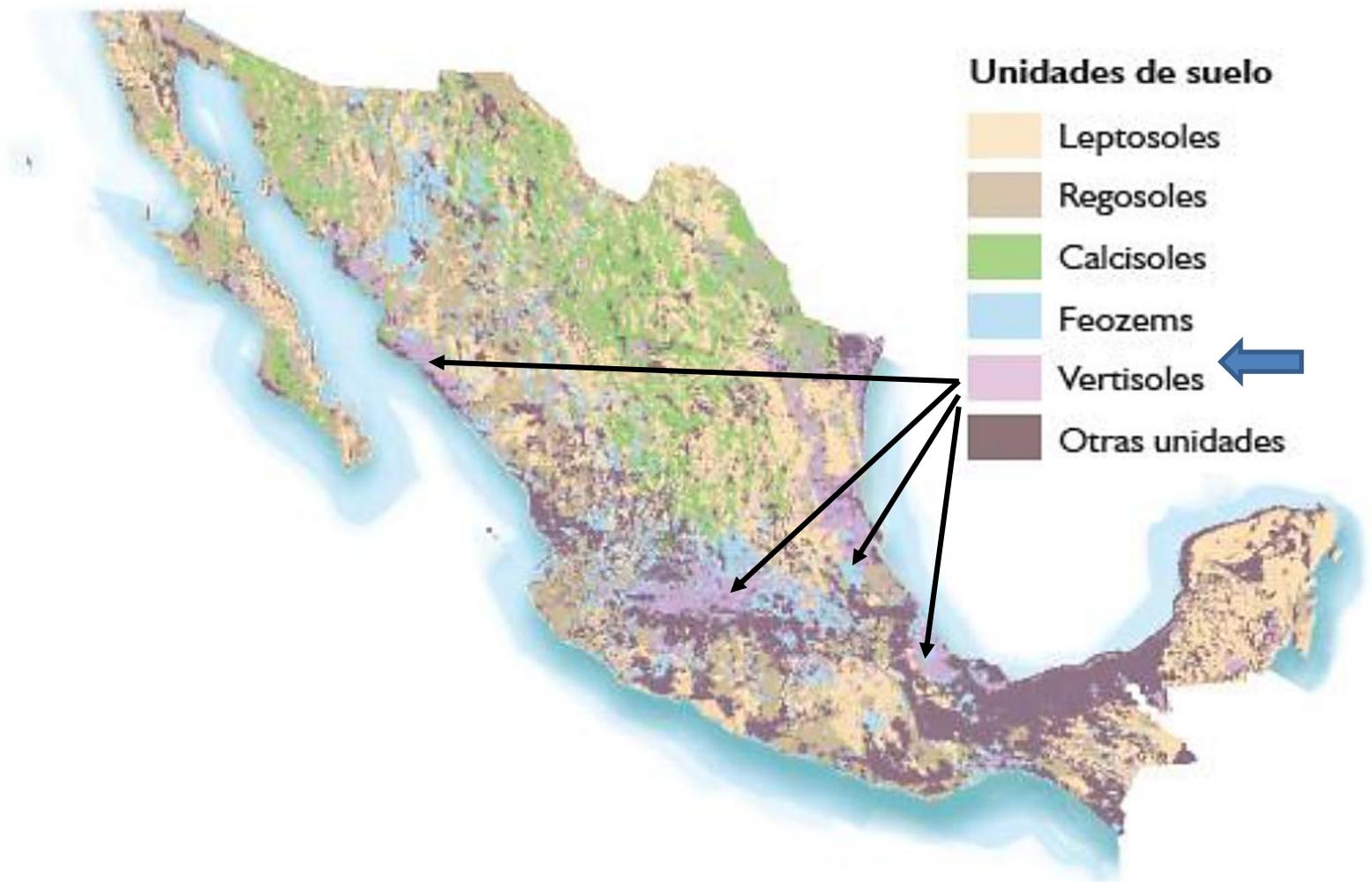


Figure 11 General distribution of montmorillonite expansive clay across the United States (Courtesy of Association of Engineering Geologists, Denver, CO) [365].

Áreas con suelos expandibles en EE.UU.

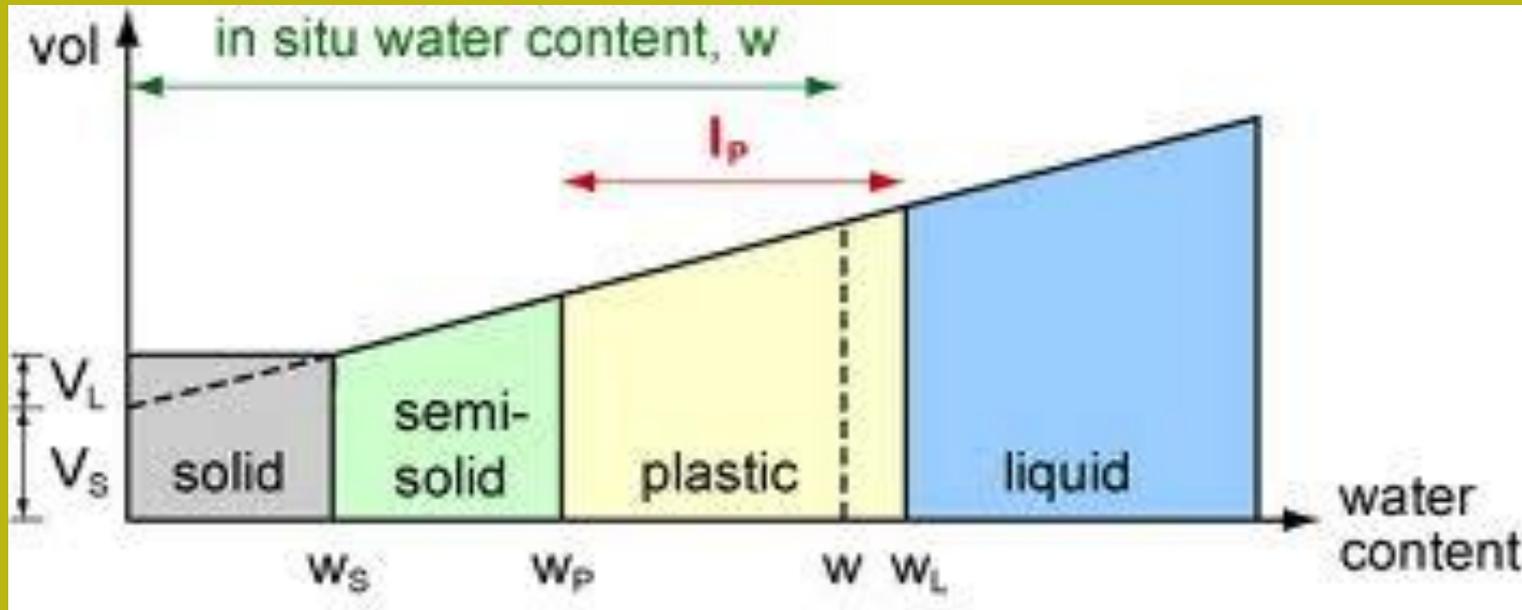


Distribución del Vertisol en México. Imagen obtenida de Semarnat.

Suelos superficiales expandibles (*vertisols* ...en mexico)

Video muy interesante... <https://www.youtube.com/watch?v=JOPwMwIUJMA>

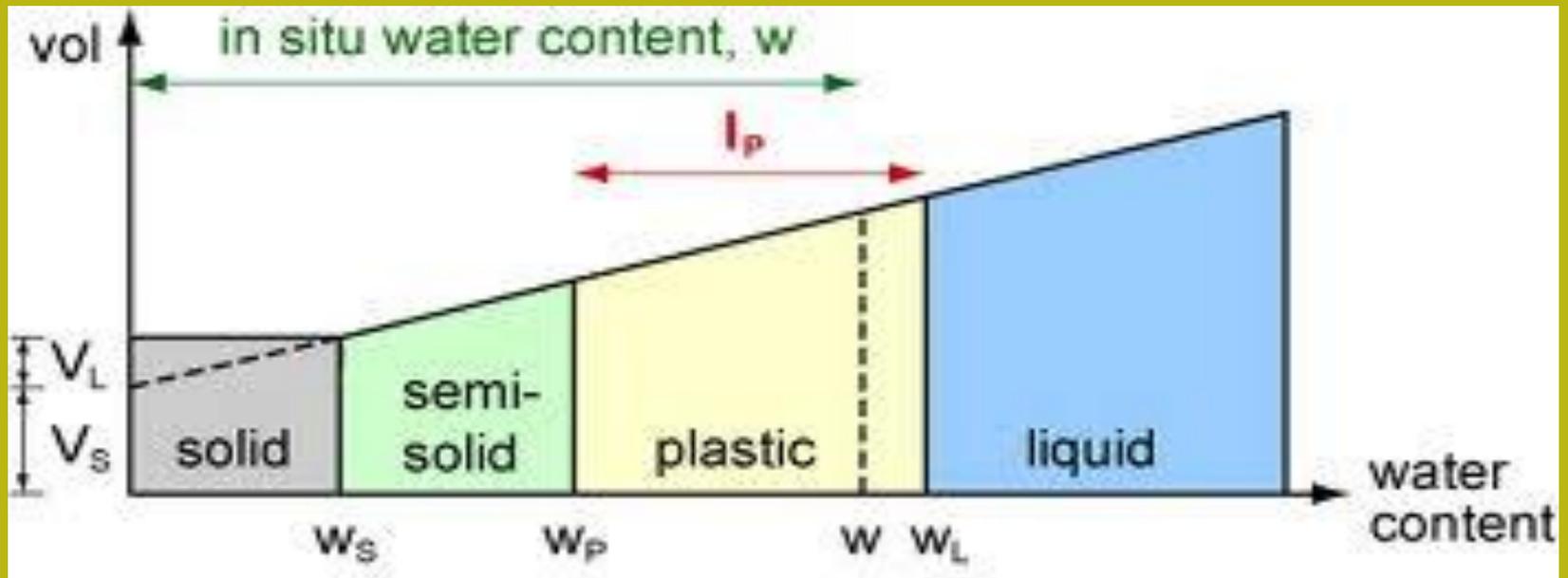
Limites de consistencia de suelos finos (*limites de Atterberg*)



Suelos con textura fina pueden absorber cantidades variables de agua y por lo tanto cambiar su densidad (y algunas veces el volumen). Como resultado de esta absorción de agua el suelo puede cambiar su estado físico. El suelo puede pasar de un estado de consistencia sólido a un estado de consistencia plástica hasta llegar a un estado de liquidez (valores más altos de $W\%$). Estos límites de contenido de agua se llaman **límites de consistencia del suelo o límites de Atterberg**.

Estos límites sirven (ver más adelante en la parte II del curso), a clasificar los suelos y para dar informaciones importantes arriba de otras propiedades.

Limites de consistencia de suelos finos (limites de Atterberg)



- El **límite líquido (LL)** es el contenido de agua (**WL%**) en la que **se separan los granos de una manera que hay la pérdida completa de la resistencia al corte**. Más allá de este límite el material se comporta como un fluido viscoso. Con valores más bajos de contenido de agua se comporta como plástico.
- El **Límite plástico (LP)** es el contenido de agua (**Wp%**) en la que el suelo **pasará de un estado plástico a estado semi-sólido**. El suelo ya no puede comportarse como el plástico, y cualquier cambio en la forma hará que el suelo para mostrar grietas visibles.
- El **limite de contracción (LC)** es el contenido de agua (**Ws%**) que tiene un suelo que ya no disminuye su volumen al seguirse secando

Limite Liquido LL .. Como se mide

Copa de Casagrande

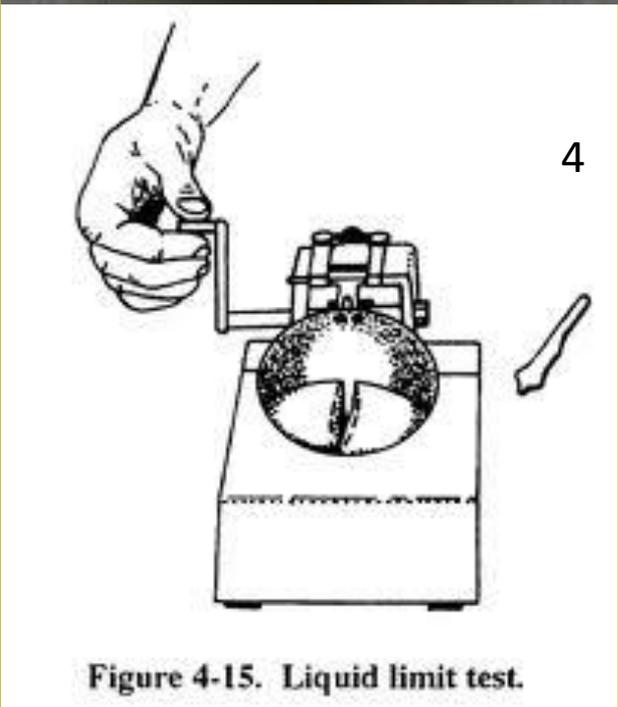


Figure 4-15. Liquid limit test.

Limite Liquido LL .. Calculo LL con copa de Casagrande

Se procede con el equipo de Casagrande con diverso contenido de agua
Y se cuenta el numero de golpes necesarios a serrare la fisura de por lo meno 12.5 mm

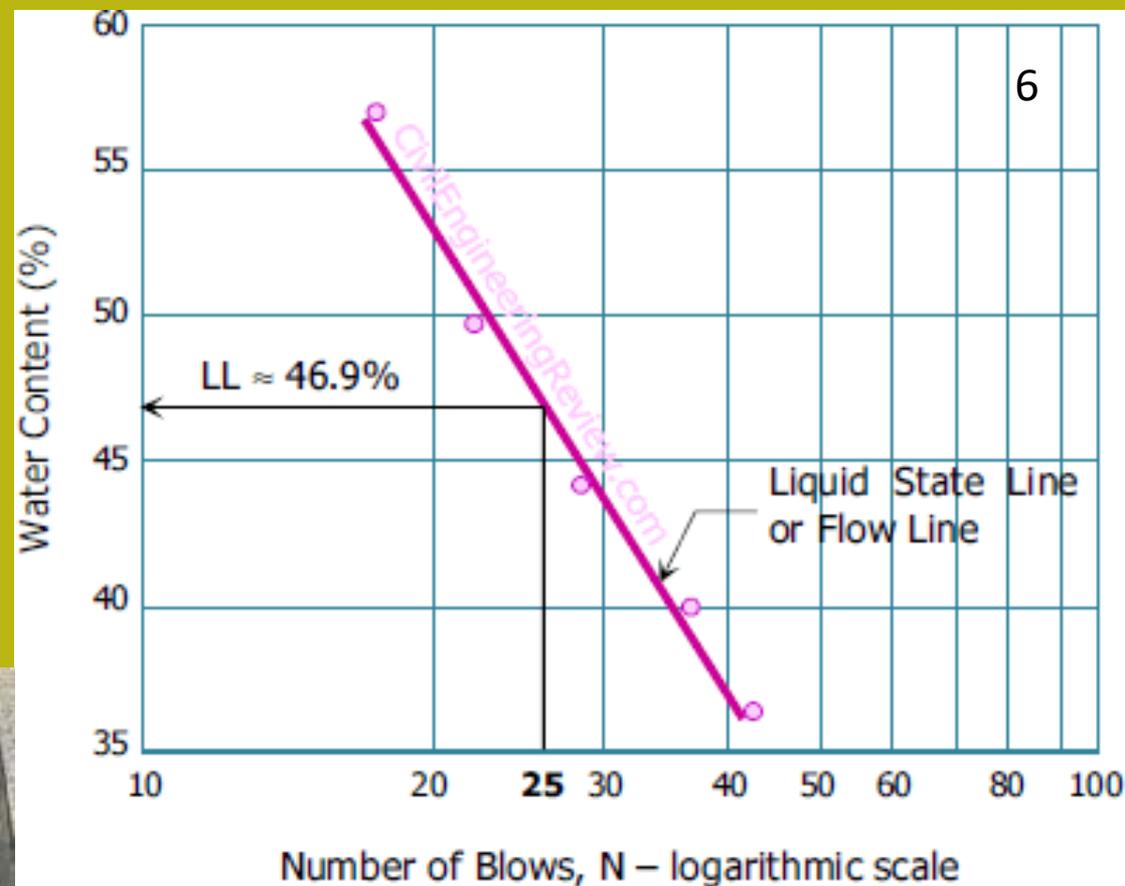
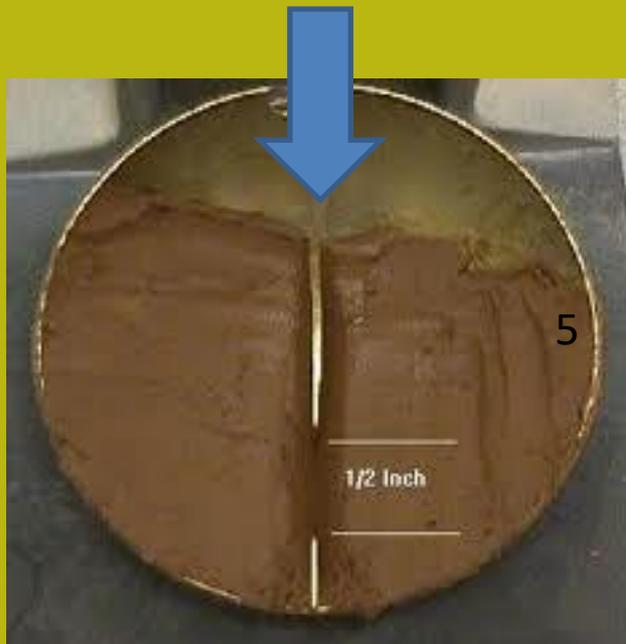


Figure 3 Typical liquid limit results from the Casagrande cup method.

Se reportan los resultados en un grafico Semilogaritmico y se busca el valor de W% que corresponde a 25 golpes.. Este es el LL

Se vea Youtube video:

http://www.youtube.com/watch?v=6FfSJ6Q3_k&feature=related

Limite Liquido LL ..

Calculo LL con equipo alternativo *Fall cone*

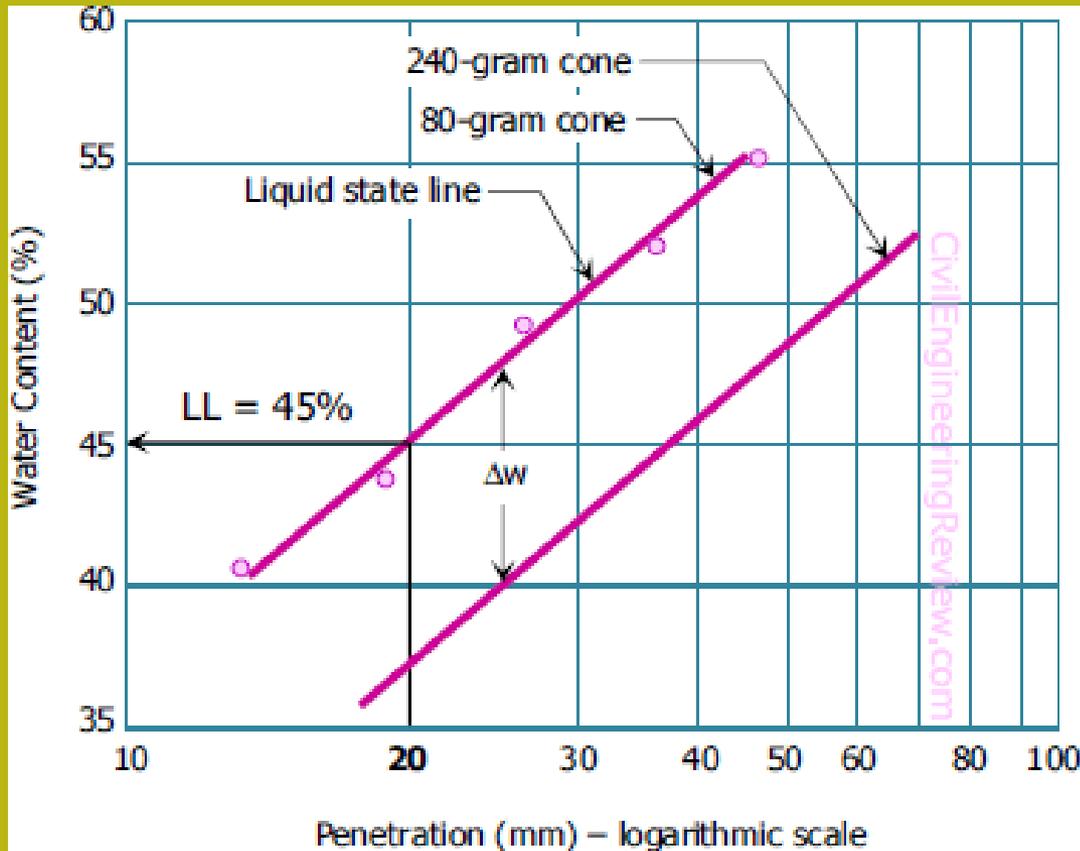


Figure 4 Typical test results from the fall cone apparatus.

Penetración de un cono de 80 gramos y ángulo 30° en una masa de suelo contenida en una copa. Se hace esta operación pro diferente contenido de agua. Se reportan los resultados en un grafico Semi-log y se busca el valor de W% que corresponde a la penetración de 20 mm.. Este es el LL



Limite Plastico LP ..



Para obtener el limite Plástico LP se toma una **cantidad aproximada de 20 gr de suelo umedo**. Se amasa con la mano procurando que la humedad sea uniforme y se rueda hasta formar un cilindro uniforme de 3 mm de diámetro. Se continua a rollarlo hasta che no empiezan a formarse grietas. **Esta condición es el limite Plástico LP.**

You tube video

<http://www.youtube.com/watch?v=hj9DpfHy1M&feature=related>

Limite de Contracción LC ..

El límite de contracción se determina de la siguiente manera. Una masa de suelo húmedo (una pastilla) se coloca en un plato de porcelana 44,5 mm de diámetro y 12,5 mm de alto. y luego se seca al horno. El límite de contracción se calcula a partir de la siguiente formula.

$$LC = W_i - \frac{(V_i - V_f) \rho_w}{M_s} \times 100$$

Wi = contenido da agua ante de contraerse

Vi= Volumen inicial de la pastilla de suelo

Vf=volumen final de la pastilla después de secado

Ms = masa de la pastilla después de secado

ρ_w = densidad de el agua (1.0)

Se vea Youtube video:

<http://www.youtube.com/watch?v=zceSM0CK1-Y&feature=related>



Se repite la operación empezando da diferente contenido de agua ...

La condición adonde se obtiene que $V_i=V_f$ es el valor buscado ... **LC= Wi**
Ósea no hay mas contracción con el secado

Propiedades índice (de suelos finos)

Índice di plasticidad IP. Es la diferencia en por ciento que hay entre el limite liquido y el limite plástico (es el **rango de humedad dentro del cual el material se comporta como un material plástico**)

$$IP = LL-LP$$

El **índice de contracción IC** se obtiene como diferencia en por ciento entre el limite plástico y el limite de contracción. (es el **rango de humedad dentro del cual el material se comporta como un material semisolido**)

$$IC= LP-LC$$

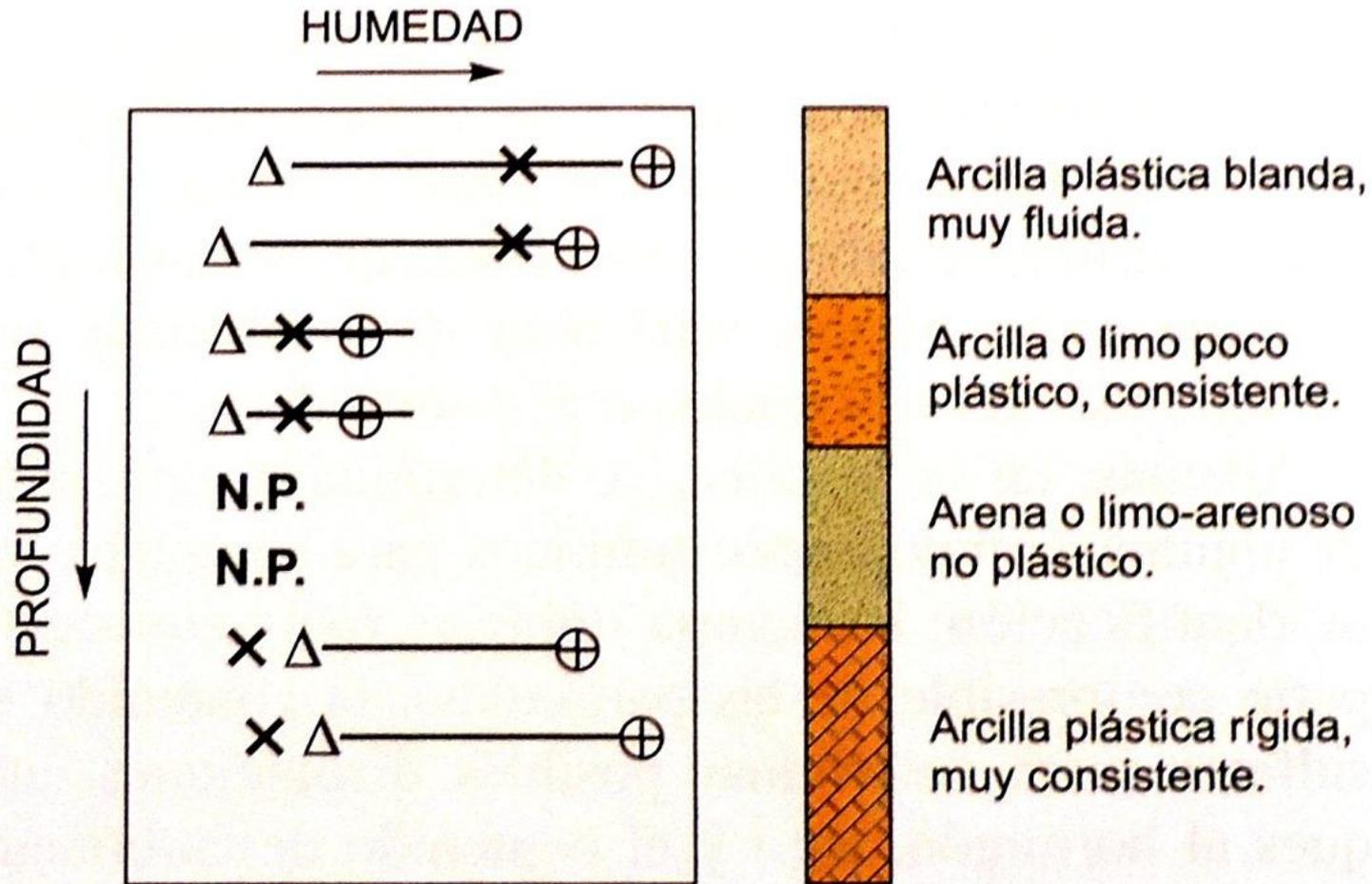
El **índice de actividad A** se obtiene con la seguita formula

$$A=IP/(\%arcilla)$$

El **Índice de liquidez IL** (que nos dice cuanto la **humedad natural Wn** es cercana al limite liquido LL) se obtiene con la siguiente formula:

$$IL= (Wn-LP)/IP$$

Estratificación en deposito sedimentarios naturales



$\Delta = W_p$,, $\oplus = W_L$,, $x =$ Humedad natural ,, N.P. = No plástico

Contenido de humedad natural dependiendo da tipo de suelo y profundidad

Ejemplo de uso de limite liquido e contenido de humedad natural para deducir comportamientos del suelo relacionados a unos procesos critico en geotecnia: ejemplo de hinchamiento y contracción

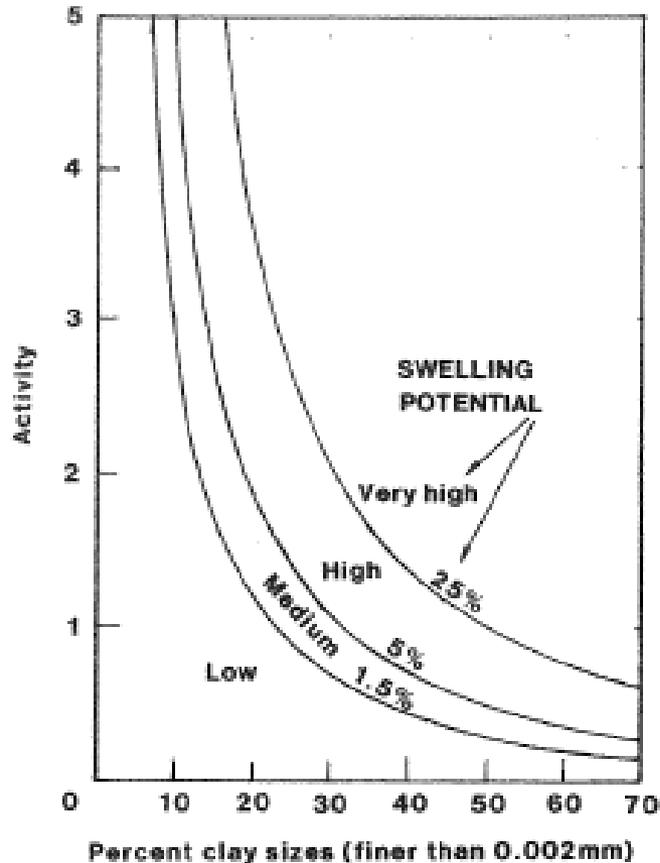


Figure 8.2 Classification chart for swelling potential (after Seed et al., 1962)

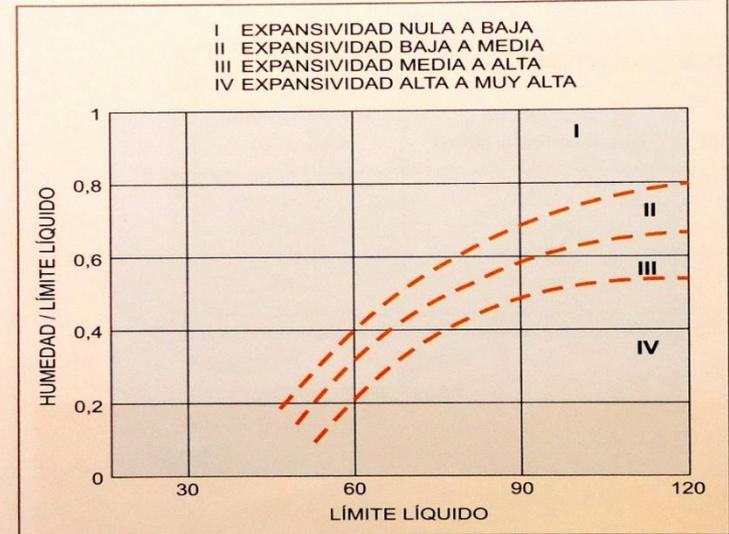
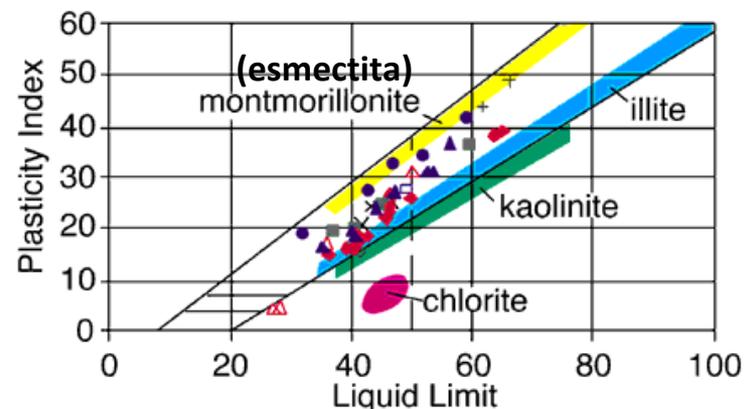


Figura 2.95 Criterio de peligrosidad a partir de la expansividad (Oteo, 1986).



Índices relacionados a las rocas intacta y a macizos rocosos



Índices relacionados a las rocas intacta y a macizos rocosos

Evaluación del grado de meteorización del macizo rocoso

Grado de meteorización	Tipo	Descripción
I	Fresco	No aparecen signos de meteorización.
II	Ligeramente meteorizado	La decoloración indica alteración del material rocoso y de las superficies de discontinuidad. Todo el conjunto rocoso está decolorado por meteorización.
III	Moderadamente meteorizado	Menos de la mitad del macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. La roca fresca o decolorada aparece como una estructura continua o como núcleos aislados.
IV	Altamente meteorizado	Más de la mitad del macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. La roca fresca o decolorada aparece como una estructura continua o como núcleos aislados.
V	Completamente meteorizado	Todo el macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. Se conserva la estructura original del macizo rocoso.
VI	Suelo residual	Todo el macizo rocoso se ha transformado en un suelo. Se ha destruido la estructura del macizo y la fábrica del material.

(ISRM, 1981).



**Índices cualitativos:
meteorización..(alteración)**



Índices relacionados a las rocas intacta y a macizos rocosos



Granito. Calidad buena. Varias familias de discontinuidades alteradas. González De Vallejo et al. (2002)

Índices cualitativos

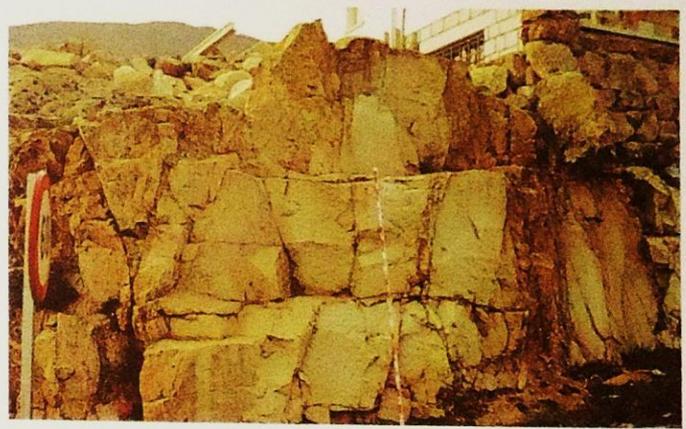
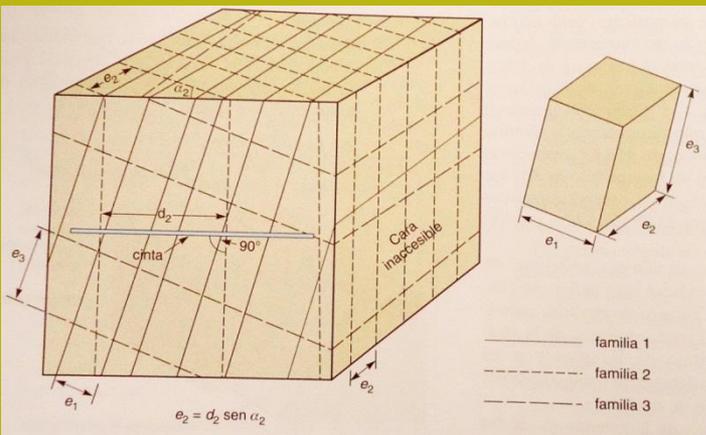


Clasificación de macizos rocosos por el número de familias de discontinuidades

Tipo de macizo rocoso	Número de familias
I	Masivo, discontinuidades ocasionales.
II	Una familia de discontinuidades.
III	Una familia de discontinuidades más otras ocasionales.
IV	Dos familias de discontinuidades.
V	Dos familias de discontinuidades más otras ocasionales.
VI	Tres familias de discontinuidades.
VII	Tres familias de discontinuidades más otras ocasionales.
VIII	Cuatro o más familias de discontinuidades.
IX	Brechificado.

(ISRM, 1981).

Índices relacionados a las rocas intacta y a macizos rocosos



Granito. Calidad buena. Varias familias de discontinuidades alteradas.

González De Vallejo et al. (2002)

Descripción del tamaño de bloque en función del número de discontinuidades

Descripción	J_v (discontinuidades/m ³)
Bloques muy grandes	< 1
Bloques grandes	1-3
Bloques de tamaño medio	3-10
Bloques pequeños	10-30
Bloques muy pequeños	> 30

(ISRM, 1981).



Índices cuantitativos ejemplo de J_v

Índice RQD (rock Quality designation) en muestra de sondeo

El índice RQD representa la relación entre la suma de las longitudes de los fragmentos de testigo mayores de 10 cm y la longitud total del tramo considerado:

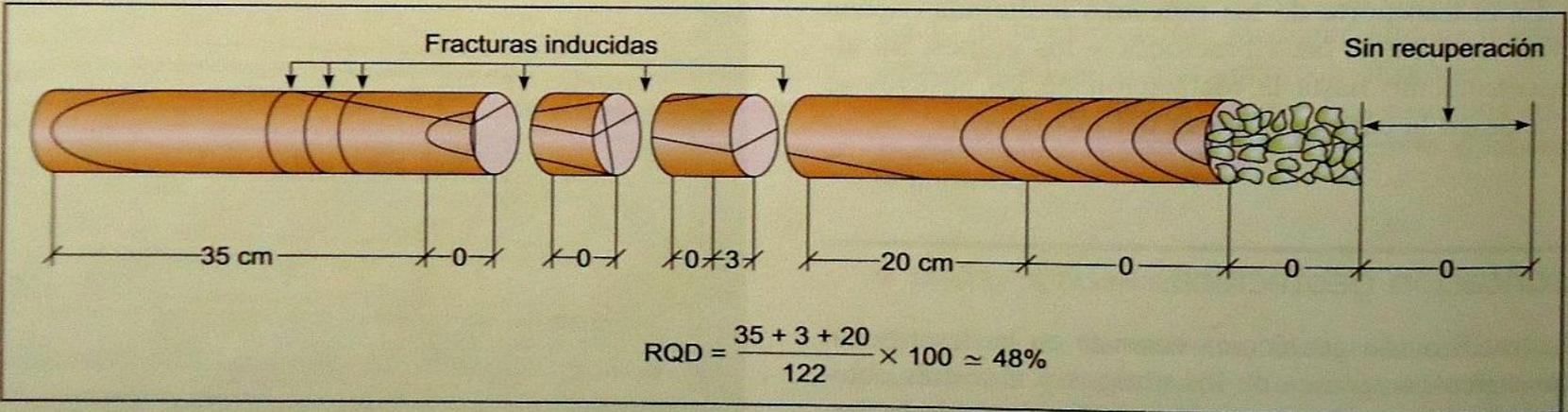
$$RQD = \frac{\sum \text{longitud de los trozos de testigo} > 10 \text{ cm}}{\text{longitud total}} \times 100$$

Para la estimación del RQD se consideran sólo los fragmentos o trozos de testigo de material fresco, excluyéndose los que presentan un grado de alteración importante (a partir de grado IV inclusive), para los que se considera un RQD = 0%. La medida del RQD se debe realizar en cada maniobra del sondeo o en cada cambio litológico, siendo recomendable que la longitud de maniobra no exceda de 1,5 m. El diámetro mínimo de los testigos debe ser 48 mm. La medida de la longitud

del testigo se realiza sobre el eje central del mismo, considerándose los fragmentos con, al menos, un diámetro completo.

A continuación se muestra el procedimiento de medida del RQD y se describe la calidad de la roca en función de este índice:

RQD %	Calidad
< 25	Muy mala
25-50	Mala
50-75	Media
75-90	Buena
90-100	Muy buena



Adaptado de Clayton *et al.*, 1995.

Índex RQD (rock Quality designation) en muestra de sondeo

Ejemplo de muestra como nucleo de sondeo en roca (y calculo de RQD)

RQD

95%

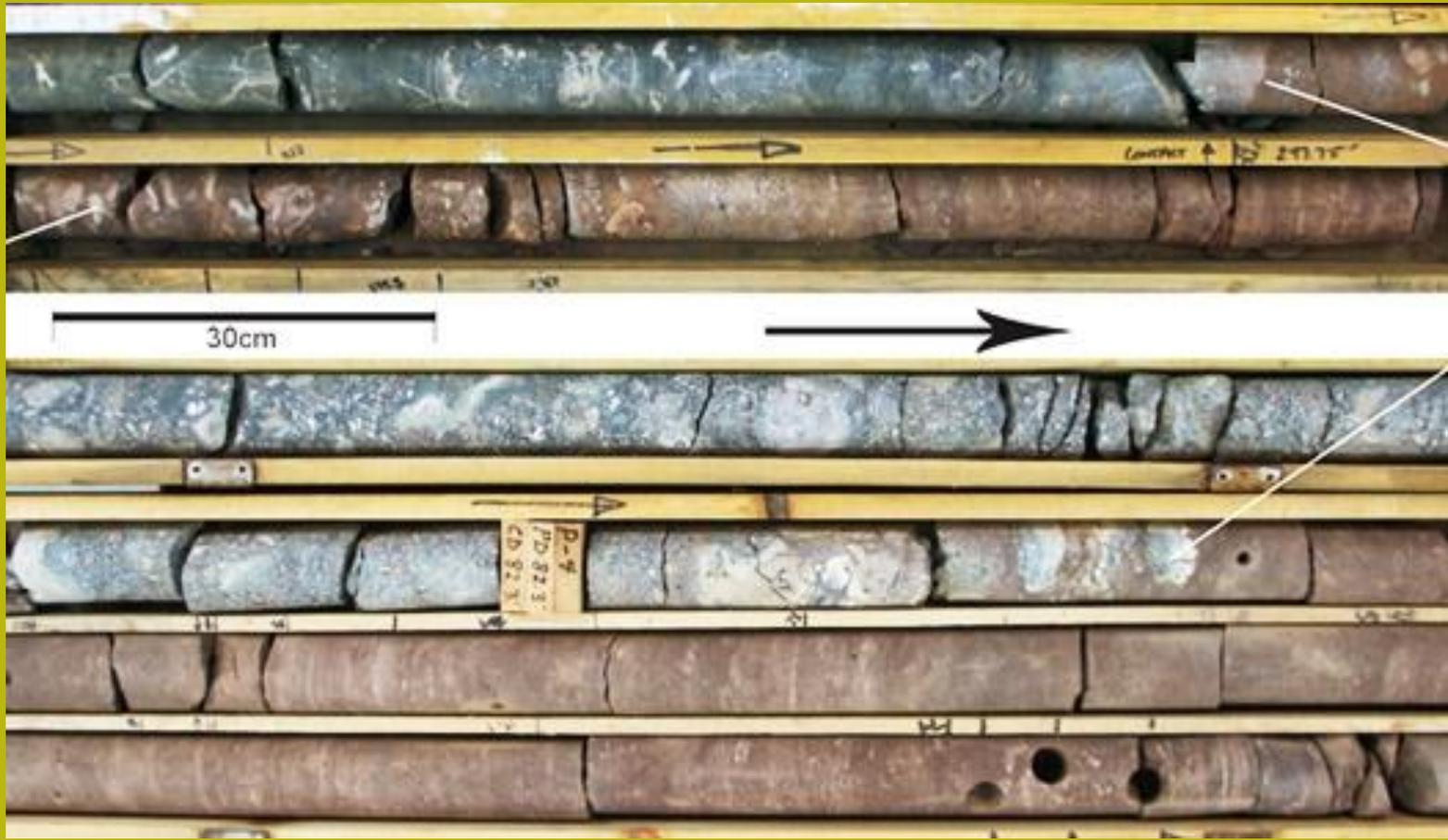
60%

65%

80%

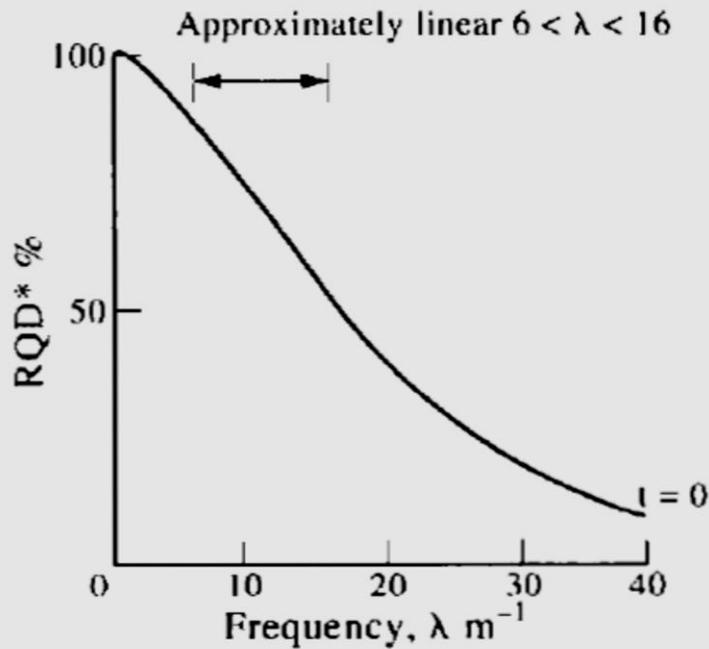
75%

85%



1m

Índex RQD (rock Quality designation) de macizo rocoso en afloramiento



Se usa una relación empírica dependiendo Da la frecuencia de discontinuidades Por metro (λ)

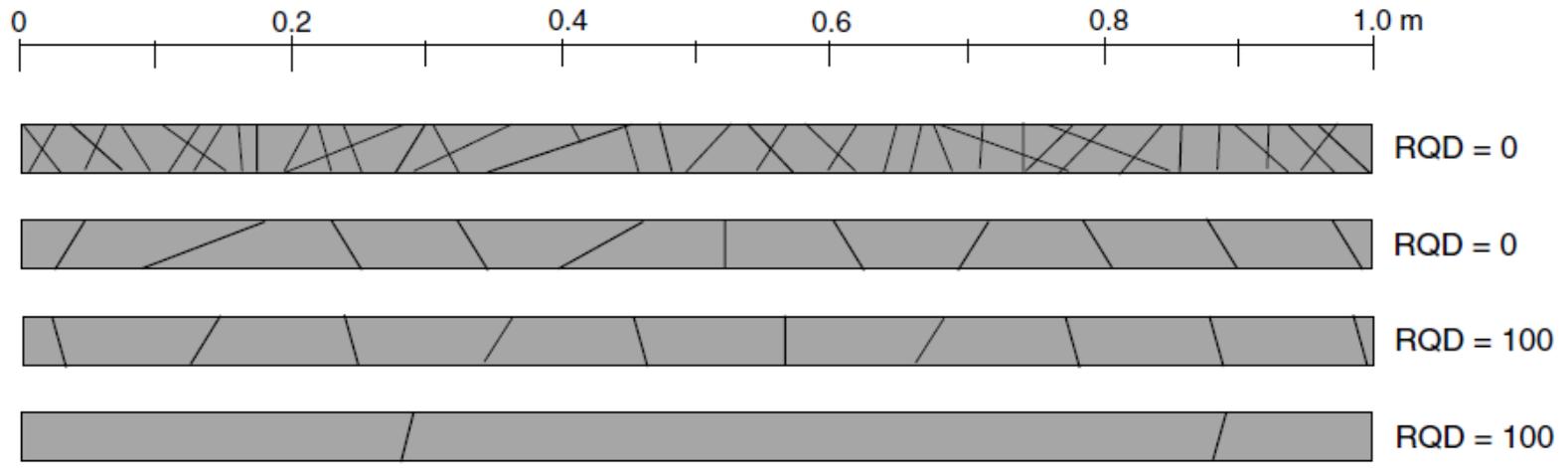
$$\lambda = \frac{\text{numero discontinuidades}}{\text{longitud de medida L(m)}}$$

RQD es un índices que exprime la Calidad del macizo rocoso en términos general de su fracturación

Clasificación de la calidad del macizo rocoso según el índice RQD

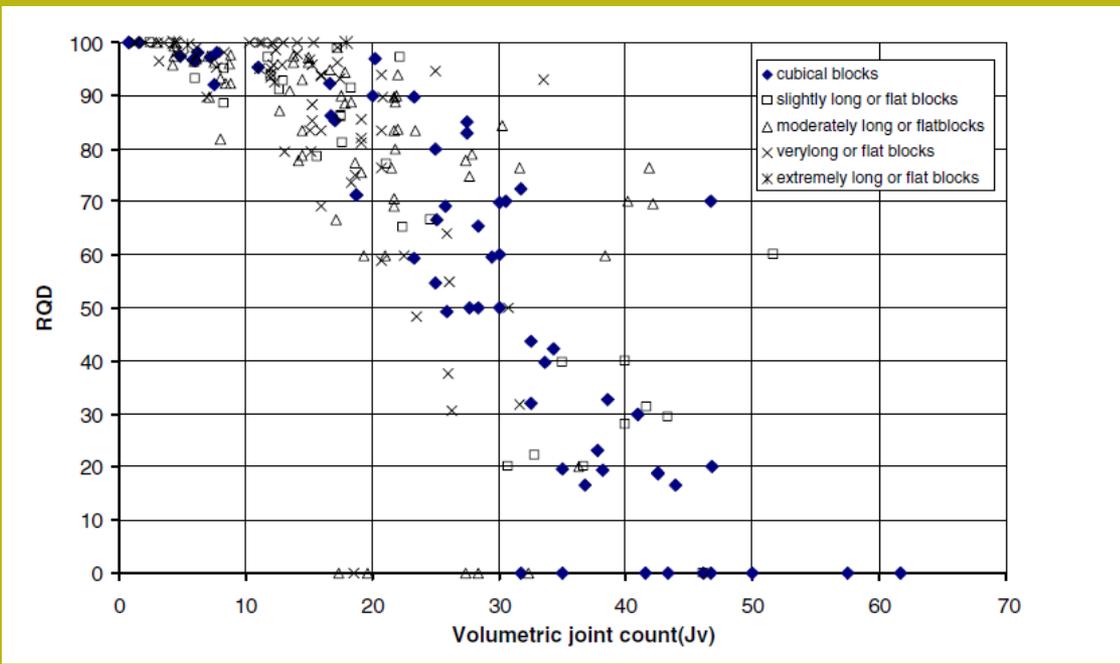
RQD %	Calidad
< 25	Muy mala
25-50	Mala
50-75	Media
75-90	Buena
90-100	Muy buena

Índex RQD (rock Quality designation) en muestra de sondeo



Examples of minimum and maximum values of RQD for various joint densities along drill cores (from Palmstrom, 2001).

J_v tiene una buena correlacion con el RQD%
 Con la siguiente relaciones basada en resultados experimentales



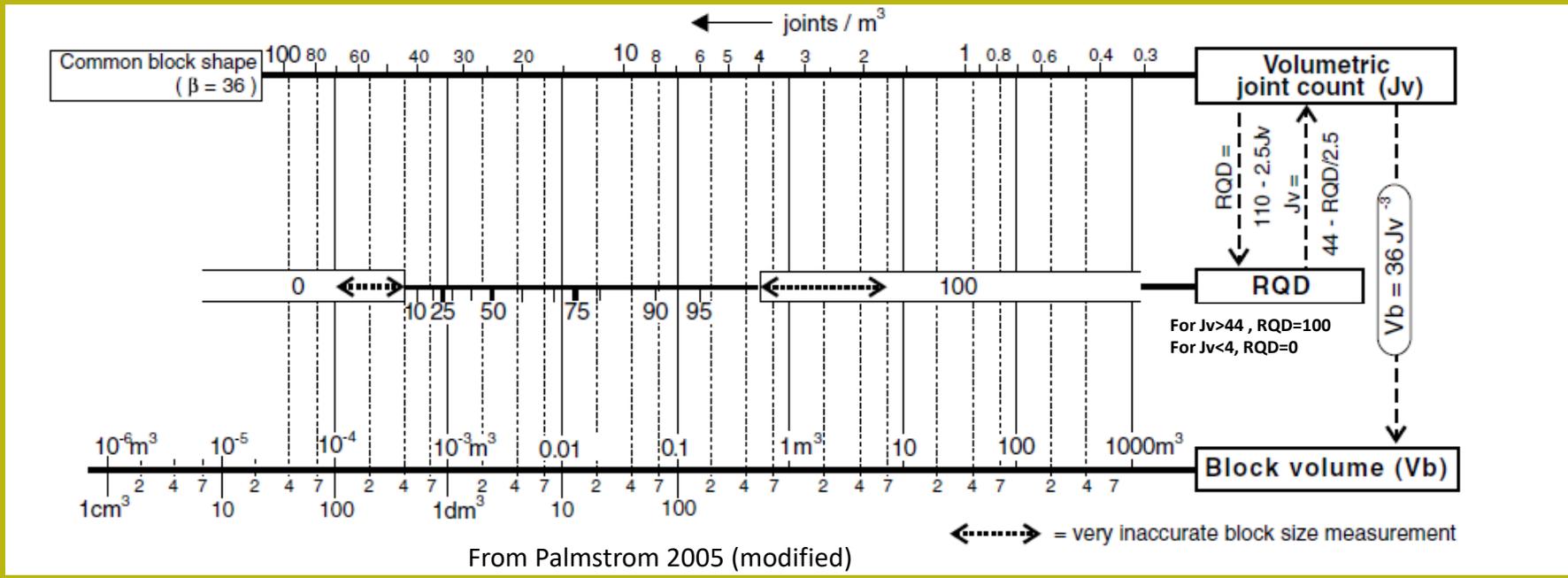
From Palmstrom 2002

Índex RQD (rock Quality designation) de macizo rocoso en afloramiento

$$RQD = 110 - 2.5 J_v$$

si $4 \leq J_v \leq 44$

Estima de RQD por medio de J_v (numero de discontinuidades por metro cubico segun Palmstrom (2005))

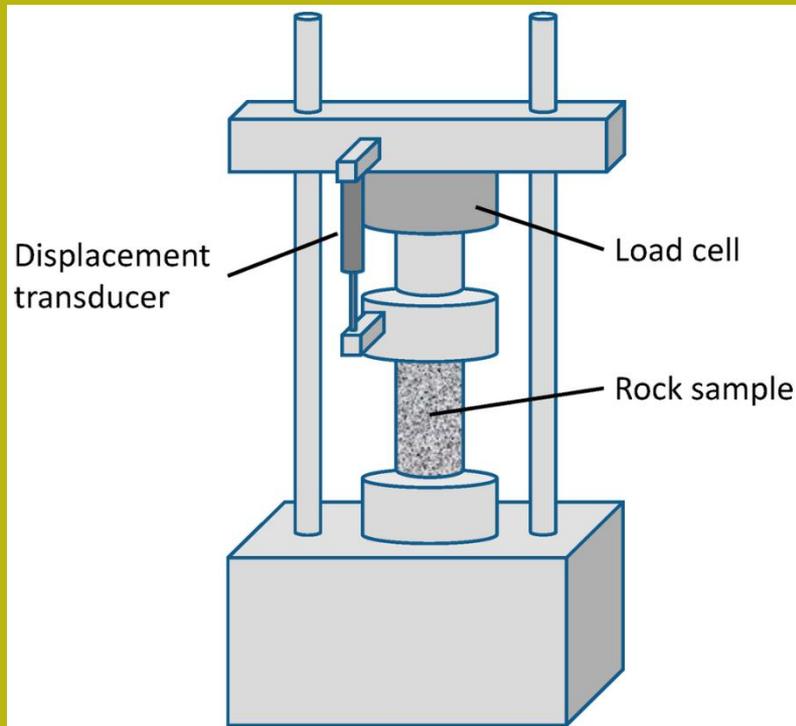


	Degree of jointing					
	Very low	Low	Moderate	High	Very high	Crushed
$J_v =$	< 1	1-3	3-10	10-30	30-60	> 60

From Palmstrom 2005

Resistencia a la compresión uniaxial (muestras de rocas intacta)

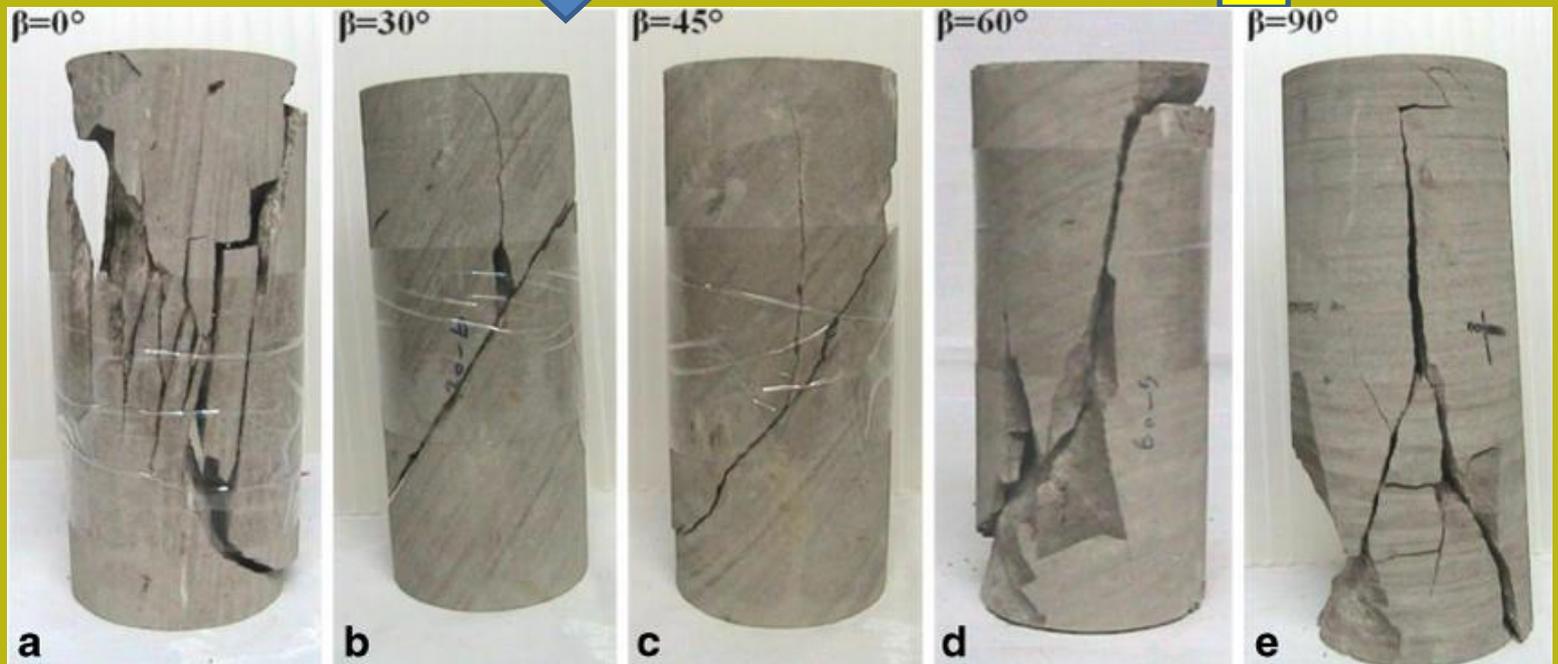
La **resistencia a la compresión uniaxial** es una propiedad índice básica muy importante en mecánica del las rocas (se expresa generalmente en MPa)



Resistencia a la compresión uniaxial (muestras de rocas intacta)

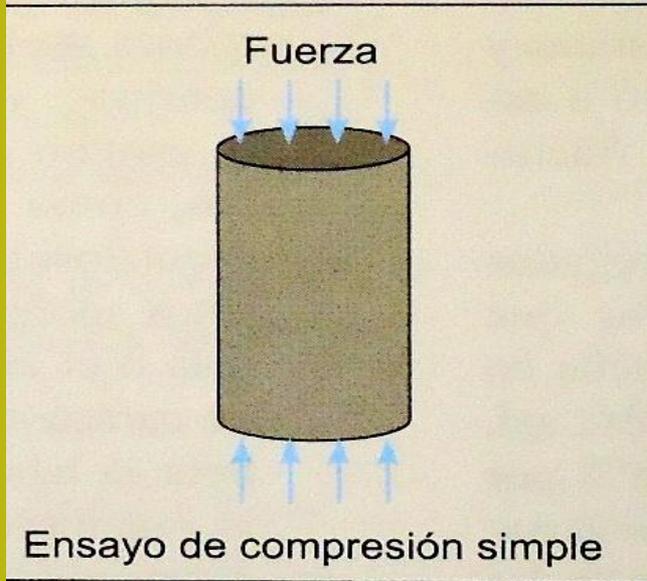


Muestras de rocas con (discontinuidades orientadas)



Resistencia a la compresión uniaxial (muestras de roca intacta)

↓ Valores de pico



La **resistencia a la compresión uniaxial** es una propiedad índice básica muy importante en mecánica del las rocas (se expresa generalmente en MPa)

De Vallejo et al. (2002)

Resistencia a la compresión uniaxial (clasificación)

Clasificación de las rocas a partir de su resistencia a compresión simple

De Vallejo et al. (2002)

Resistencia a la compresión simple (MPa)	ISRM (1981)	Geological Society of London (1970)	Bieniawski (1973)	Ejemplos
< 1	Suelos			
1-5	Muy blanda	Blanda > 1,25	Muy baja	Sal, lutita, limolita, marga, toba, carbón.
5-12,5	Blanda	Moderadamente blanda		
12,5-25		Moderadamente dura		
25-50	Moderadamente dura	Dura	Baja	Esquisto, pizarra.
50-100	Dura	Dura	Media	Rocas metamórficas esquistosas, mármol, granito, gneiss, arenisca, caliza porosa.
100-200	Muy dura	Muy dura	Alta	Rocas ígneas y metamórficas duras, arenisca muy cementada, caliza, dolomía.
> 200		Extremadamente dura	Extremadamente dura	Muy alta
> 250				



Clasificación de rocas en base a su resistencia a la compresión uniaxial

Resistencia a la compresión uniaxial (criterios de evaluación directa en campo)

Estimación aproximada y clasificación de la resistencia a compresión simple de suelos y rocas a partir de índices de campo

Clase	Descripción	Identificación de campo	Aproximación al rango de resistencia a compresión simple (MPa)
S_1	Arcilla muy blanda	El puño penetra fácilmente varios cm.	< 0,025
S_2	Arcilla débil	El dedo penetra fácilmente varios cm.	0,025-0,05
S_3	Arcilla firme	Se necesita una pequeña presión para hincar el dedo.	0,05-0,1
S_4	Arcilla rígida	Se necesita una fuerte presión para hincar el dedo.	0,1-0,25
S_5	Arcilla muy rígida	Con cierta presión puede marcarse con la uña.	0,25-0,5
S_6	Arcilla dura	Se marca con dificultad al presionar con la uña.	> 0,5
R_0	Roca extremadamente blanda	Se puede marcar con la uña.	0,25-1,0
R_1	Roca muy blanda	La roca se desmenuza al golpear con la punta del martillo. Con una navaja se talla fácilmente.	1,0-5,0
R_2	Roca blanda	Se talla con dificultad con una navaja. Al golpear con la punta del martillo se producen pequeñas marcas.	5,0-25
R_3	Roca moderadamente dura	No puede tallarse con la navaja. Puede fracturarse con un golpe fuerte del martillo.	25-50
R_4	Roca dura	Se requiere más de un golpe con el martillo para fracturarla.	50-100
R_5	Roca muy dura	Se requieren muchos golpes con el martillo para fracturarla.	100-250
R_6	Roca extremadamente dura	Al golpearlo con el martillo sólo saltan esquirlas.	> 250

(ISRM, 1981)

De Vallejo et al. (2002)



Schmidt's Hammer para evaluación de la resistencia a la compresión uniaxial de rocas y concreto directa en campo



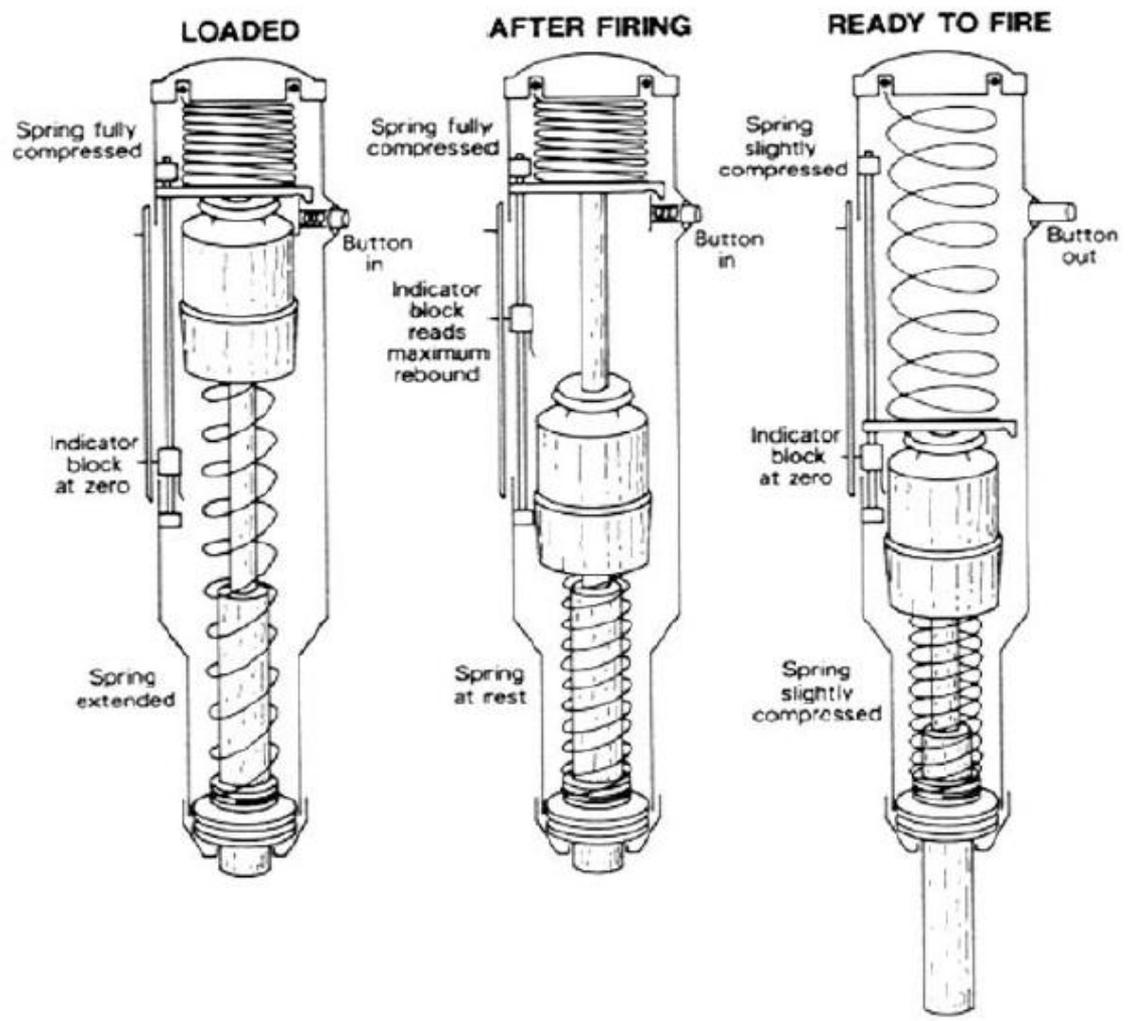
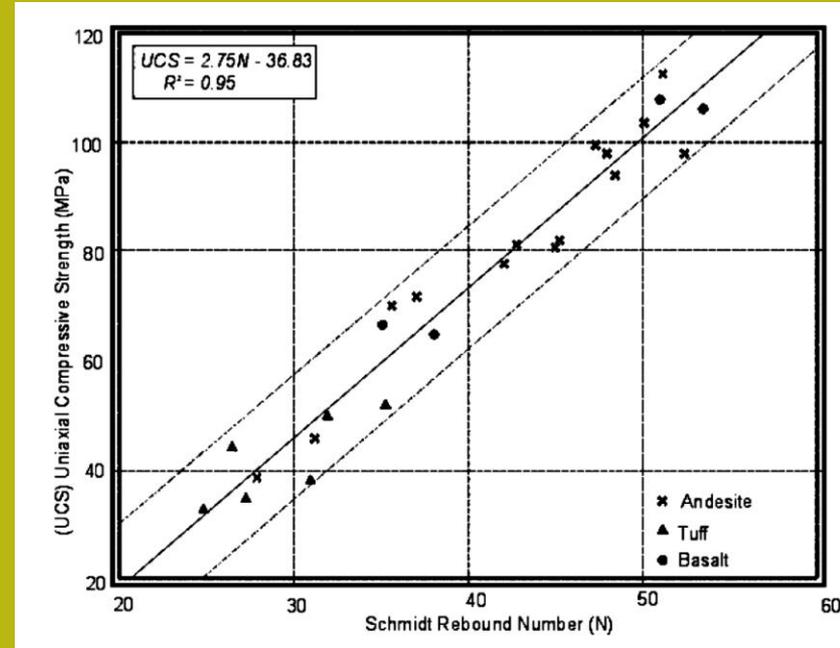
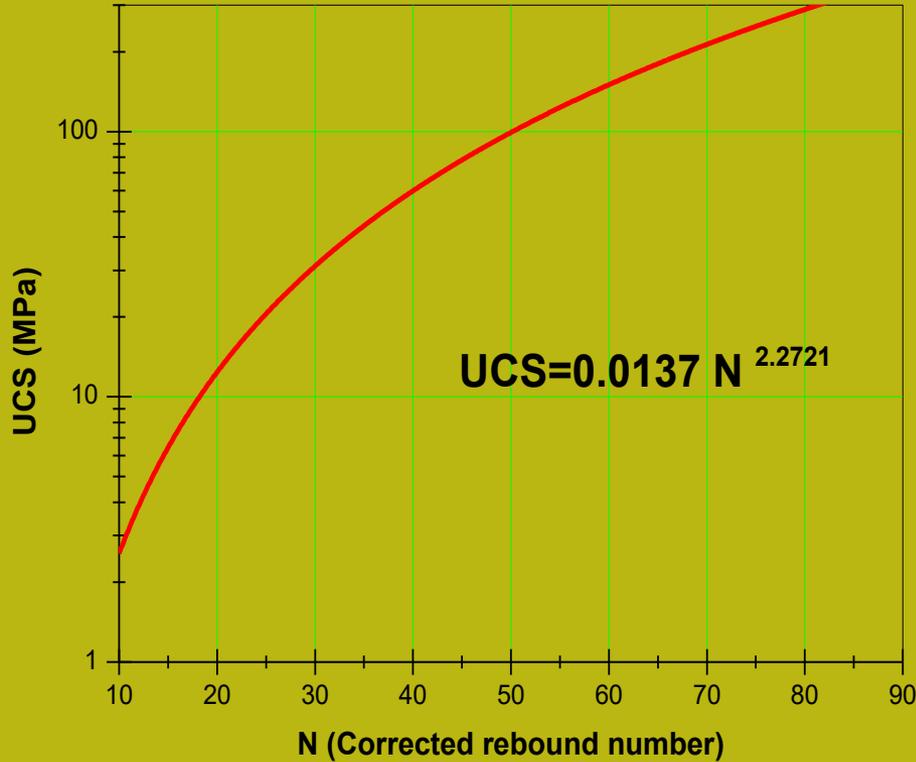


Fig. 2. Working principle of a Schmidt hammer [3].

Schmidt Hammer - Sistema de medición de No. De rebotes de una punta de acero impactando en la superficie de la roca



Para pasar de numero de rebotes N medido por el Schmidt's Hammer a Uniaxial compressive strength - UCS (MPa) hay varias correlaciones estadísticas propuestas d en varios estudios

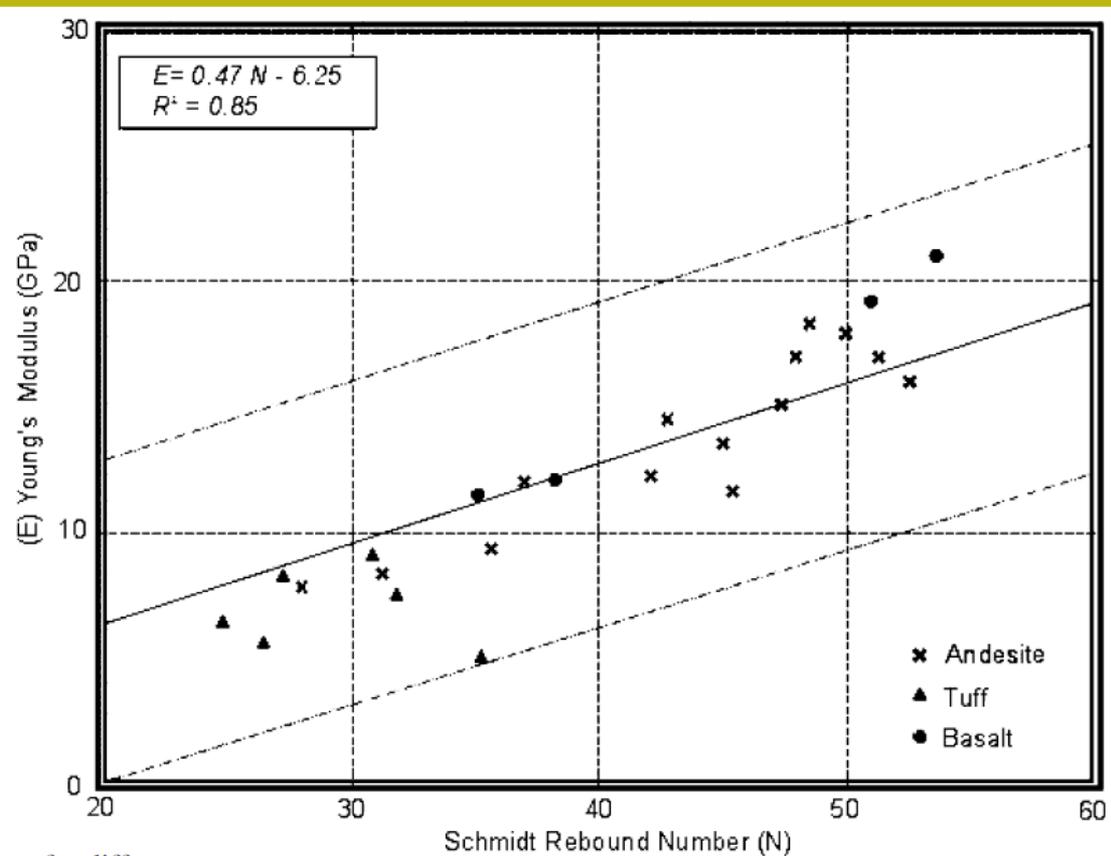


Table 1 Ranges of RQD and Schmidt rebound values for different weathering degrees

Weathering grade	^a RQD(%)	SHV
I	50–100	53 < SHV ≤ 62
II	50–100	40 < SHV ≤ 53
III	0–50	30 < SHV ≤ 40
IV	0–50	20 < SHV ≤ 30
V	NA	NA
VI	NA	NA

RQD Rock quality designation; SHV Schmidt hammer rebound value; NA Not applicable

^a Obtained from the dacites only



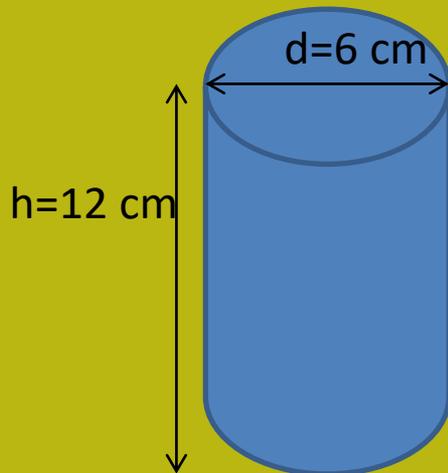
Correlacion Para pasar de numero de rebotes N medido por el Schmidt's Hammer a Modulo de elasticidad E (MPa) rocas volcánicas

PARTE II – ejercicios

Ejercicio I.1

Calculo de la densidad de una muestra de suelo

**Una muestra de forma cilíndrica de diámetro $d=6$ cm y altura $H=12$ cm
Tienen una masa en condición de humedad natural de 550 g.
Calcular su densidad en g/cm^3 y Mg/m^3**



1) Se calcula el volumen de la muestra

$$\text{Volumen } V = 12 * \pi (d/2)^2 = \underline{\underline{339 \text{ cm}^3}}$$

2) La densidad en g/cm^3 es : $M/V = 550/339 = \underline{\underline{1.62 \text{ g/cm}^3}}$

3) el valor en Mg/m^3 es equivalente a g/cm^3 porque el factor de conversión es 1.0

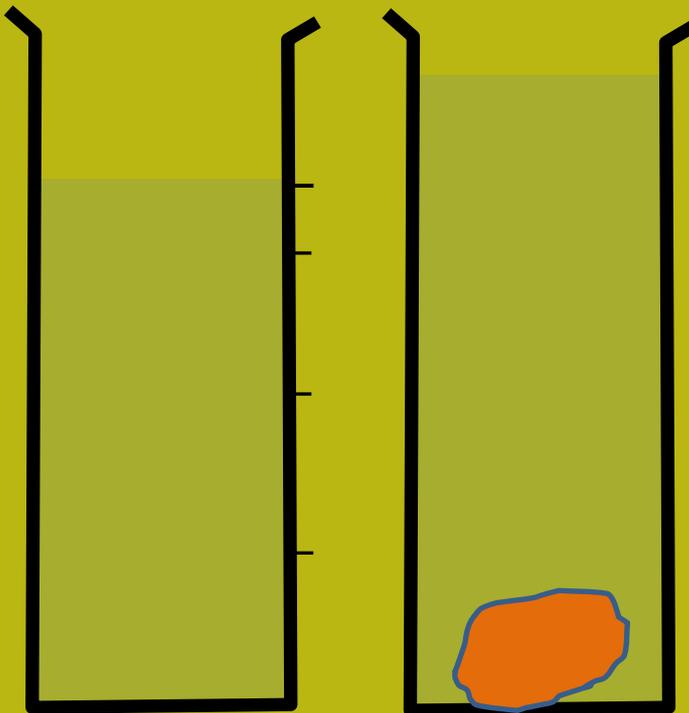
Ejercicio propuesto: una muestra de densidad 1.34 Mg/m^3 y masa 3.45 kg que volumen ocupa ?

Ejercicio 1.2

Calculo de la densidad de un muestras de rocas

Una muestra de roca de forma irregular esta puesta en un contenedor cilíndrico relleno de agua.

La indicación de volumen inicial del agua estaba de 3.5 litros y después la inserción de la muestra la indicación de volumen del contenedor es 4.3 litros. La muestra Tiene una masa de 2.05 kg. Calcular su densidad en g/cm³ y Mg/m³

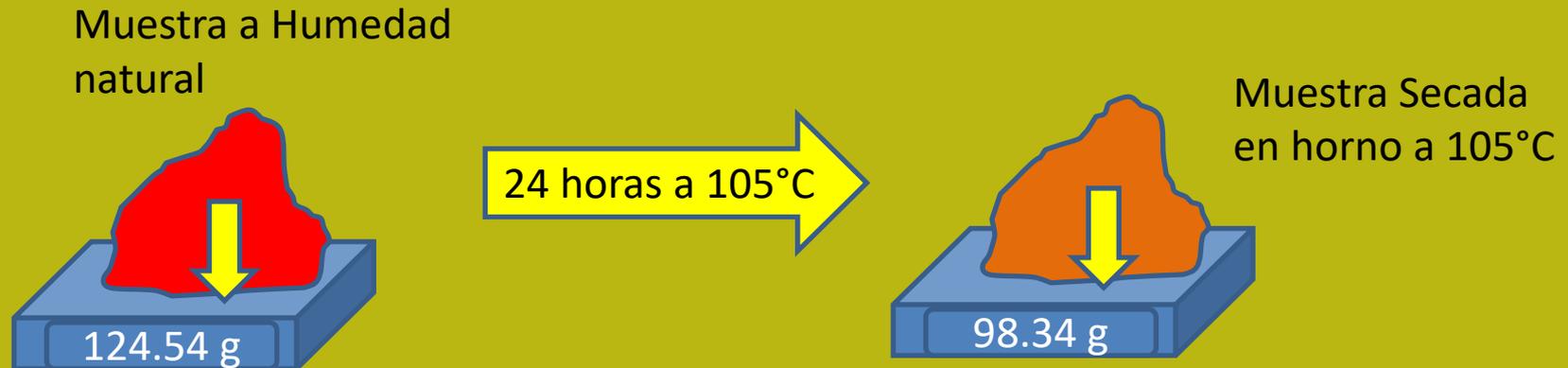


- 1) Se calcula el volumen de la muestra
 $V = \text{volumen final} - \text{volumen inicial} = 0.8 \text{ l} = \underline{800 \text{ cm}^3}$
- 2) La masa M en g es $2.05 \times 1000 = 2050 \text{ g}$
- 3) La densidad en g/cm³ es :
 $M/V = 2050/800 = \underline{2.56 \text{ g/cm}^3}$

Ejercicio propuesto: una muestra de roca de densidad 2.82 Mg/m³ con un volumen de 1.3 dm³, que masa tiene en kg?

Ejercicio 1.3

Calculo de % de contenido de agua W% (en peso)



Calcular el contenido de humedad de la muestra?

$$w\% = \frac{M_w}{M_s} \times 100 = \frac{124.54 - 98.34}{98.34} \times 100 = \frac{26.2}{98.34} \times 100 = 26.64\%$$

Ejercicio propuesto:

A que masa húmeda total corresponde un muestra con masa seca $M_s = 211 \text{ g}$ y contenido de humedad inicial $W=12\%$?

Ejercicio 1.4 – calculo de el índice de vacío

Una manera fácil de calcular el índice de vacío e de una muestra es saturarla completamente de agua y medir su densidad. ρ_{sat}

Y entonces se usa esta formula :

$$e = \frac{G_s \rho_W - \rho_{sat}}{\rho_{sat} - \rho_W}$$

Donde

ρ_{sat} es la densidad de la muestra satura

ρ_W es da densidad de el agua 1.0 g/cm³

G_s Es equivalente a la densidad de la fracción solida usualmente se pone 2.65, (en este caso es expresada como fracción entre la densidad de la partiula solida y la del liquido (agua))

Cual es el índice de vacíos de una muestra con volumen) de $V_T=1800$ cm³ y Masa solido $M_s= 2500$ g y masa agua a completa saturación de vacíos $M_w=400$ g ?

MT (saturación) = $M_s + M_w$ (saturación) = 2500 + 400 = 2900 g

$$\rho_{sat} = \frac{M_T}{V_T} = \frac{2900}{1800} = 1.61 \text{ g/cm}^3$$

$$e = \frac{2.65 \times 1.0 - 1.61}{1.61 - 1.0} = 1.70$$

Ejercicio propuesto:

Calcular de la misma muestra

El volumen de los vacíos V_v

Ejercicio 1.5 – calculo de el índice porosidad

Cual es el índice de porosidad de una muestra con volumen de $V_T=1800 \text{ cm}^3$ y Volumen solido $V_s= 1200 \text{ cm}^3$?

$$V_v = V_T - V_s = 1800 - 1200 = 600 \text{ cm}^3$$

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{600}{1200} = 0.5 \qquad \phi = \frac{e}{1+e} = \frac{0.5}{1+0.5} = 0.33$$

Ejercicio propuesto:

Calcular de la misma muestra el índice de porosidad después un hinchamiento libre del 12% de volumen total V_T

Sugerencia: para ejercicios adicionales .. estudiar y ver en el capítulo 2 (Holtz & Kovacs 1997) (en las sección 2.1,2.2 y 2.3 y ejercicios da 2.1 a 2.15 y da 2.23 a 2.25)

Ejercicio 1.6 – calculo de contenido de agua en volumen (teta)

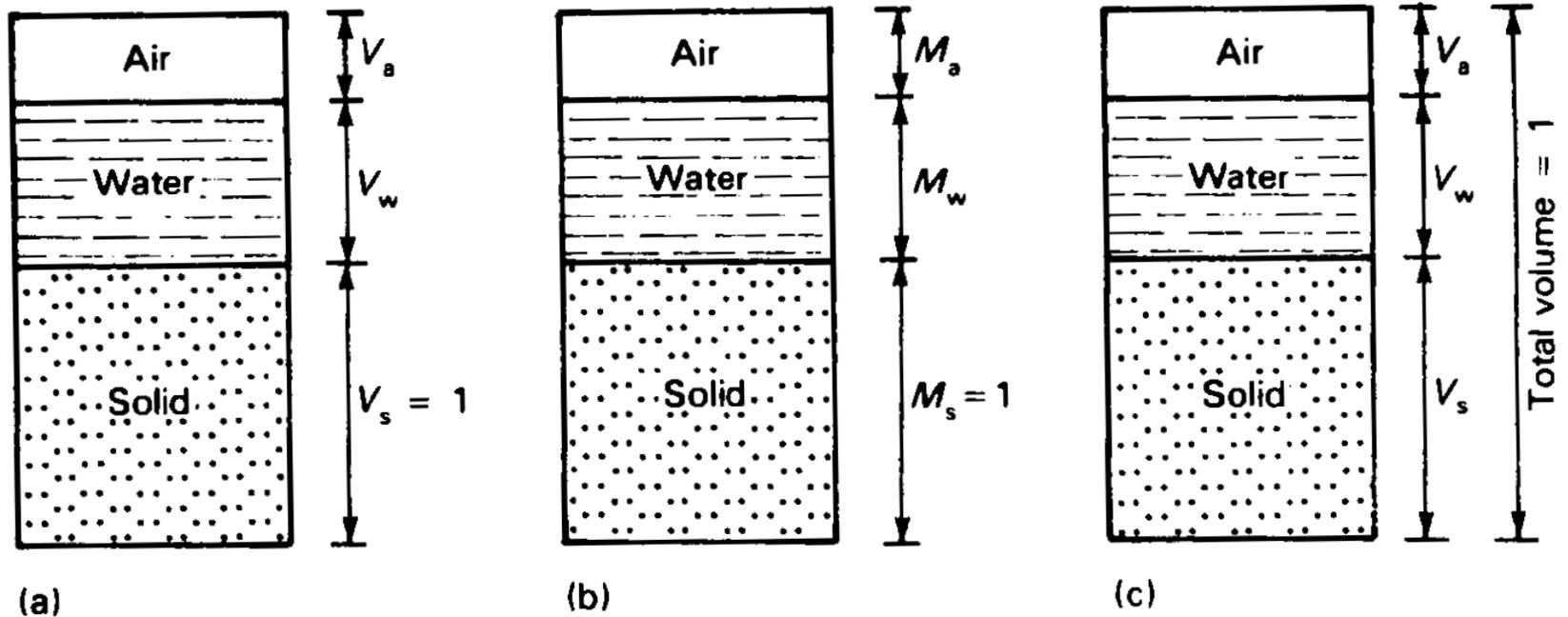


Fig 3.1 Three-phase soil models

(a) Unit solid volume (b) Unit solid mass (c) Unit total volume

Diagrama de fase mas general con la inclusión del modelo unitario ©
(Withlow 1995)

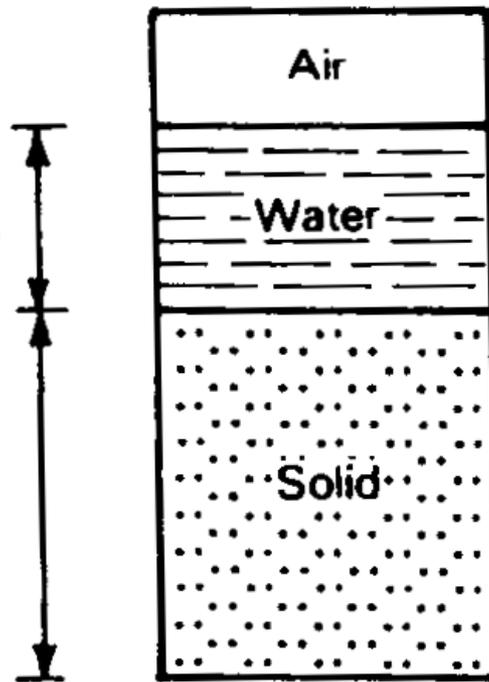
Ejercicio 1.6 – calculo de contenido de agua en volumen (teta)

Masses

$$M_a = 0$$

$$M_w = w G_s \rho_w$$

$$M_s = G_s \rho_w$$



Volumes

$$V_a = e (1 - S_r)$$

$$V_w = S_r e = w G_s$$

$$V_s = 1$$

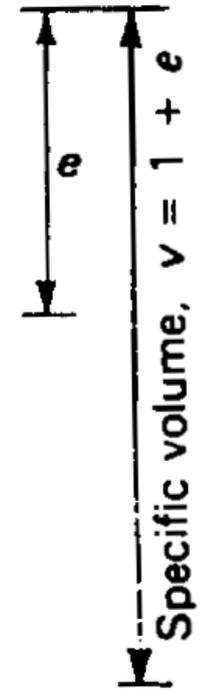


Fig. 3.2 Unit solid volume soil model

Relaciones volumétricas en el modelo unitario (Withlow 1995)

Nota bien: con w es indicado el contenido de humedad como fracción en masa.

Ejercicio 1.6 – calculo de contenido de agua en volumen (theta)

Una muestra de suelo de volumen total 1400 cm³

Tienes los siguiente valores:

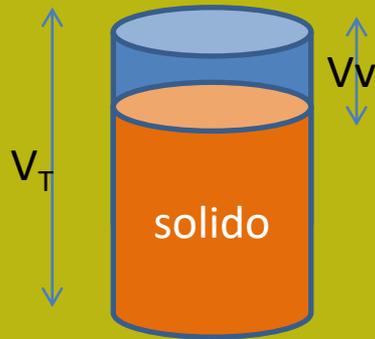
Volumen total $V_T = 1400 \text{ cm}^3$

Contenido de agua $W\% = 22.5$

Índice de vacíos $e = 0.51$

Calcular volumen de vacíos, solido y agua y el contenido de agua en volumen (theta).

Se calculan los volumen como:



$$V_v = \frac{V_T e}{1 + e} = \frac{1400 \times 0.51}{1.51} = 472.85 \text{ cm}^3$$

$$V_s = V_T - V_v = 927.15 \text{ cm}^3$$

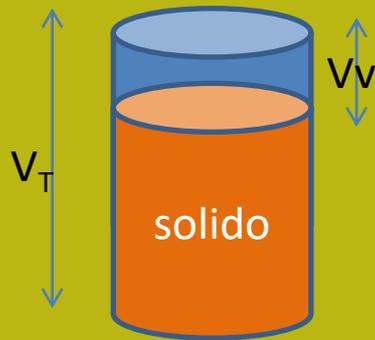
$$V_w = V_v \frac{W}{100} G_s = 472.85 \times 0.225 \times 2.65 = V_v \times 0.59 = 278.9815 \text{ cm}^3$$

Y entonces :

$$\theta = \frac{V_w}{V_T} = \frac{278.9815}{1400} = 0.1992 \approx 20.0\%$$

PARA DEDUCIR COMO SE RICA VAN ESTAS FORMULAS SE VEAN LA NOTAS EN LA PAGINAS ANTERIORES

Ejercicio 1.7 – calculo de contenido de agua en volumen (theta)



Ejercicio propuesto:

Una muestra de suelo de volumen total 1400 cm³

Tienes los siguiente valores:

Volumen total $V_T = 1400 \text{ cm}^3$, $V_v = 500 \text{ cm}^3$

Masa solido $M_s = 2500 \text{ g}$

Calcular la densidad a un nivel de saturación de 0 % 50% e 100%

Se asume que la muestra no tenga un cambio de volumen

Visible con el contenido de agua

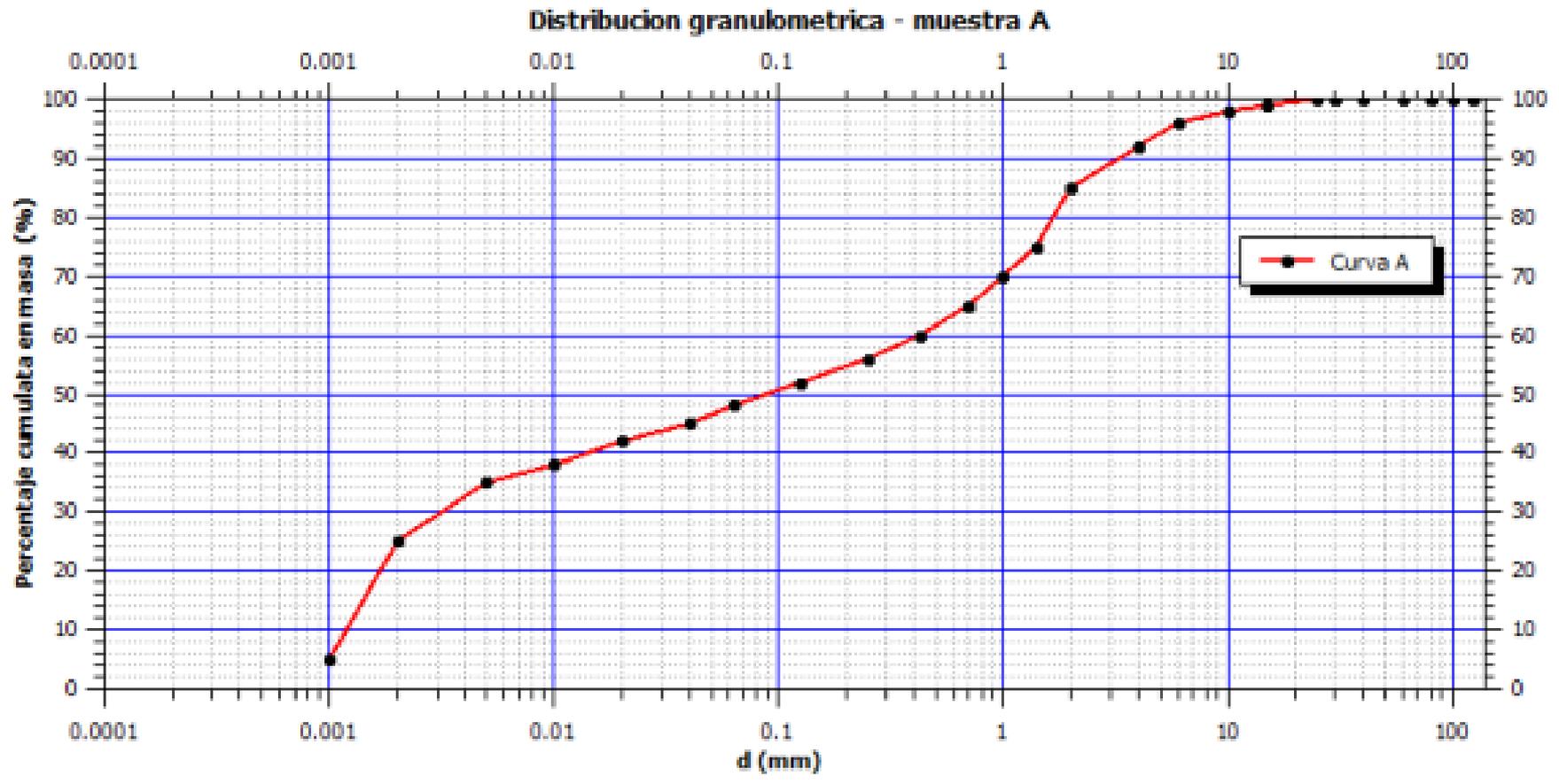
Se recuerda el nivel de saturación varia da 0 a 100%
y se calcula como:

$$S = \frac{V_w}{V_v} \quad \text{como fraccion variable entre 0.0 y 1.0}$$

$$S = \frac{V_w}{V_v} \times 100 \quad \text{como \%}$$

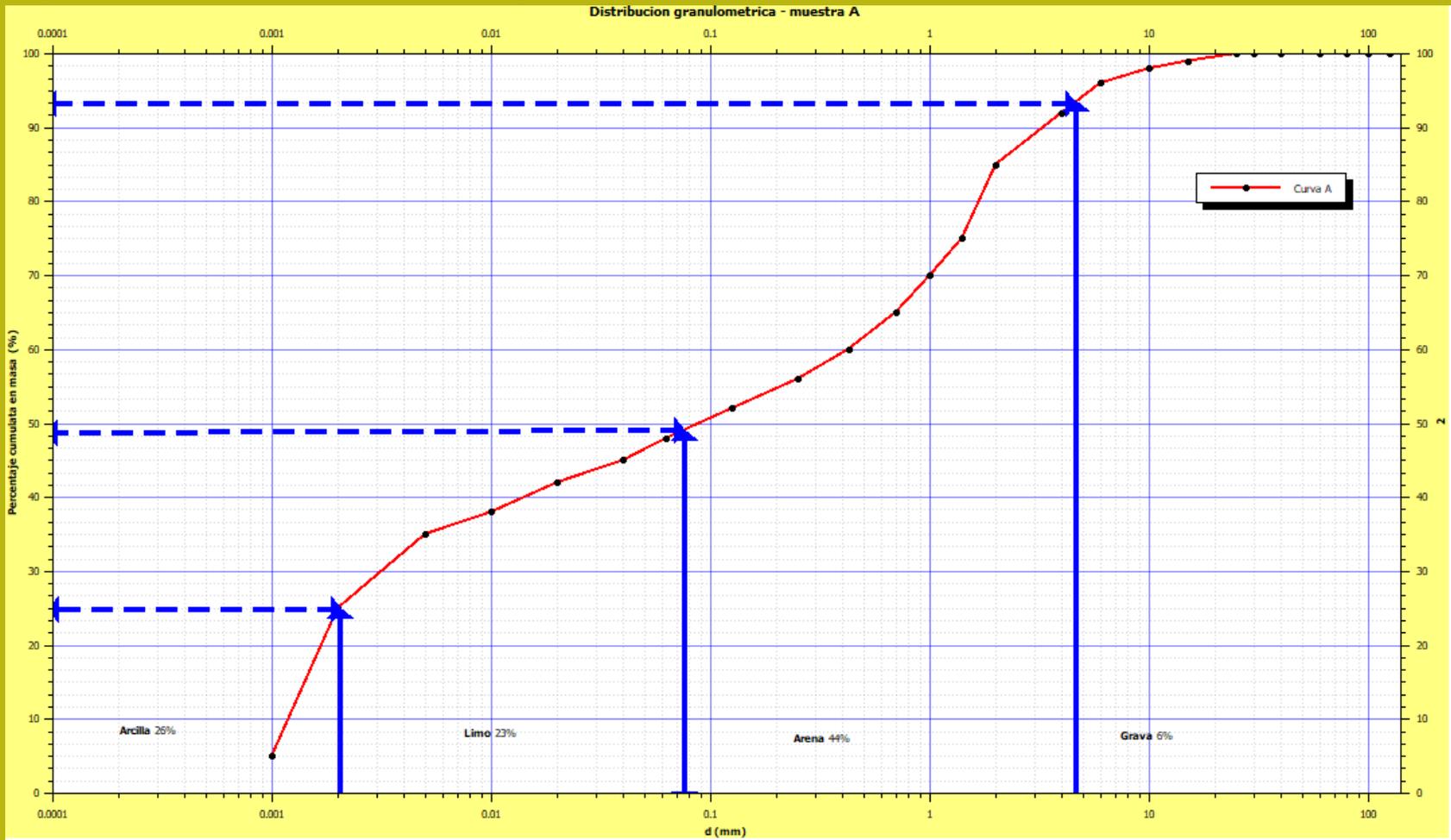
Sugerencia: para ejercicios adicionales .. estudiar y ver ejercicios en el capitulo 3 (Withlow 1995) (en las secciones 3.1, 3.2,3.3 y 3.4)

Ejercicio 1.8 – calculo curvas granulométrica



data esta distribución granulométrica (curva A) Calcular la porcentaje total de arcilla, limo ,arena y grava y el coeficiente de Uniformidad Cu

Ejercicio 1.8 – calculo curvas granulométrica

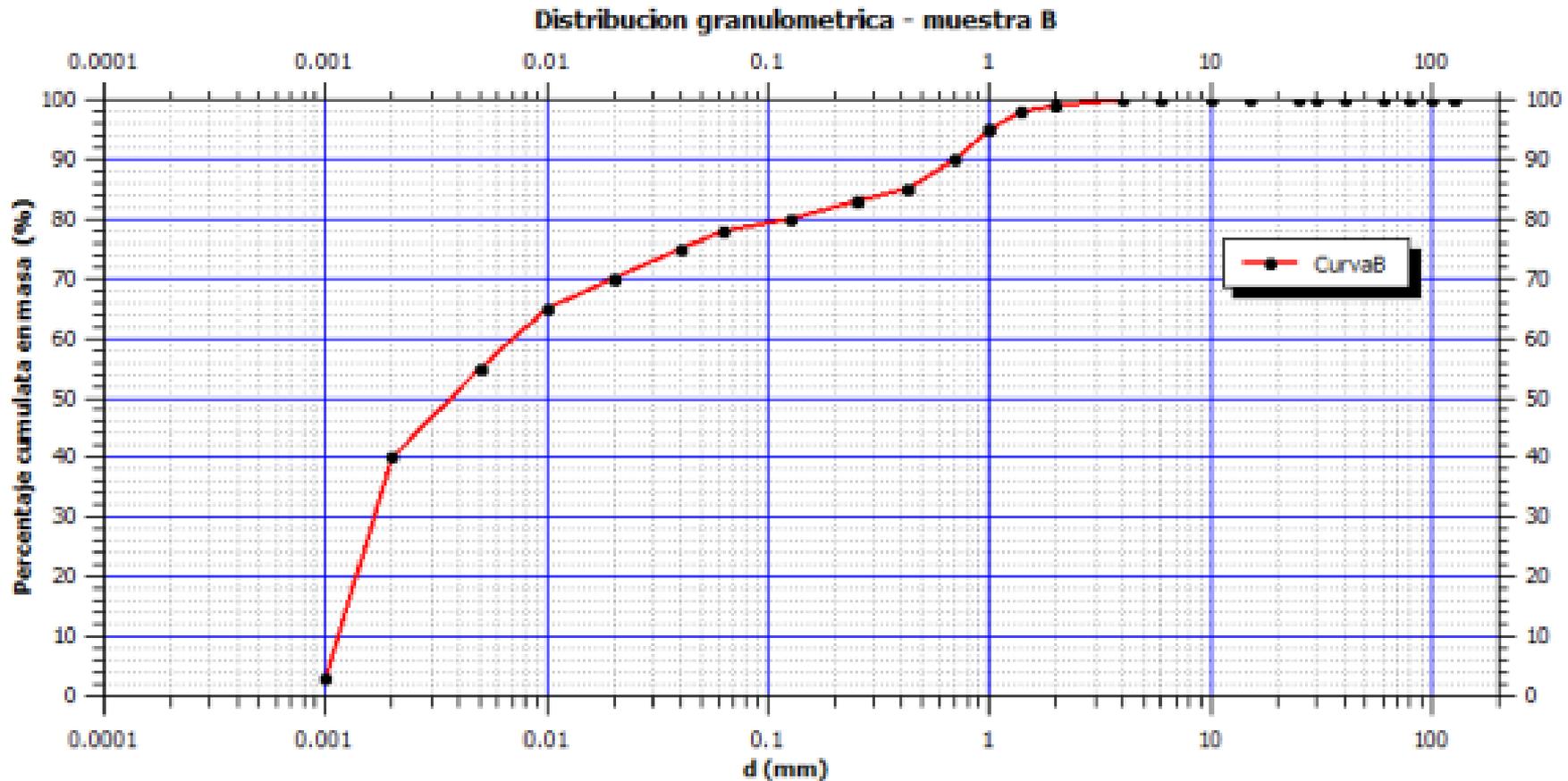


Con la interpolación de la curva A a los valore correspondiente al limite de clase se calcula por diferencia la porcentaje de cada clase.

Es arcilla=26%, limo=23%, Arena=45%, Grava=6% → total 100%

El coeficiente Cu se calcula con lo diámetro correspondiente a los percentiles 60% y 10%. Entonces $D_{60}=0.42$ mm $D_{10}= 0.0013$ $Cu=0.42/0.0013 = 323.07$

Ejercicio 1.8 – calculo curvas granulométrica

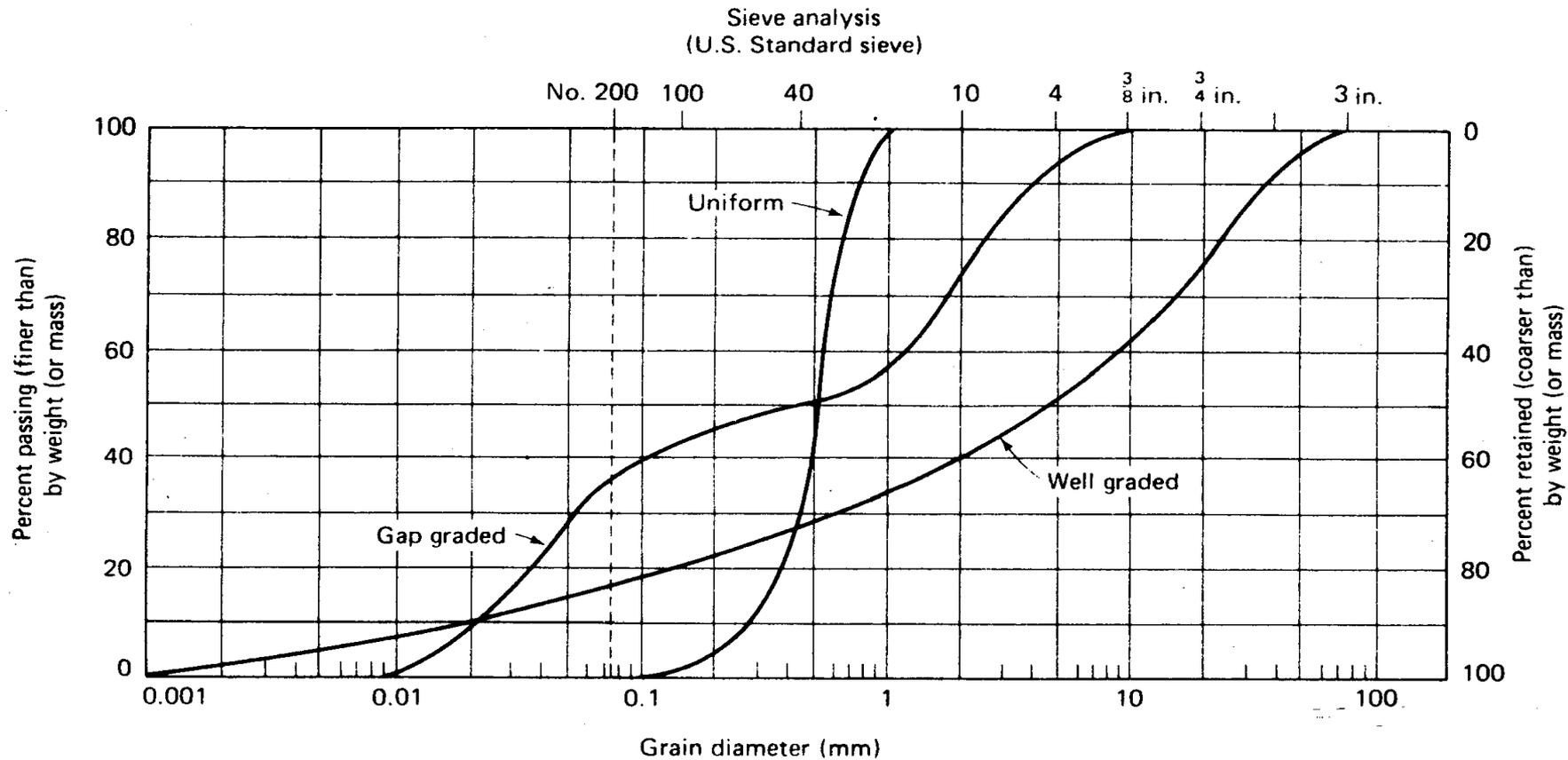


Ejercicio propuesto

data esta distribución granulométrica (curva B) Calcular la porcentaje total de arcilla, limo ,arena y grava , el coeficiente de Uniformidad C_u y el coeficiente de curvatura C_c (se vea ejemplo ejercicio 1.8)

Sugerencia: para ejercicios adicionales .. estudiar y ver ejercicios en el capitulo 2 (Holtz & Kovacs 1997) (en las seccion 2.5 y ejercicios 2.33 y 2.34)

Ejercicio 1.9 – calculo curvas granulométrica



Ejercicio propuesto

data estas distribución granulométricas (*Holtz & Kovacs 1997*) Calcular la porcentaje total de arcilla, limo ,arena y grava , el coeficiente de Uniformidad C_u y el coeficiente de curvatura C_c (*se vea ejemplo ejercicio 1.8*)

Sugerencia: para ejercicios adicionales .. estudiar y ver ejercicios en el capitulo 2 (Holtz & Kovacs 1997) (en las seccion 2.5 y ejercicios 2.33 y 2.34)

Ejercicio 1.10 – calculo de índices de Atterberg

Esto valores de limite de consistencia (o de Atterberg) y humedad natural W_n y % de arcilla se dan por dos muestras : M1 y M2

Muestra	LC	LP	LL	W_n	%arcilla
M1	15	20	54	32	20
M2	11	25	78	46	48

Tabla 1

Calcular las siguientes propiedad índice: IP (índice de plasticidad) , IC (índice de contracción) y , A (índice de actividad).

Muestra	$IP=LL-LP$	$IC=LP-LC$	$A=IP/\%arcilla$
M1	34	5	1.7
M2	53	14	1.125

Tabla 2

Ejercicio propuesto: comentare la diferencias mas importante entre la muestras M1 y M2 (ver la tablas 1 y 2) y calcular el índice de liquidez de cada muestra.

Sugerencia: para ejercicios adicionales .. estudiar y ver ejercicios en el capitulo 2 (Withlow 1995) (en las secciones 2.6 y 2.7) y en el capitulo 2 (Holtz & Kovacs 1997) (en las sección 2.7 y ejercicios 2.35 , 2.36 y 2.37)

Ejercicio I.11 – RQD

Calcular el índice RQD da un núcleo de sondeo De longitud total 200 cm como en figura a lado.

$$RQD = \frac{38 + 17 + 20 + 43}{200} \times 100 = 59\%$$

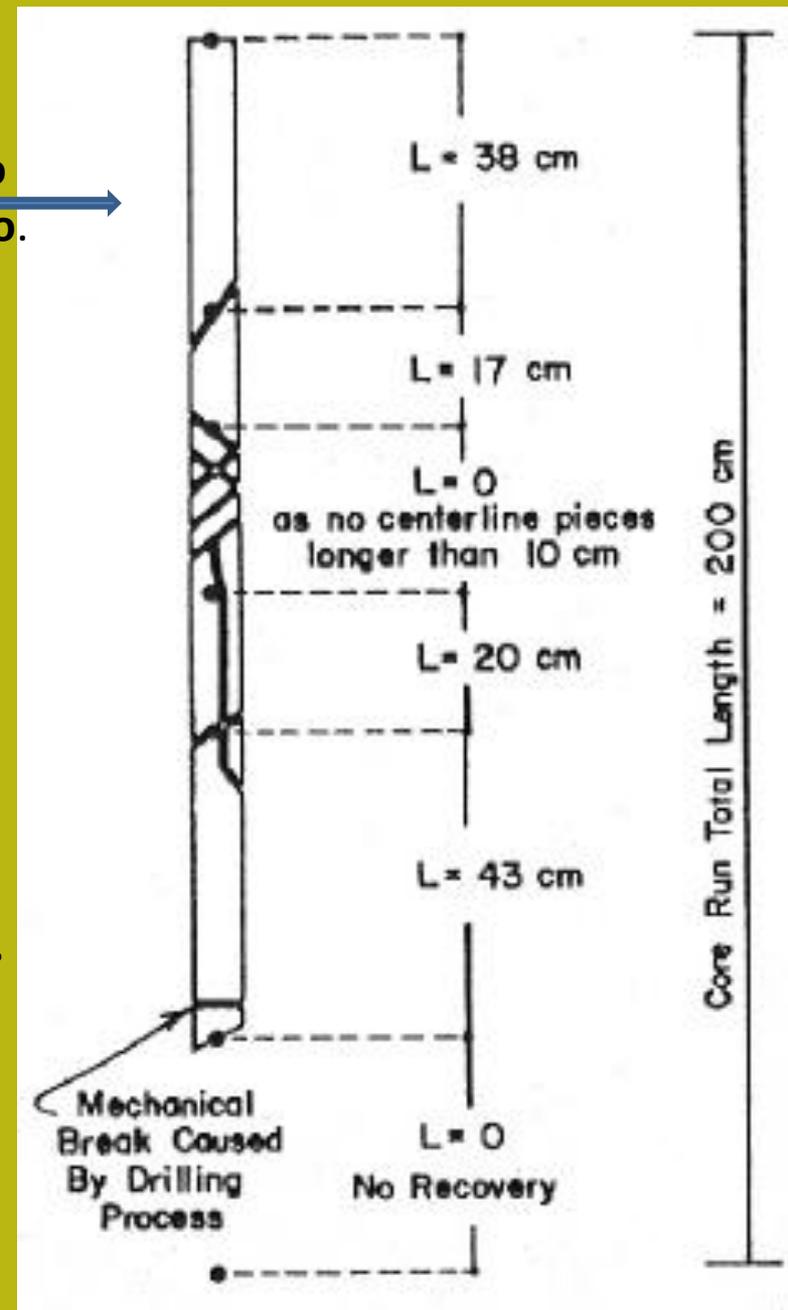
Exercicio propuesto:

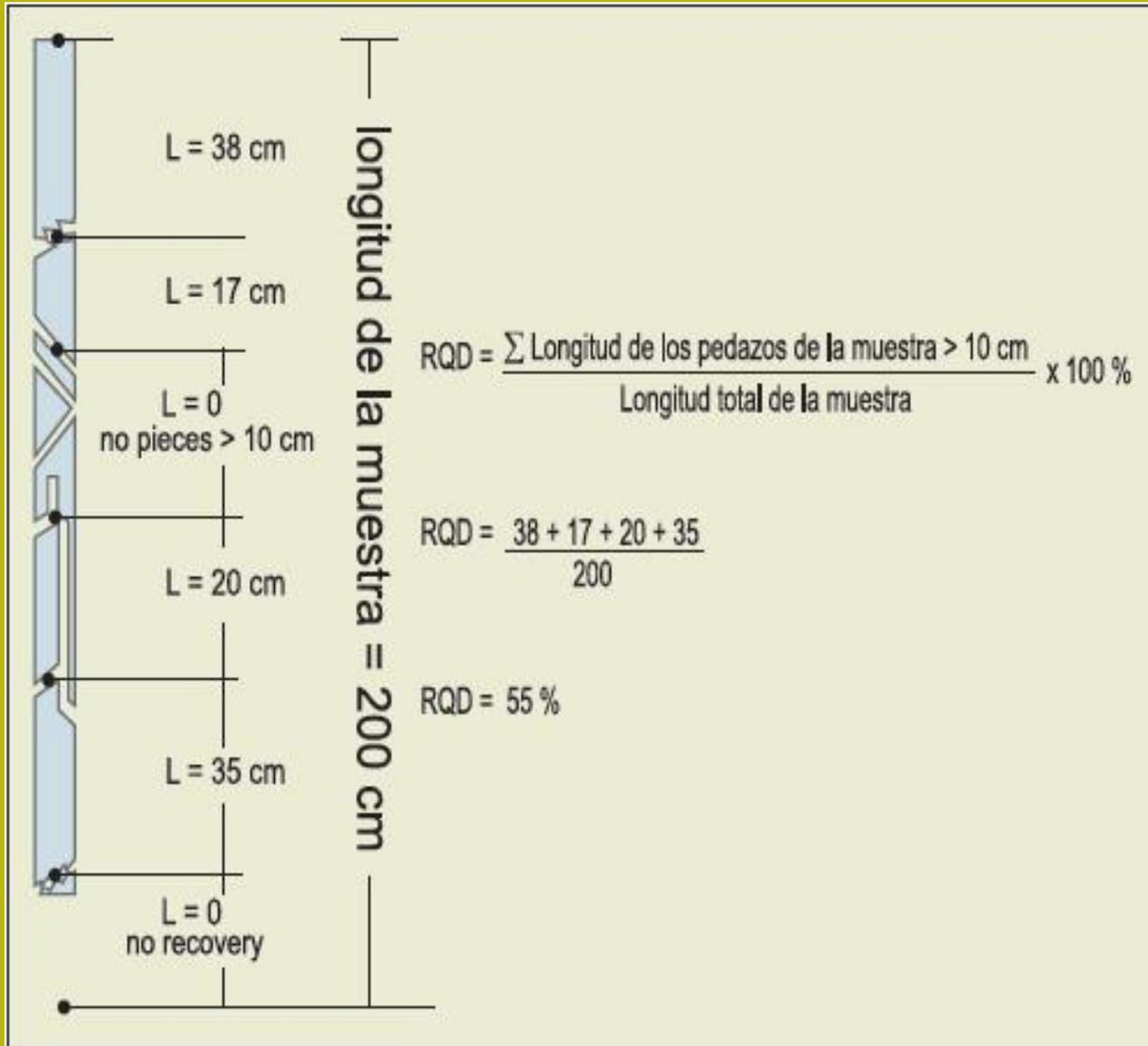
En el al mismo sitio se medió en superficie un promedio di 30 discontinuidades en una Longitud total de 5 m de scan line



Calcular el numero de discontinuidades por metro λ y el valor de RQD Correspondiente. (se vean las ecuaciones indicadas anteriormente)

Sugerencia: para ejercicios adicionales .. estudiar y ver ejemplos en el capitulo 7 (Hudson & Harrison 1997) (en las secciones 7.1 y 7.2)





otro ejemplo
de calculo RQD

<http://revistaseguridadminera.com/geomecanica/clasificacion-geomecanica-de-roca/>

Ejercicio I.13 – RQD



1 m

4 m de núcleos de barrenación en roca
Indicar el RQD de cada porción de 1 m

Ejercicio I.14 – RQD



5 m de nucleos de barrenacion en roca
Indicar el RQD de cada porción de 1 m