CIVG1060
Mecánica de Suelos
Capítulo 1

1.1 La Mecánica de Suelos y los Problemas de su competencia

1.2 Composición

1.3 Minerales constitutivos de los suelos

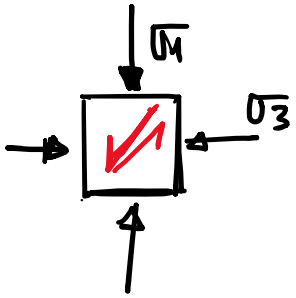
1.4 Relaciones volumétricas y gravimétricas

1.5 Relaciones de peso específico, relación de vacíos

1.6 Granulometría y Límites de Atterberg

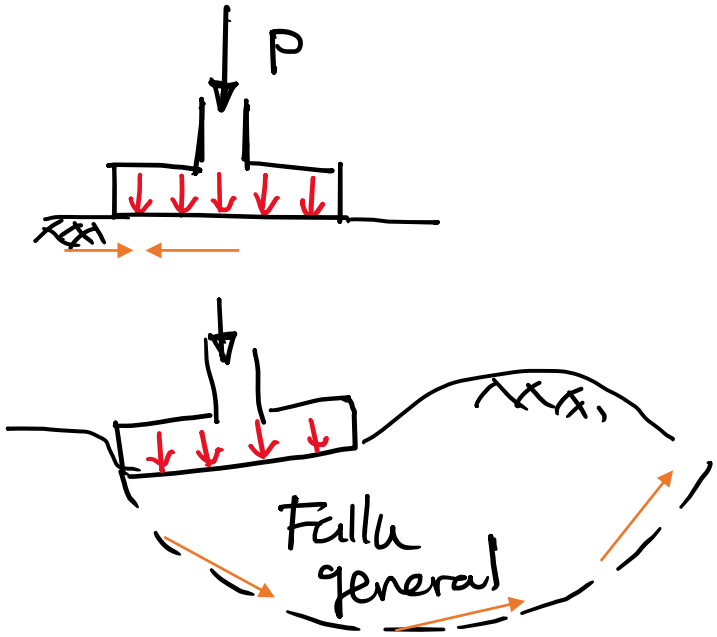
1.7 Clasificación del suelo

- Cimentaciones

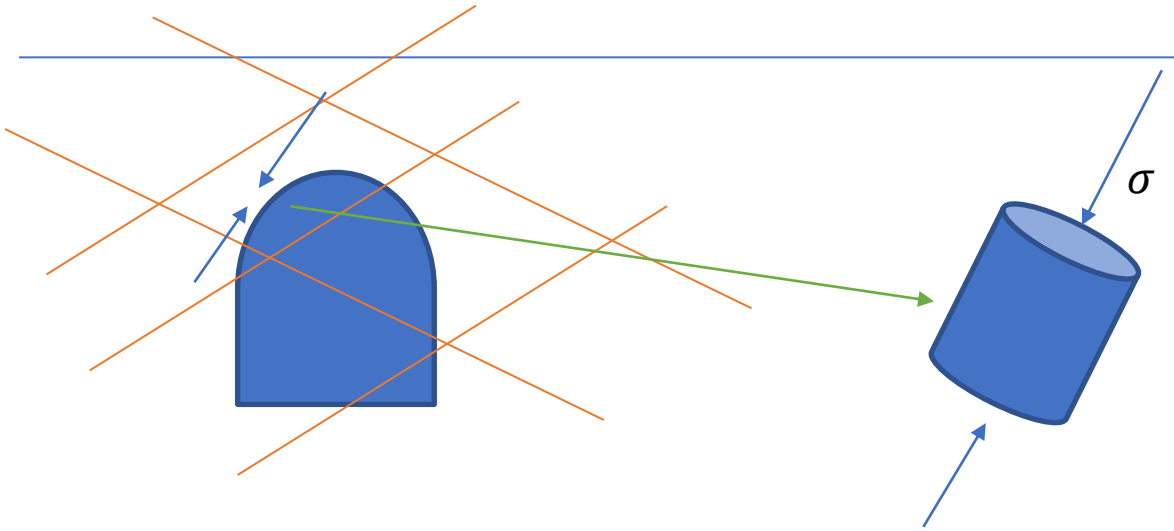


-Esfuerzos
-Deformaciones

La anisotropía de esfuerzo produce un esfuerzo cortante

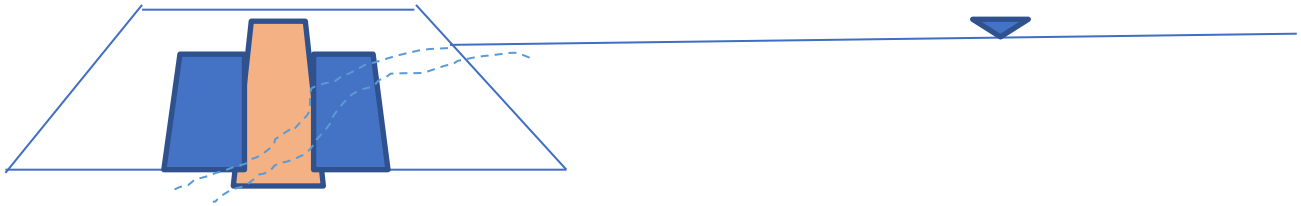


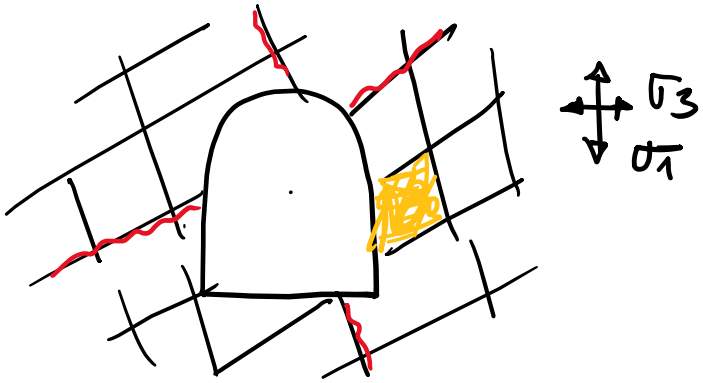
- Obras subterraneas



Resistencia del macizo rocoso
-La matriz (roca sin dicontinuidades)
-Las discontinuidades
-Resist discontinuidades
-El agua

- Estructuras de retención





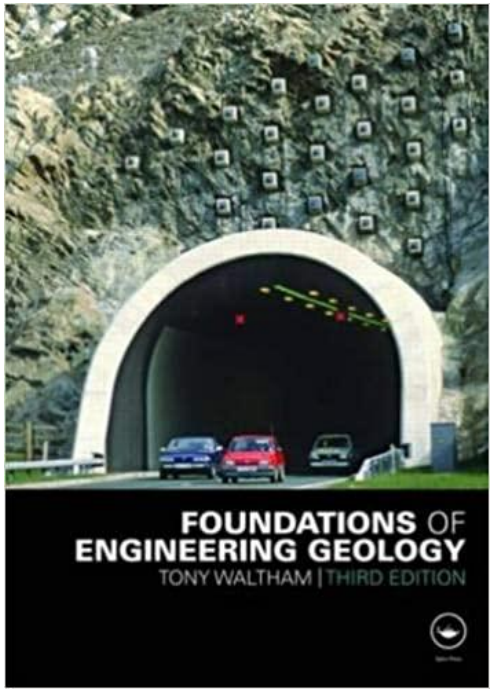
- Decisiones dentro de la geotécnia

-Ingeniería hidraúlica
-Resistencia de Materiales
-Ing Geológica

→ -Mecánica de suelos

-Exploraciones
-Criterio del ingeniero

→ -Toma de decisiones

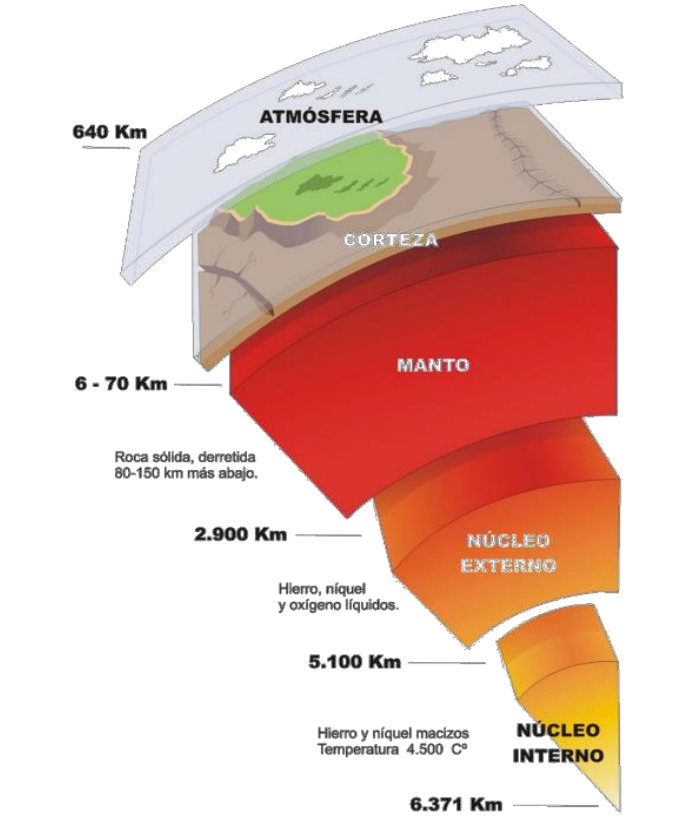


1.1 La Mecánica de Suelos y los Problemas de su competencia

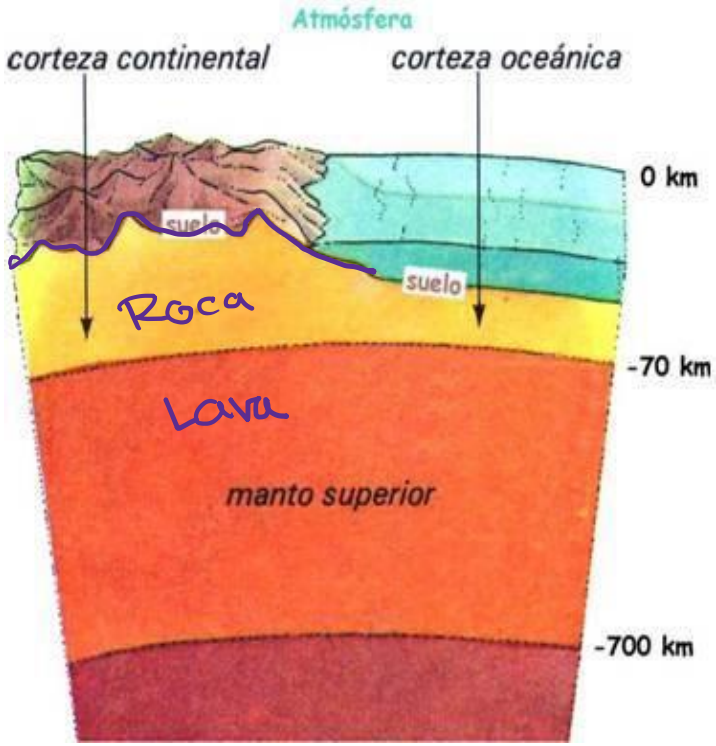
- Deslizamiento en arcilla sensitiva, Rissa, Noruega

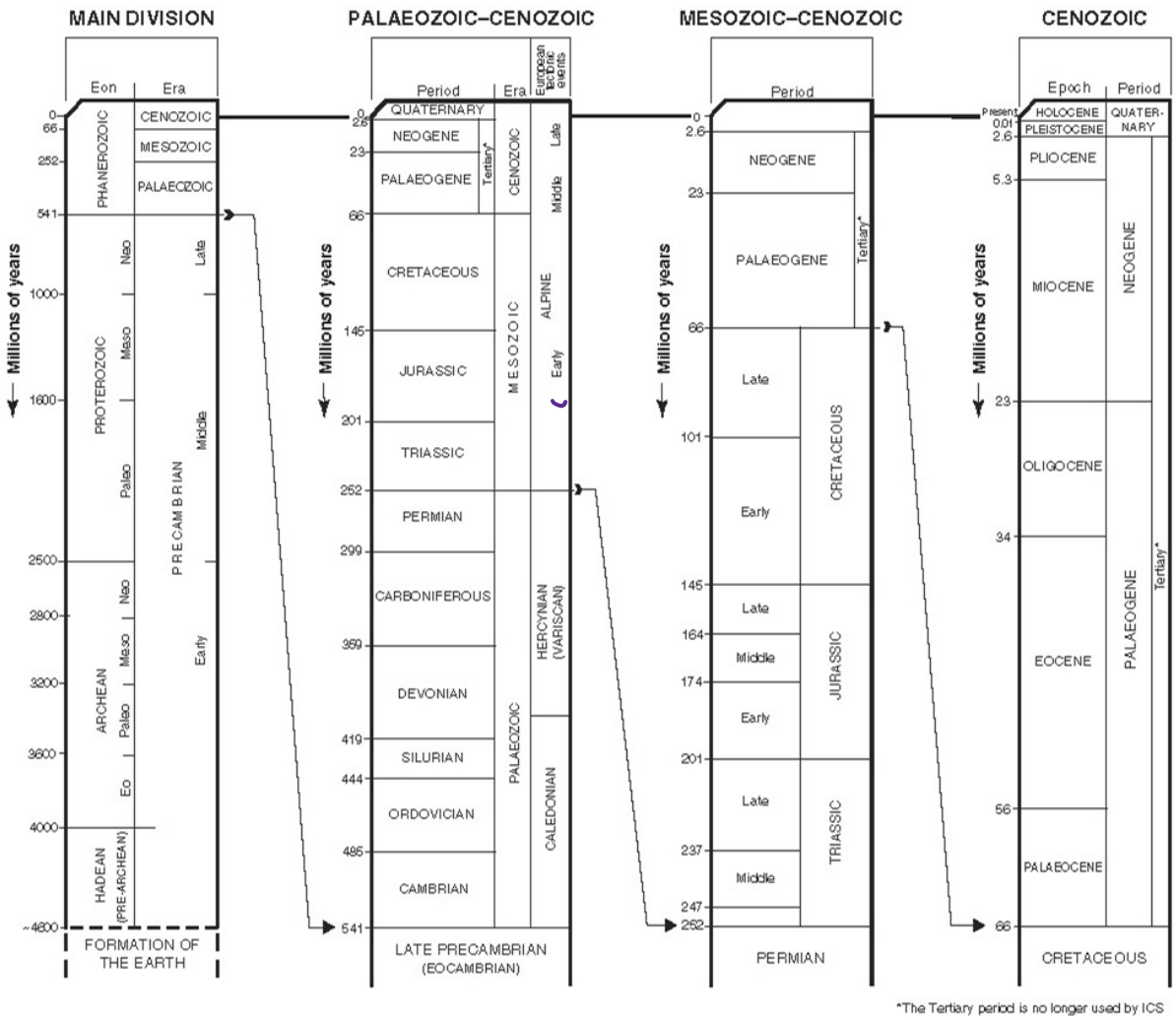
1.2 El Ciclo Geológico: origen, formación y constitución del suelo

- Cubre la superficie de la corteza terrestre

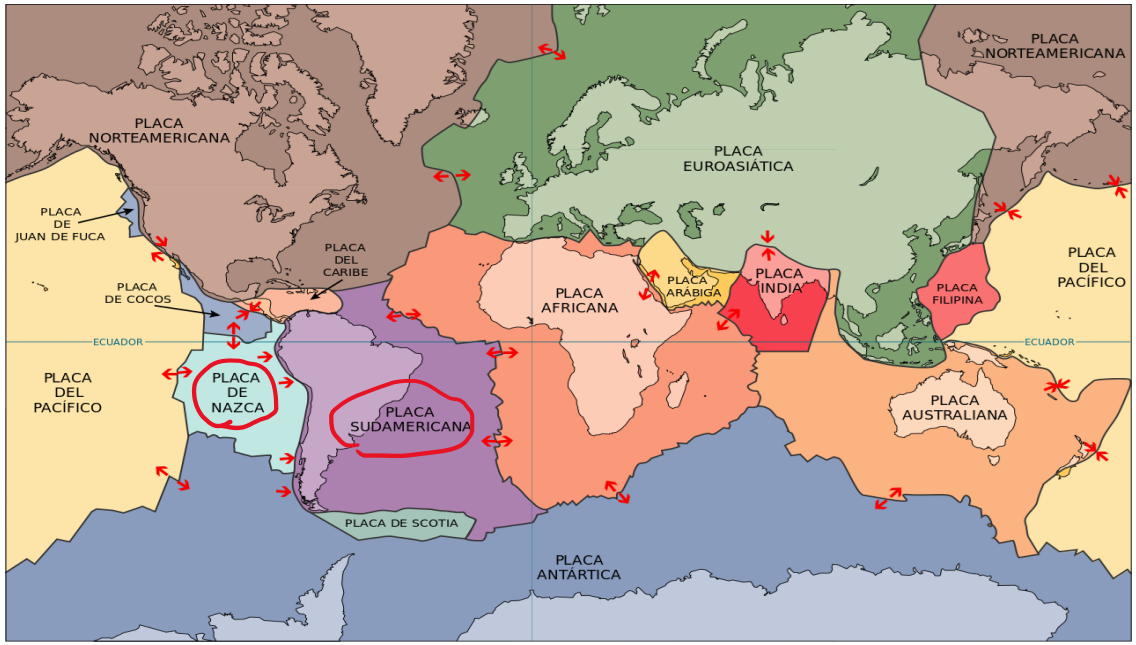


- Composición: minerales y partículas orgánicas.

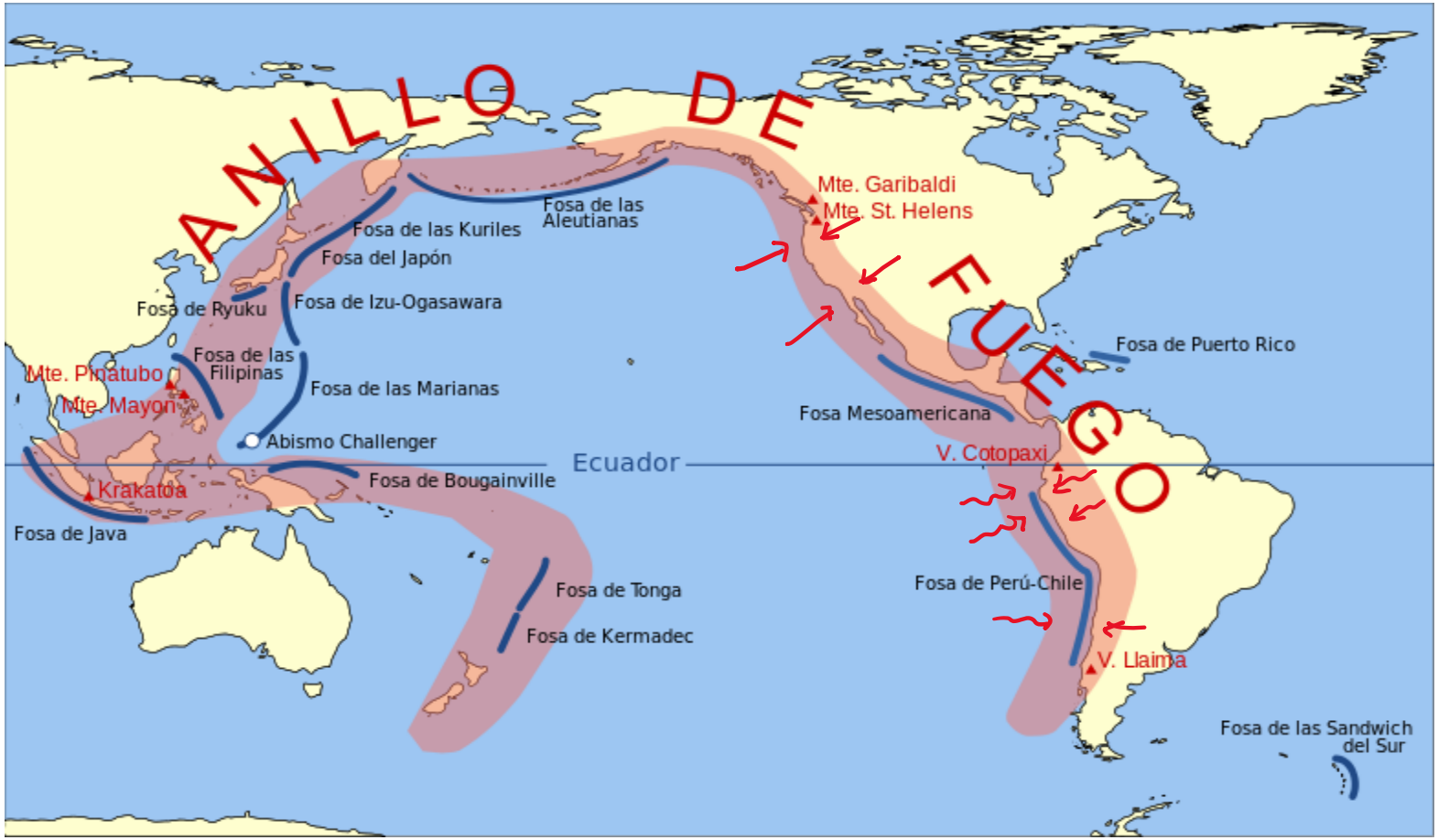



MAIN DIVISION
Eon
Era
PHANEROZOIC
CENOZOIC
MESOZOIC
PALAEOZOIC
PROTEROZOIC
Neo
Meso
Palaeo
PRECAMBRIAN
Late
Middle
Early
ARCHEAN
HADEAN (PRE-ARCHEAN)
FORMATION OF THE EARTH
Millions of years
0
66
252
541
1000
1600
2500
2800
3200
3600
4000
~4600
PALAEOZOIC–CENOZOIC
Period
Era
European historic events
QUATERNARY
NEOGENE
PALAEOGENE
Tertiary*
CENOZOIC
CRETACEOUS
JURASSIC
TRIASSIC
MESOZOIC
PERMIAN
CARBONIFEROUS
DEVONIAN
SILURIAN
ORDOVICIAN
CAMBRIAN
PALAEOZOIC
ALPINE
HERCYNIAN (VARISCAN)
CALEDONIAN
Late
Middle
Early
0
2.5
23
66
145
201
252
299
359
419
444
485
541
LATE PRECAMBRIAN (EOCAMBRIAN)
MESOZOIC–CENOZOIC
Period
NEOGENE
PALAEOGENE
Tertiary*
CRETACEOUS
JURASSIC
TRIASSIC
Late
Early
Middle
0
2.6
23
66
101
145
164
174
201
237
247
252
PERMIAN
CENOZOIC
Epoch
Period
HOLOCENE
PLEISTOCENE
QUATER-NARY
PLIOCENE
MIOCENE
NEOGENE
OLIGOCENE
EOCENE
PALAEOGENE
PALAEOCENE
Tertiary*
Present
0.01
2.6
5.3
23
34
56
66
CRETACEOUS
*The Tertiary period is no longer used by ICS

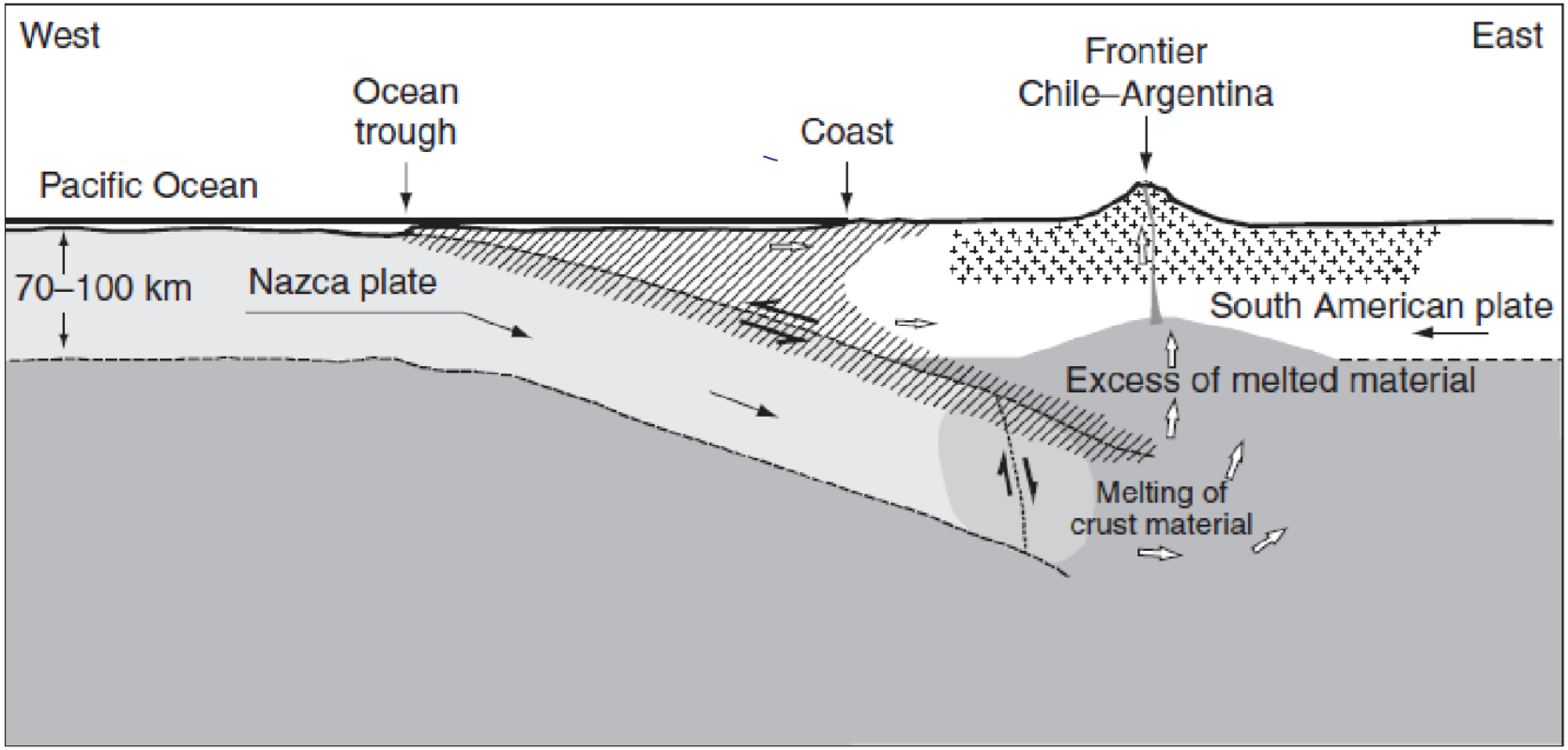
- La litosfera esta conformada por la corteza y una parte superior del manto (100 Km).
- A la vez esta fragmentada en placas tectónicas, produciendose deslizamiento entre ellas



The ring of fire: lugar de mayor actividad sismica



Subduccion de la placa Nazca debajo de la placa Sudamericana



Peligrosidad sísmica en el Ecuador

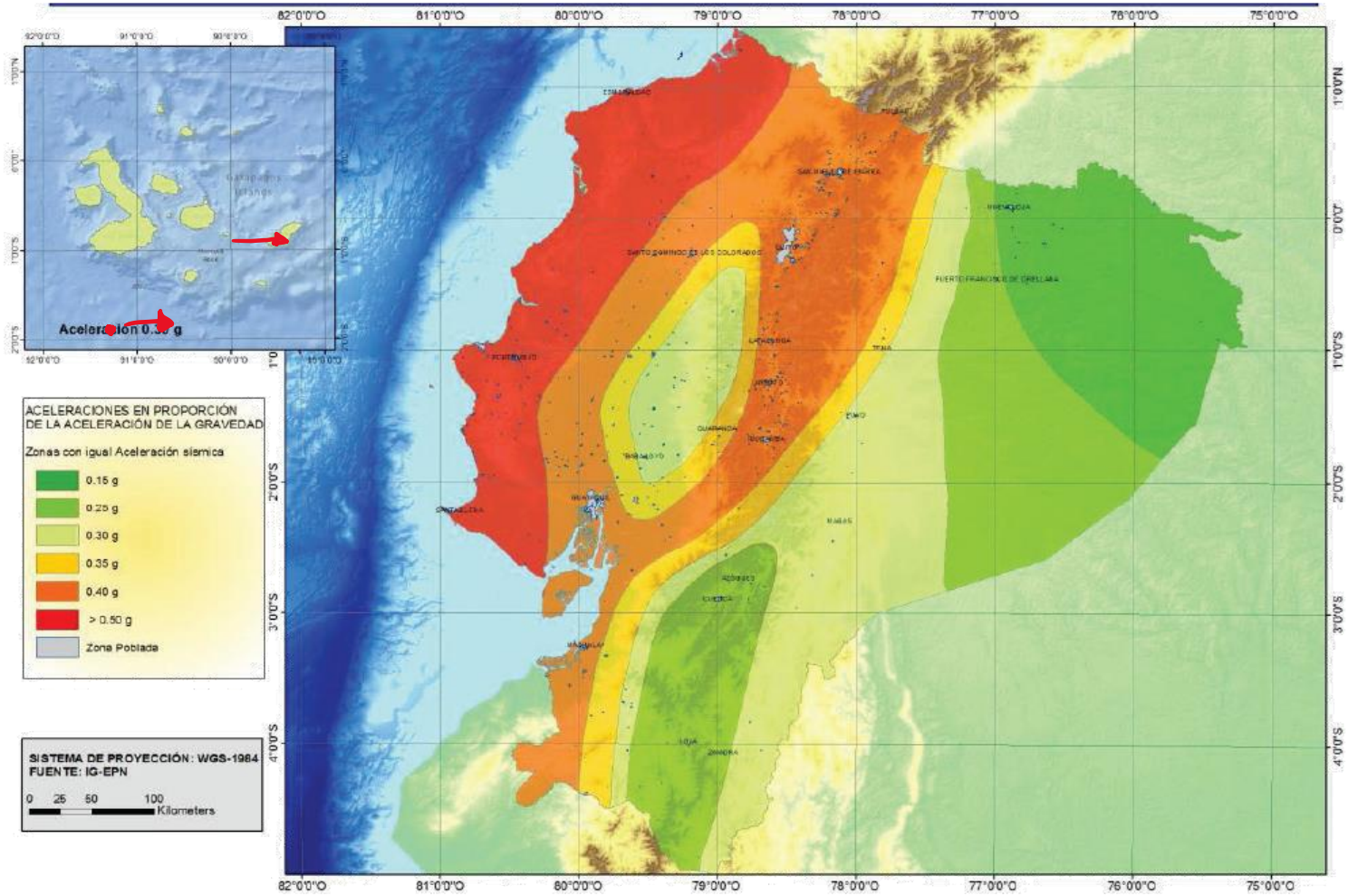


Figura 1. Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z

1.2 Composición

El suelo puede ser considerado como un material de tres fases

comprises solid particles, water and air

For Soil Mechanics we need to examine:

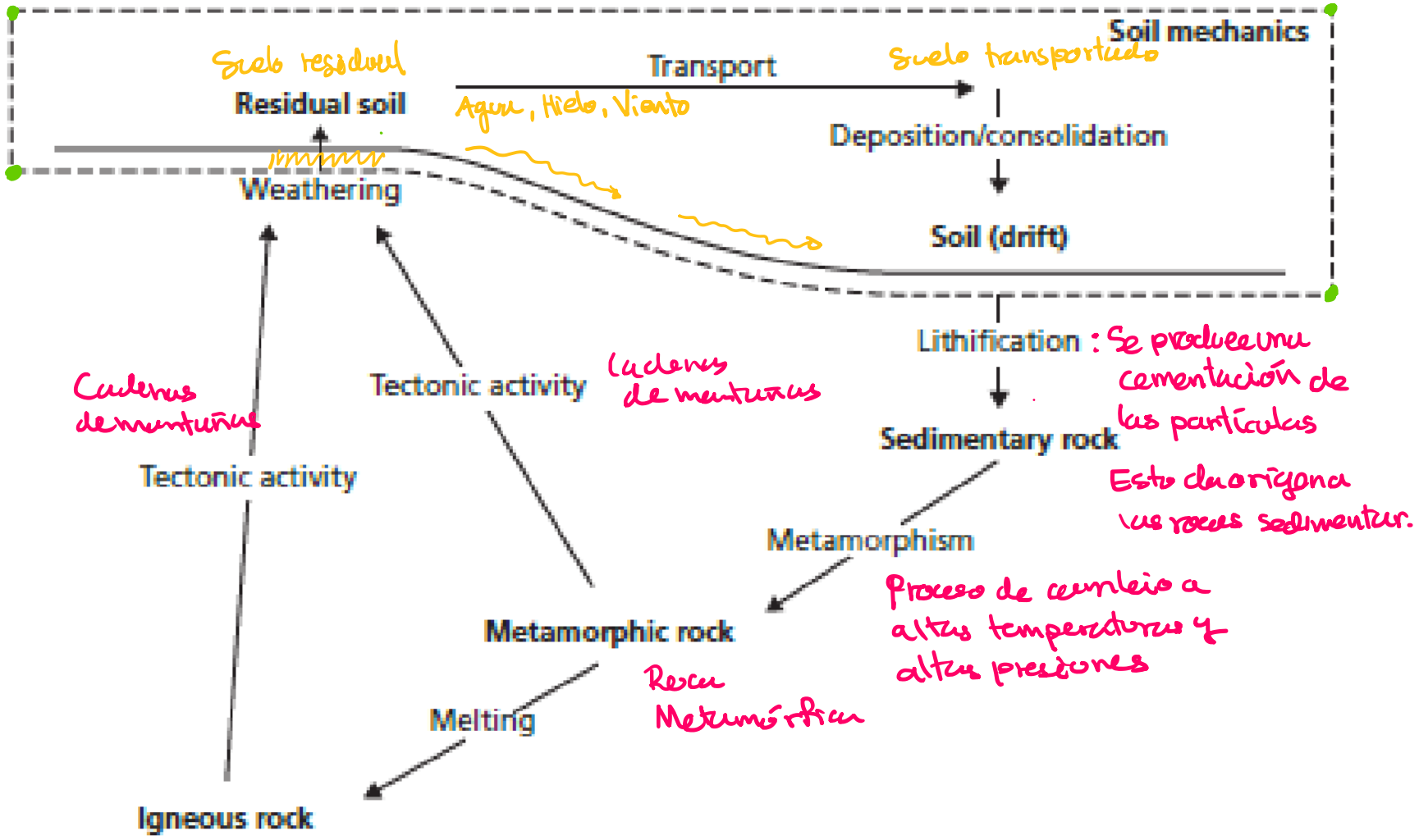
- the nature of those solid particles;
- the effects of their size and shape on some of the physical properties of soils.

The weathering processes which break rock down to form soil (Meteorización)

Weathering

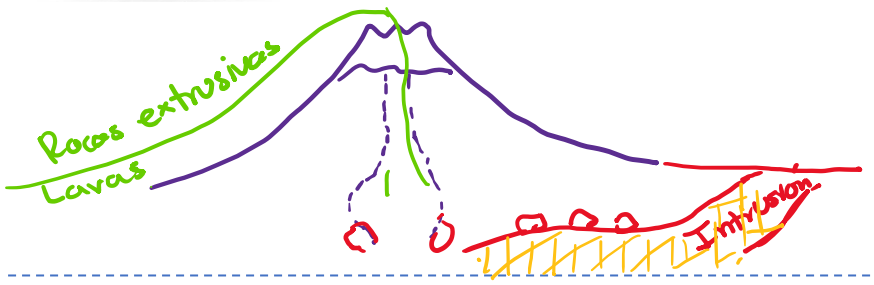
- **Mechanical weathering:** due to action of agents such as water, frost, and wind

- **Chemical weathering:**
- due to the action of acids in air and water. Here, the internal structure of a mineral is altered by the **addition or removal** of elements


Soil mechanics
Suelo residual
Residual soil
Transport
Agua, Hielo, Viento
Suelo transportado
Deposition/consolidation
Weathering
Soil (drift)
Lithification : Se produce una cementación de las partículas
Esto da origen a las rocas sedimentar.
Cadenas de montañas
Tectonic activity
Cadenas de montañas
Sedimentary rock
Tectonic activity
Metamorphism
Proceso de cambio a altas temperaturas y altas presiones
Metamorphic rock
Rocas Metamórficas
Melting
Igneous rock

- Granito : roca ígnea intrusiva

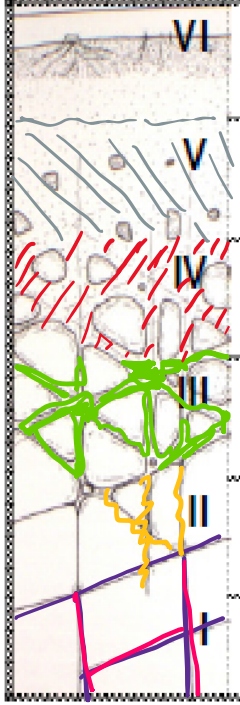
- Andesita: roca ígnea extrusiva



Gneiss : roca metamórfica, tienen bandas de minerales, planos de foliación

- Esquisto
- Pizarras

Weathering Classification

Grade	Description	Lithology	Excavation	Foundations
 VI	Soil	Some organic content, no original structure	May need to save and reuse	Unsuitable
V	Completely weathered	Decomposed soil, some remnant structure	Scrape	Assess by soil testing
IV	Highly weathered	Partly changed to soil Soil>Rock	Scrape	Variable and unreliable
III	Moderately weathered	Partly changed to soil Soil>Rock	Rip	Good for most Small structures
II	Slightly weathered	Increased fractures, and mineral staining	Blast	Good for anything Except large dams
I	Fresh rock	Clean rock	Blast	Sound

After: Waltham A C Foundations of Engineering Geology (2009)

Basalt weathering – Hawaii road cutting

Grade 6

Grade 5

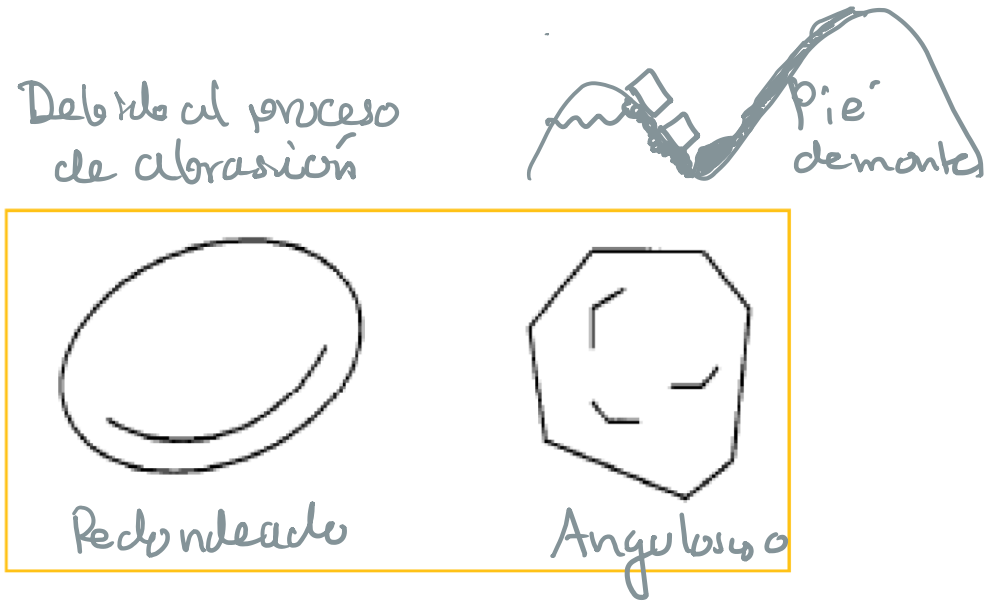
Grade 4

Grade 3

Grade 3

Mechanical weathering

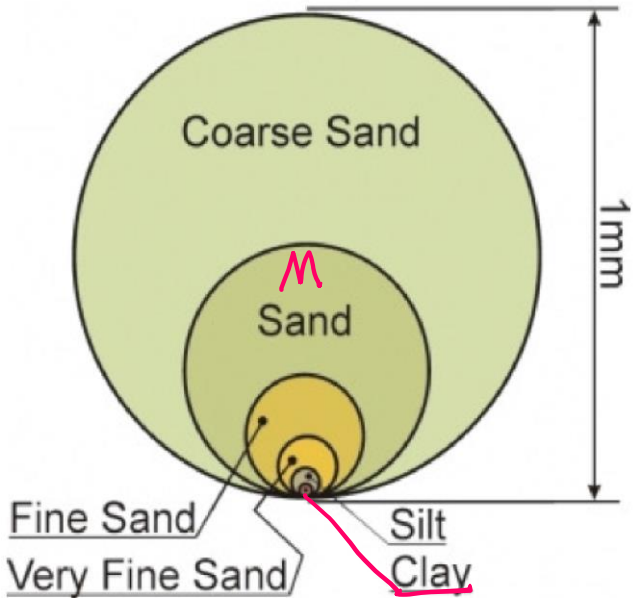
- Produces granular particles, e.g. pebbles on a beach or rock scree.



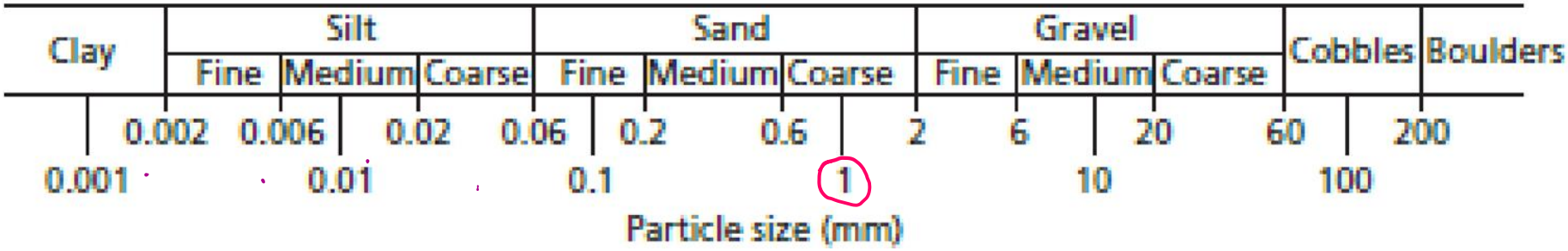
Origen:

- Fluvial
- Fluvio glacial
- Pie demonte
- Gradar

- Weathering produces particles of various sizes:
- Gravel : grava
- Sand : Arena
- Silt : Limo
- Clay : Arcilla



Arcilla Limo Arena



- Para el ingeniero civil el suelo es una acumulación no cementada o débilmente cementada de partículas minerales producto de la descomposición de las rocas como parte del ciclo de las rocas.

- Una cementación débil es a causa de carbonatos y óxidos precipitados entre las partículas.

Tipos de suelos

- Residual: si los productos de la meteorización permanecen en el mismo lugar
- Transportado: si los productos de la meteorización son transportados y depositados en un localidad diferente
- Los agentes de transporte son: gravedad, viento, agua, y glaciares
- El tipo de transporte y deposición influencia grandemente la distribución de tamaños de partículas.

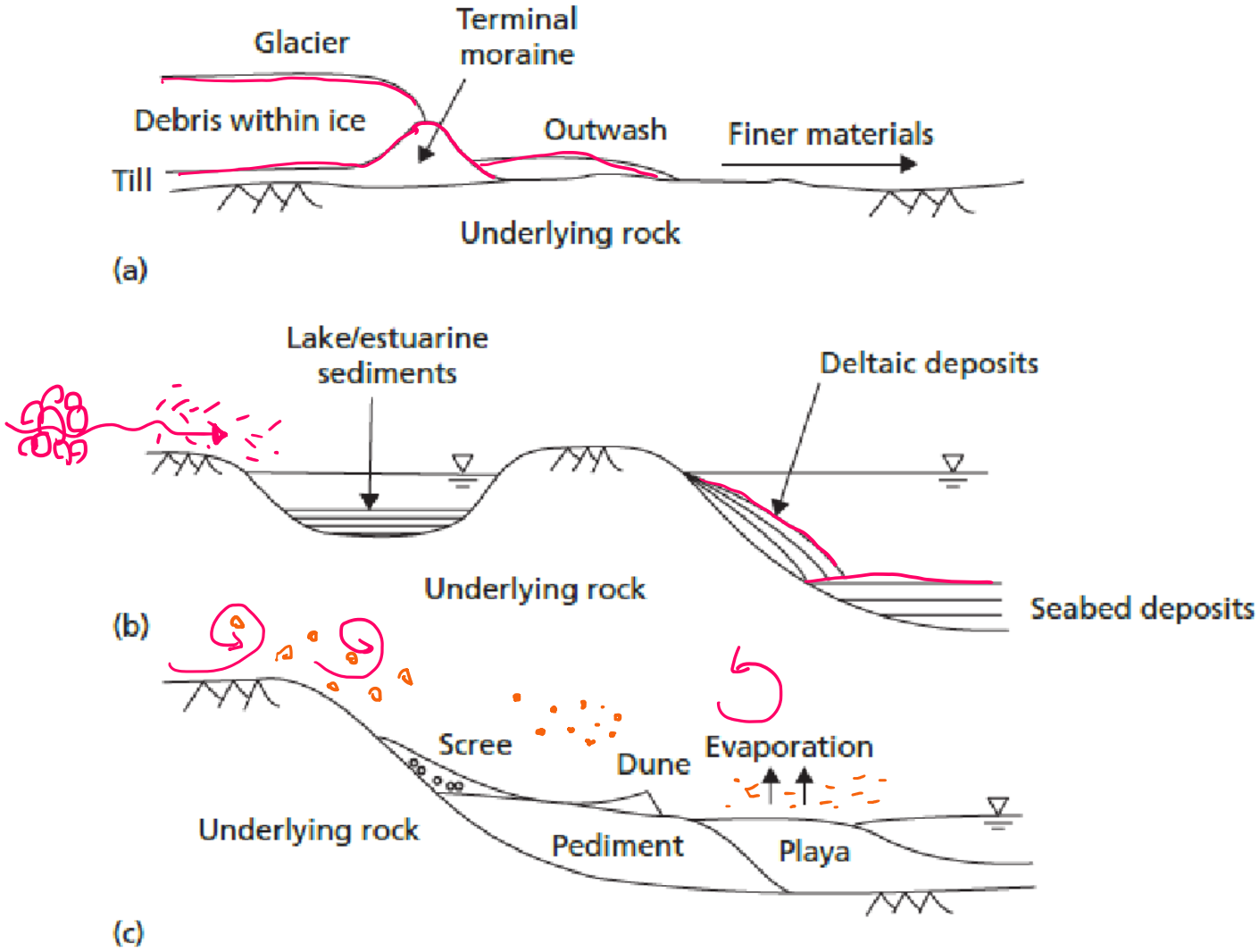
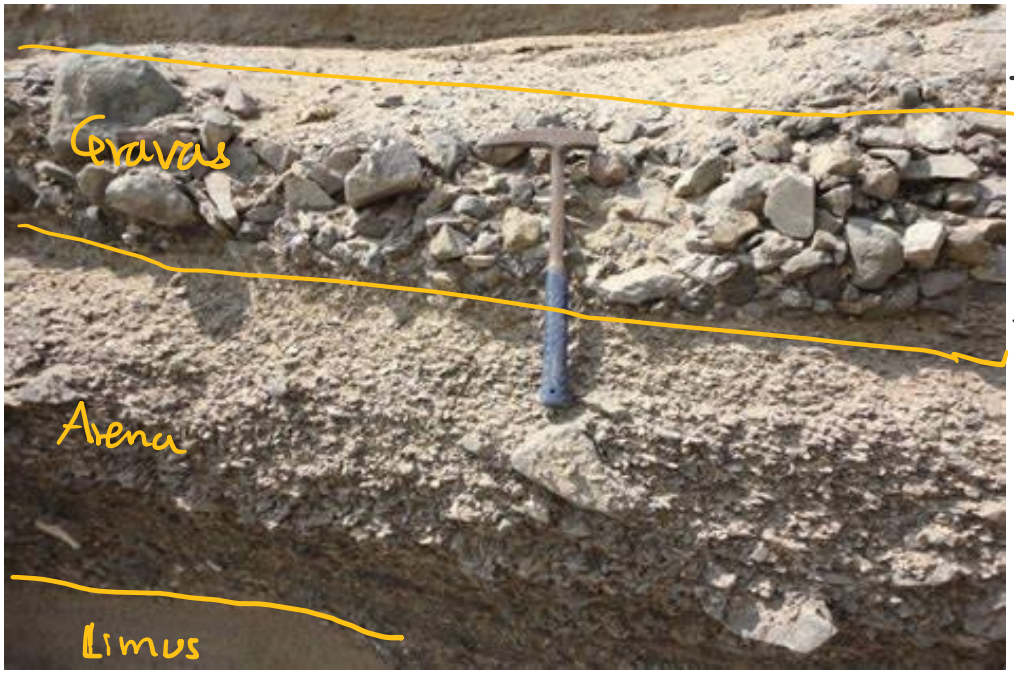


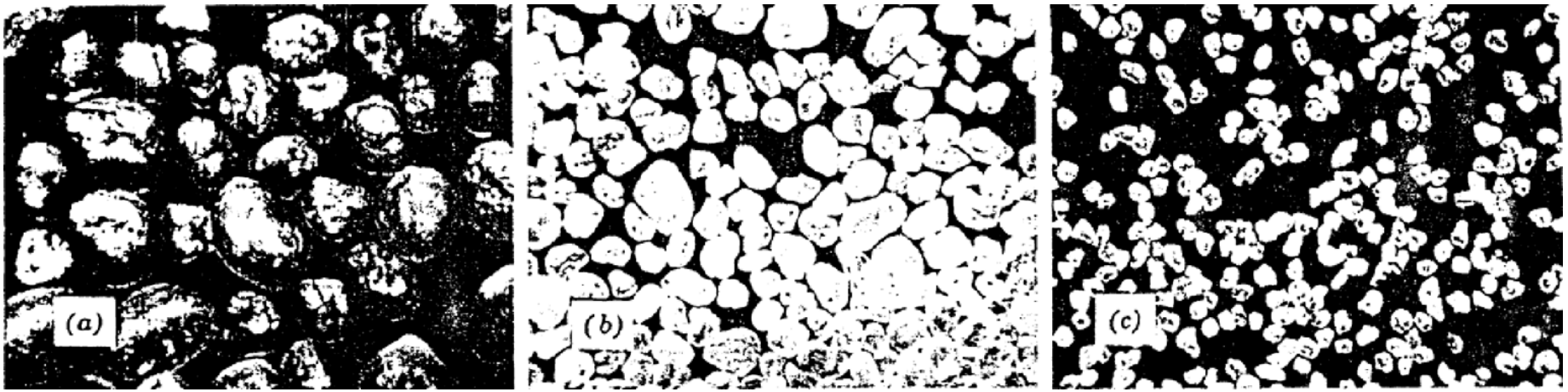
Figure 1.3 Common depositional environments: (a) glacial, (b) fluvial, (c) desert.

- Subsecuente deposición y compresión de los suelos, en combinación con cementación entre partículas, transforma el suelo en rocas sedimentarias (**Litificación**)



1.3 Minerales constitutivos de los suelos

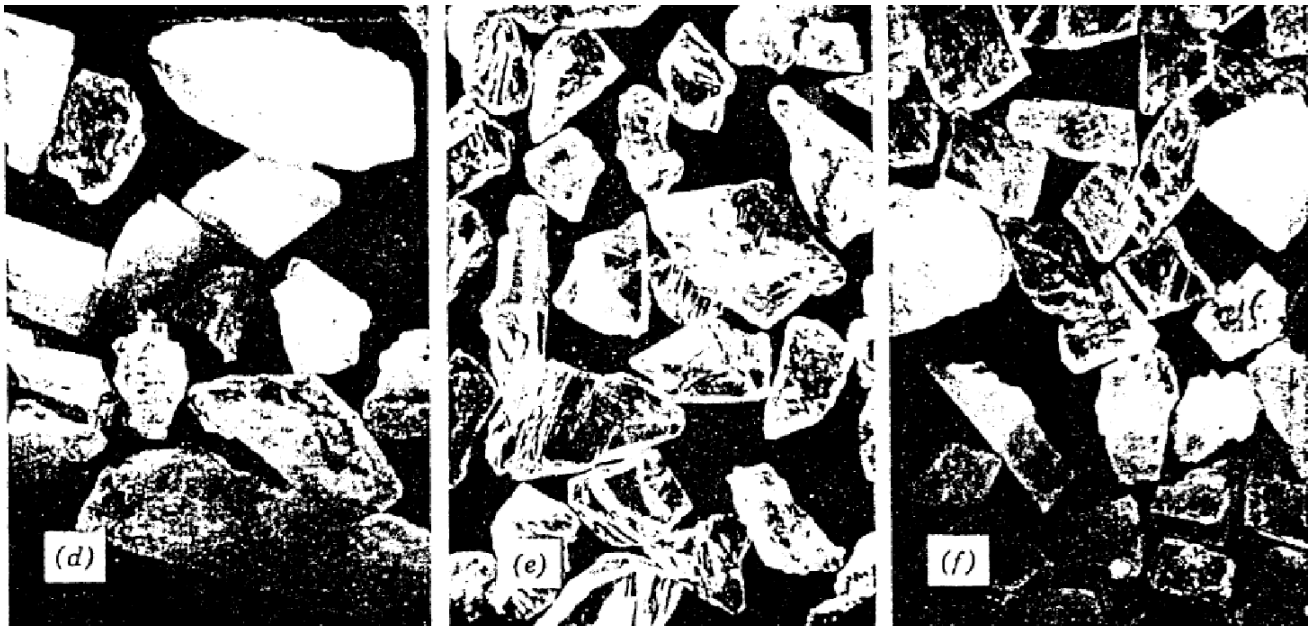
- **Mineral: elemento químico o compuesto (formula) formado por procesos geológicos**
- **Las rocas son agregados de uno o varios minerales compacto (cementado, ligado)**
- **Las partículas de suelos (no ligadas) son inorgánicas u orgánicas. Se conoce poco de los suelos orgánicos porque son de poco interés.**
- Suelos orgánicos: humus, turba. Suelos con partículas minerales y contenido orgánico: limo orgánico.



a) Ottawa sand, 0.42-0.84 mm

B) Ottawa sand 0.19-0.42 mm

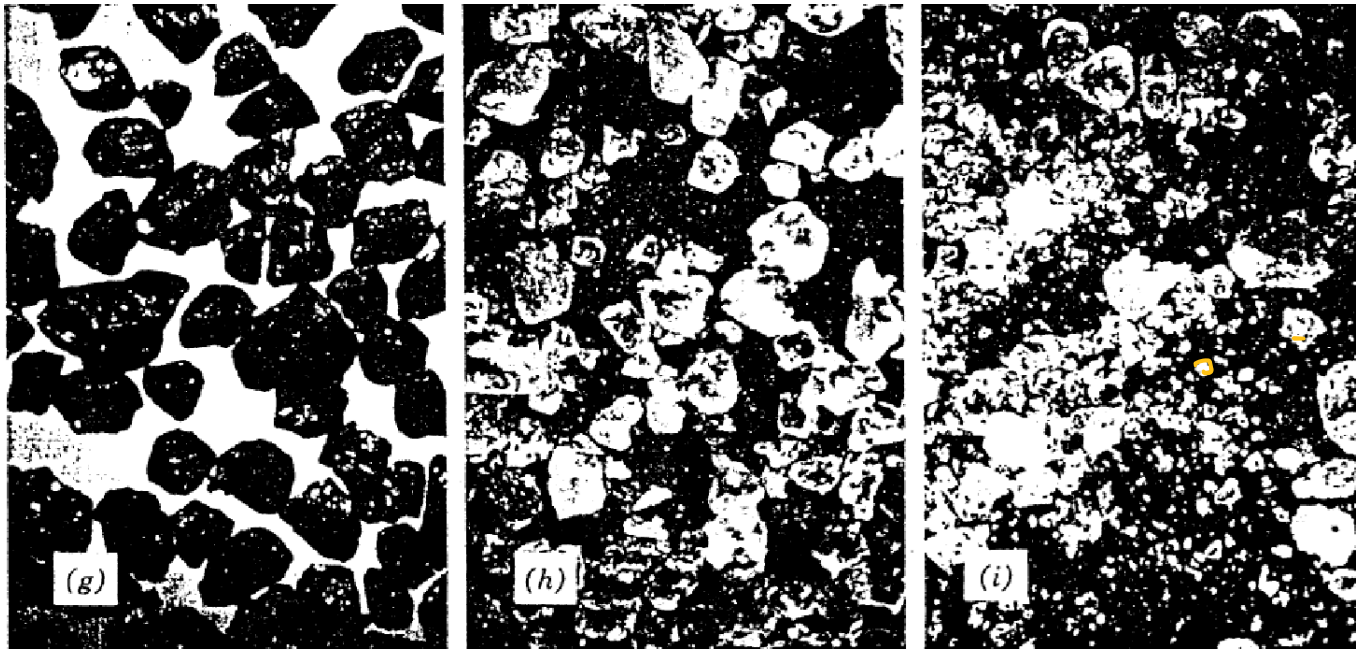
c) Ottawa sand 0.11-0.19 mm



D) Ground feldspar 0.19-0.42 mm

E) Ground quartz 0.19-0.42 mm

F) Ground dolomite 0.19-0.42 mm



g) Hawaian beach sand

h) Venezuelan sand

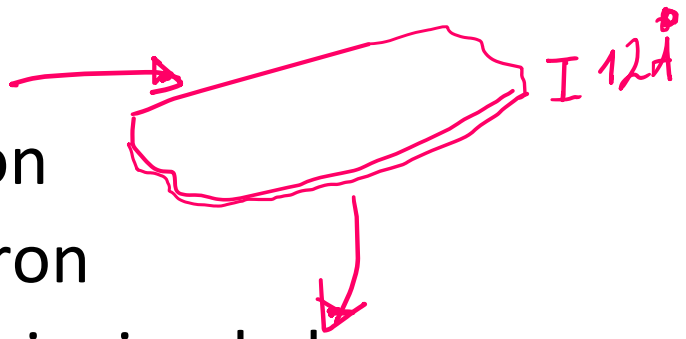
i) Venezuelan sand, after compression 20,000 psi

Minerales de arcilla

Son silicatos de aluminio hidratados en una forma cristalina de estructura complicada.

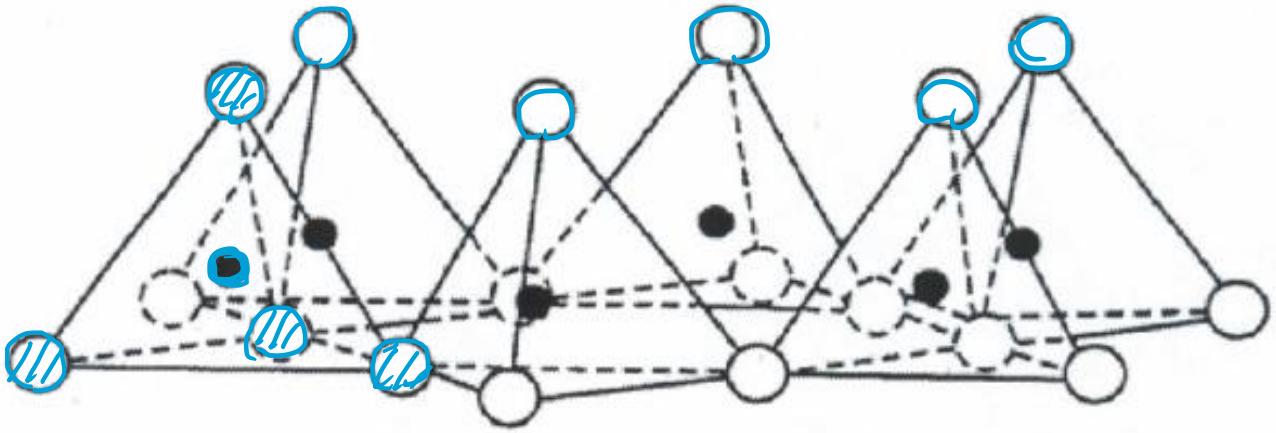
Se conocen tres grupos generales de acuerdo a su arreglo cristalino

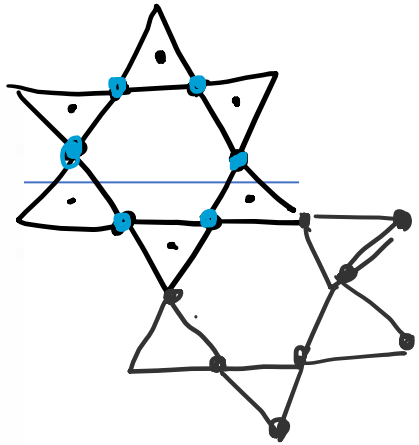
- Silicon-Oxigen tetrahedrons
- Aluminum- Hydroxide octrahedron
- Magnesium- Hydroxide octrahedron



Las particulas de arcilla son planas siguiendo la forma de los minerales individuales

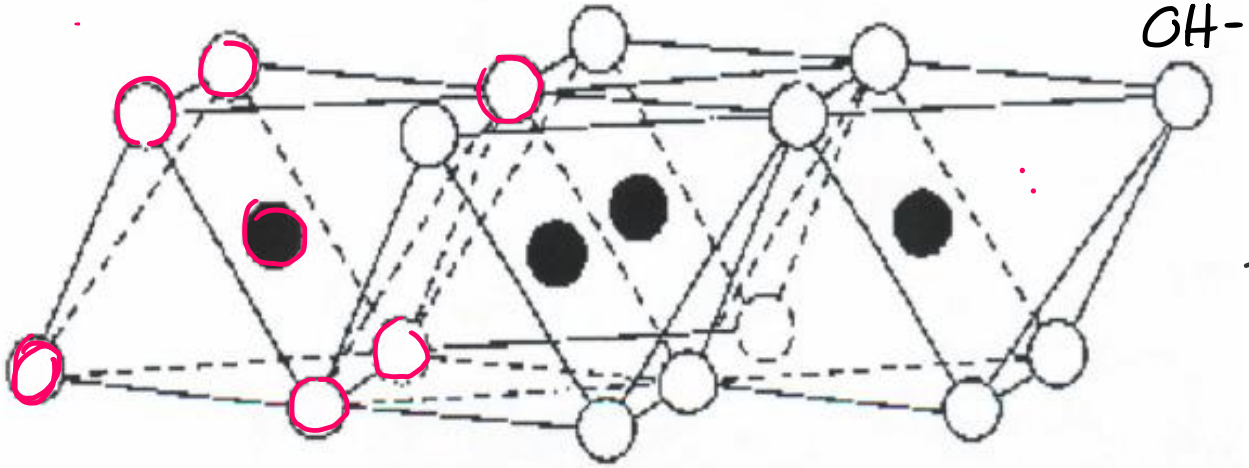
Propiedades ingenieriles similares son asociadas a los tres grupos





Cadena de tetraedros

Figure 12: Silica Tetrahedra (after Mitchell 1993)



Las cadenas tienen la forma de una hoja

Figure 13: Alumina Octahedral (after Mitchell 1993)

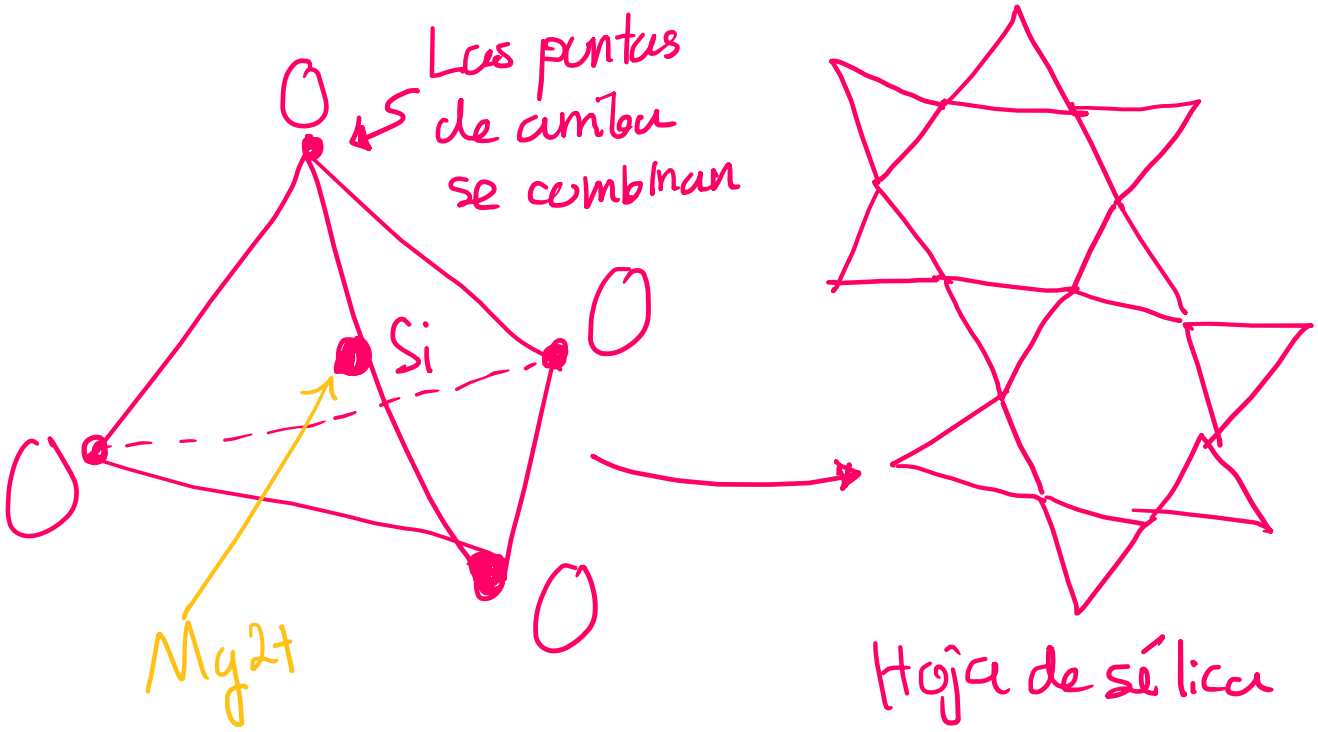
Arcillas son formadas por dos bloques básicos (cadenas)

1) Silica tetrahedron 1 Si^{4+} rodeado por 4 O_2

Un numero de tretrahedron se combinan para generar una hoja (Sílica) $(Si_2O_5)_2$

El plano base de iones de oxigeno en hexahedral arreglo son satisfechos por tetrahedros adyacentes

Hay un plano central arriba de los iones de silice donde los oines de oxigeno son libres para combinarse porque su valencia es no satisfecha.


Las puntas de cambio se combinan
O
Si
O
O
O
Mg2+
Hoja de sílice

2) Octahedral Aluminium Hydroxide: cristal en forma de octahedro donde en ion Al3+ ocupa su centro

Por encima y por debajo, hydroxl ions OH1-, están ordenados.

La hoja de aluminium-hydroxide (Gibbsite) tiene la formula Al2(OH)6

Una combinación de Magnesio- Hydroxide octahedrons da origen a una hoja de Brucite

Tres cadenas u hojas principales:

1. Sílica u hoja de sílica
2. Gibsita
3. Brucita

Estas tres cadenas se pueden combinar para dar origen a un determinado tipo de arcilla (minerales de arcilla)

Intercambio de cationes

Frecuentemente, los iones de silicio o aluminio son reemplazados por otros elementos

Los sustitutos son de la misma Valencia, e.g. Fe^{3+} por Al^{3+}

Si la Valencia es baja, e.g. Al^{3+} por Si^{4+}, Mg^{2+} por Al^{3+}, el cristal tiene una carga negativa

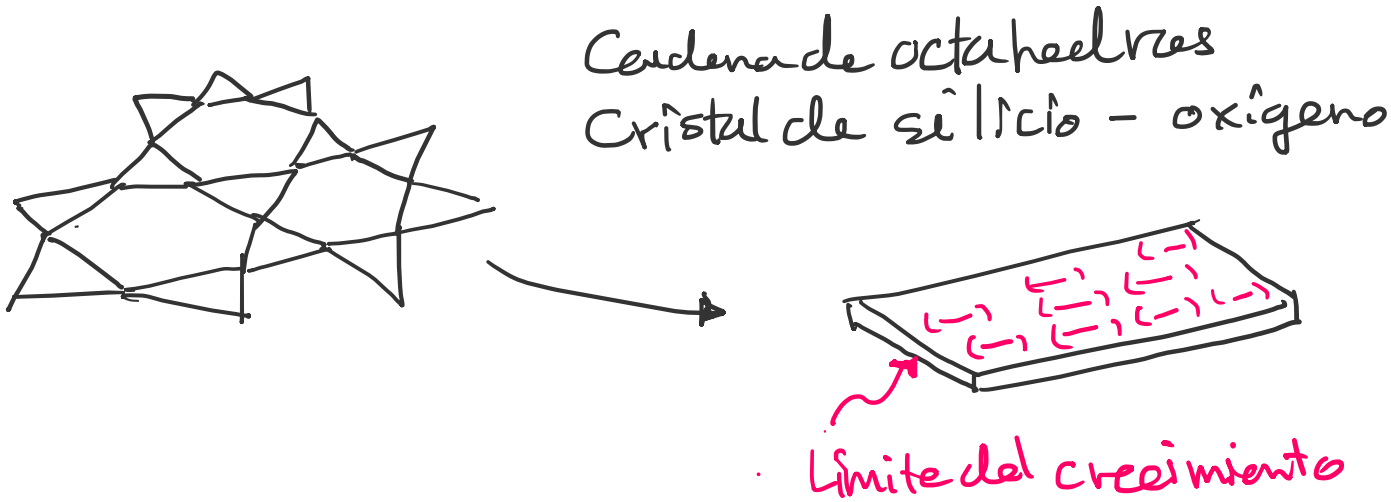
Un numero equivalente de iones cargados positivamente son atraídos a la superficie del cristal desde el agua contenida en el suelo (capacidad de intercambio de cationes)

- La capacidad de intercambio de cationes de las arcillas esta relacionada con la deficiencia de carga causada por la sustitución (isomorfa) dentro de la estructura del mineral y también por el numero de enlaces rotos alrededor de los bordes de las partículas (tamaño de las partículas)

- Frecuentemente, los iones de silicio o aluminio son reemplazados por otros elementos.

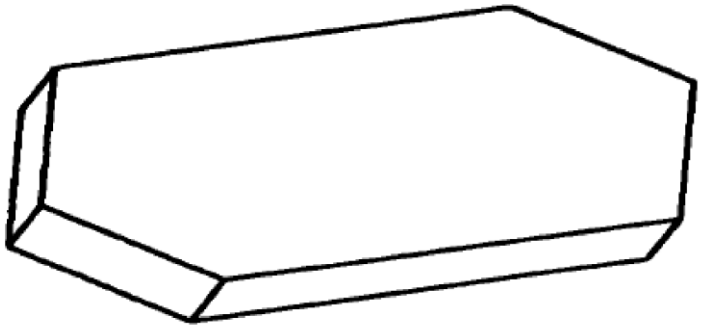
Sustitución isomorfa causa:

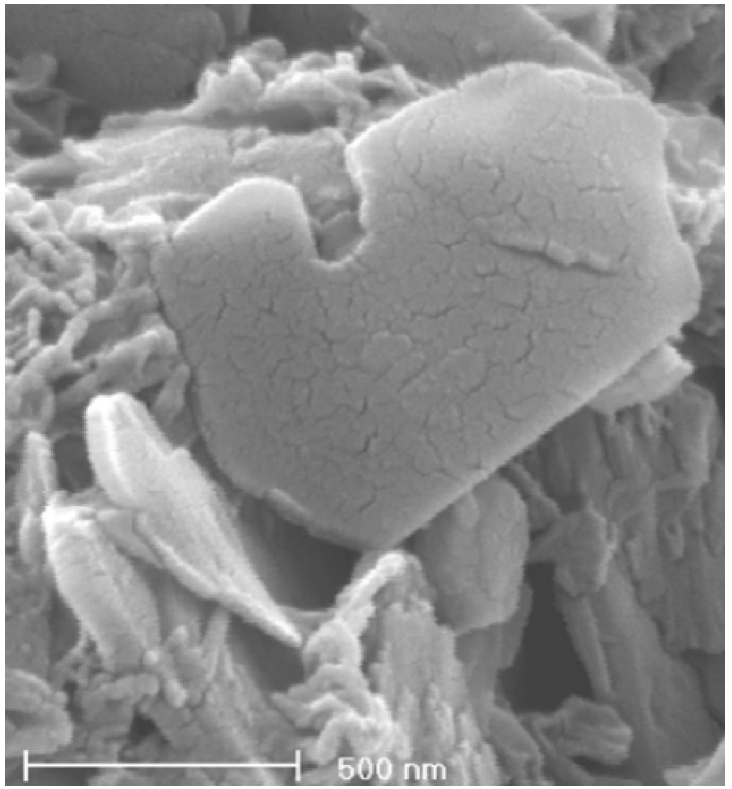
- Deficiencia de carga
- Pequeña distorsión en el cristal
- La distorsión restringe el crecimiento del cristal



Caolitnita (arreglo básico de dos capas)

The size of the particles can be 0.002 mm (2 µm) and less. They are invisible to the eye.

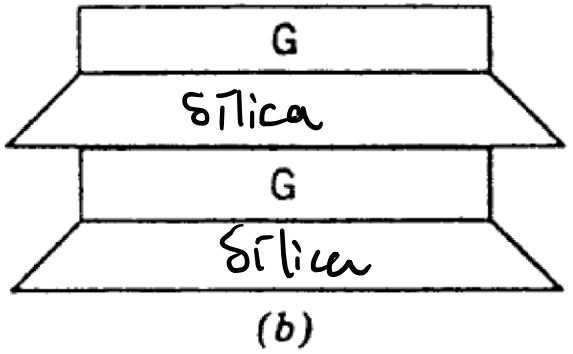




Gibbsite + Silica = Kaolinite

A mineral particle consist not only of two layers.

A Kaolinite particle, as shown, consist of 115 of the two-layer combination



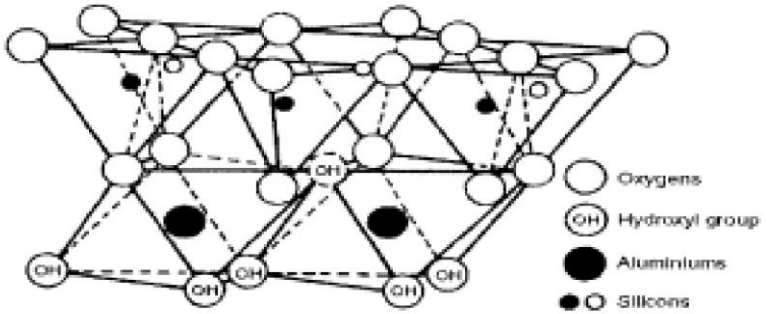
Substitution in Kaolinite: 1 in 400 ions

Specific surface: 15-20 m2/g

CEC 5-15 meq/100g of clay

Low plasticity and swelling

Typical from warm, moist climates

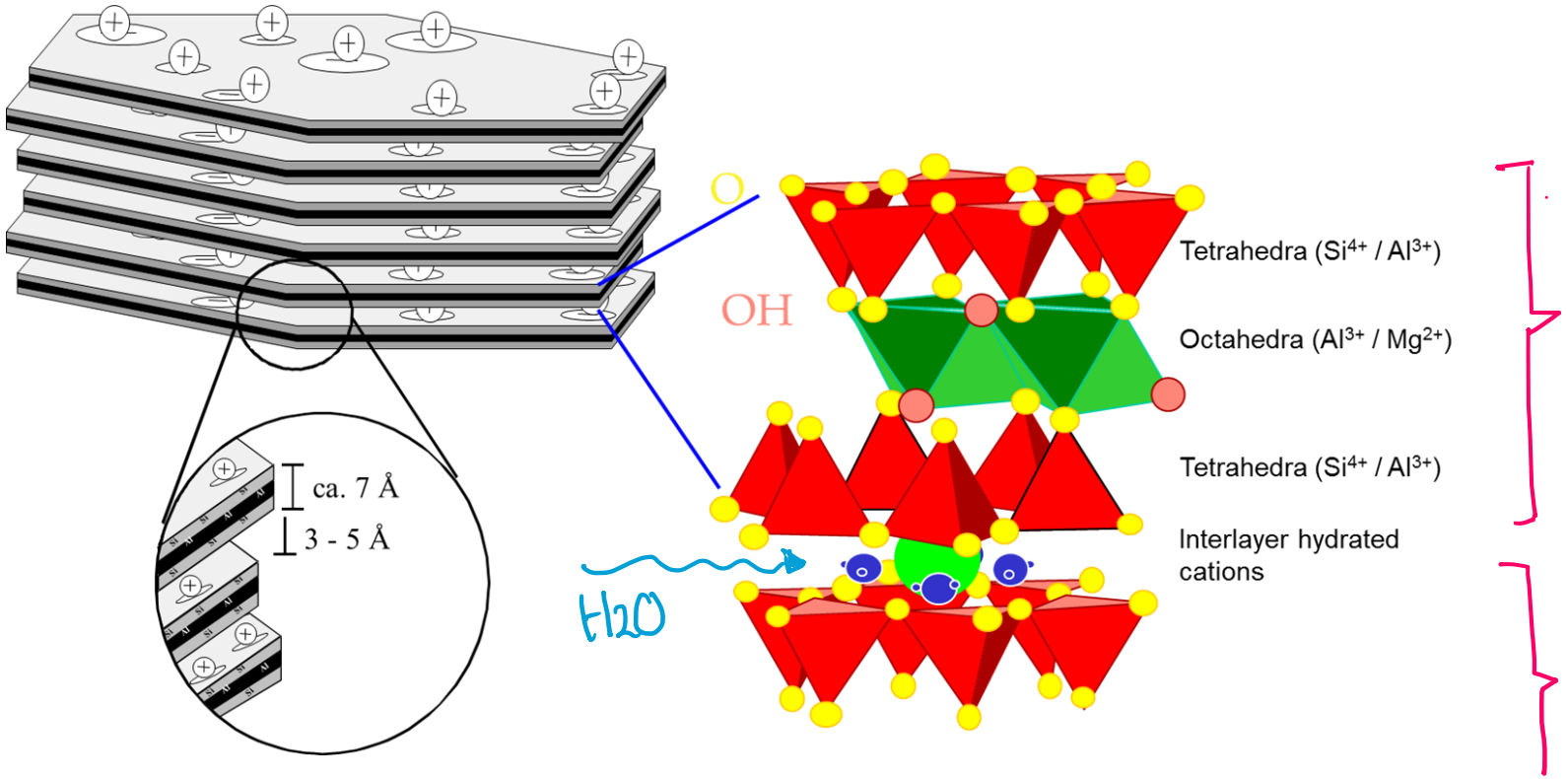


Kaolinite chemical structure

Kaolinite
Illitite
20kV 3kx 3.33µm 8606 05-09-2000
Halloysite
500 nm
Smectite
Montmorilonita
20KV 3.00KX 3.33µ 0001

Montmorilonite (hoja básica de tres capas)

The size of the particles can be 0.5-8.5 µm. They are invisible to the eye.



Montmorillonita esta formada por una hoja de Gibbsite en medio de dos hojas de Sílica

Los vínculos entre capas (tres hojas) se dan entre O2- y O2-, los cuales son débiles comparados con la Caolinita

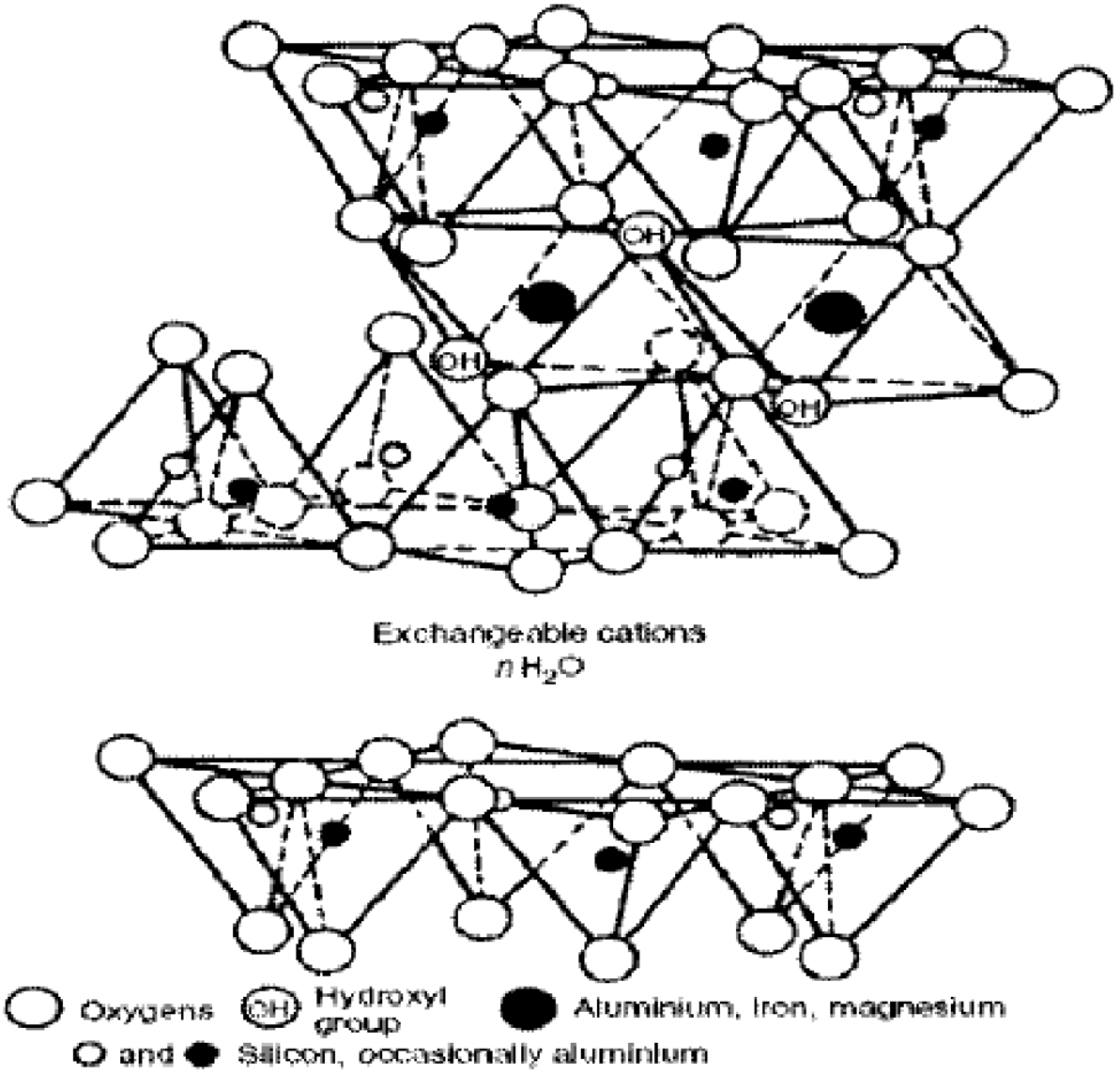
Existe sustitución isomorfa del Mg2+

La deficiencia de carga es satisfecha por cationes entre las hojas del cristal

Los vínculos son poco efectivos

Agua puede entrar entre las hojas (triple capa) y fijarse en la estructura causando grandes incrementos de volumen dentro del cristal

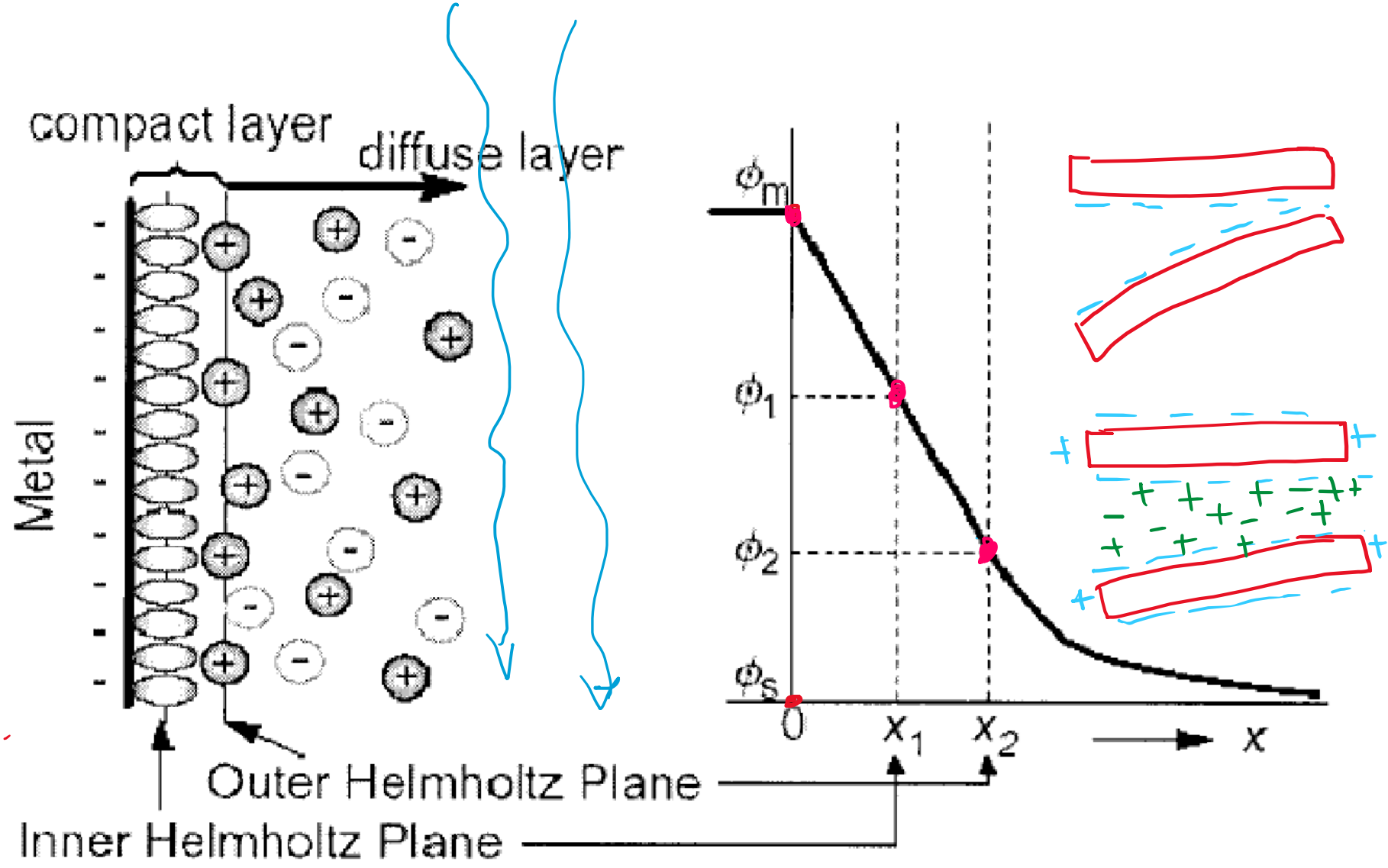
Montmorillonita tiene entonces un gran potencial de hinchamiento.

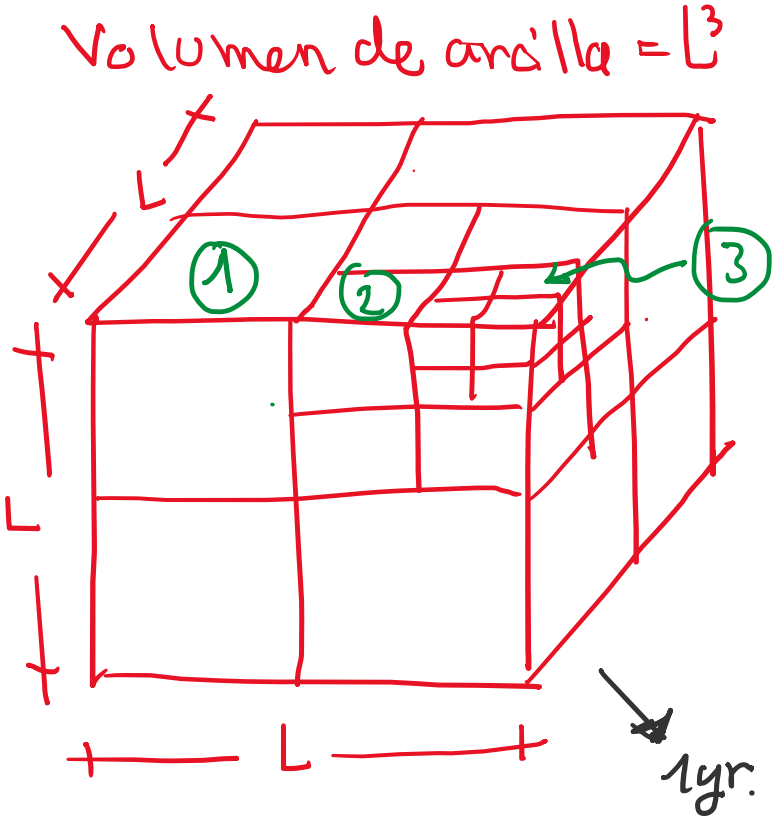

OH
OH
OH
Exchangeable cations
$n\ H_2O$
Oxygens
OH
Hydroxyl group
Aluminium, iron, magnesium
and
Silicon, occasionally aluminium

- A causa del vinculo pobre entre capas de oxigeno, montmorillonita se rompe en partículas muy pequeñas, 0.1-8.5 micrones en diámetro

- La superficie específica de este mineral es 500-800 m2/g

- En los bordes rotos habrán cargas positivas y negativas. El numero de cargas estará ligado al tamaño de las partículas


compact layer
diffuse layer
Metal
ϕ_m
ϕ_1
ϕ_2
ϕ_s
0
x_1
x_2
x
Outer Helmholtz Plane
Inner Helmholtz Plane



Caso 0

$S = 6L^2$

Caso 1

$S = \left(\frac{6L^2}{4}\right)(8) = 12L^2$

Caso 2

$S = \left(\frac{6L^2}{16}\right)(64) = 24L^2$

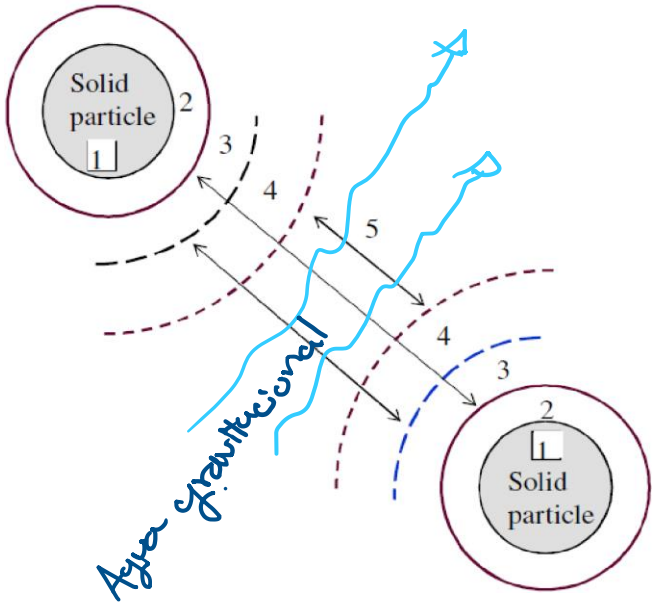
Caso 3

$S = \left(\frac{6L^2}{64}\right)(512) = 48L^2$

Moisture content

Naturally occurring soil almost always will contain water as part of its structure.

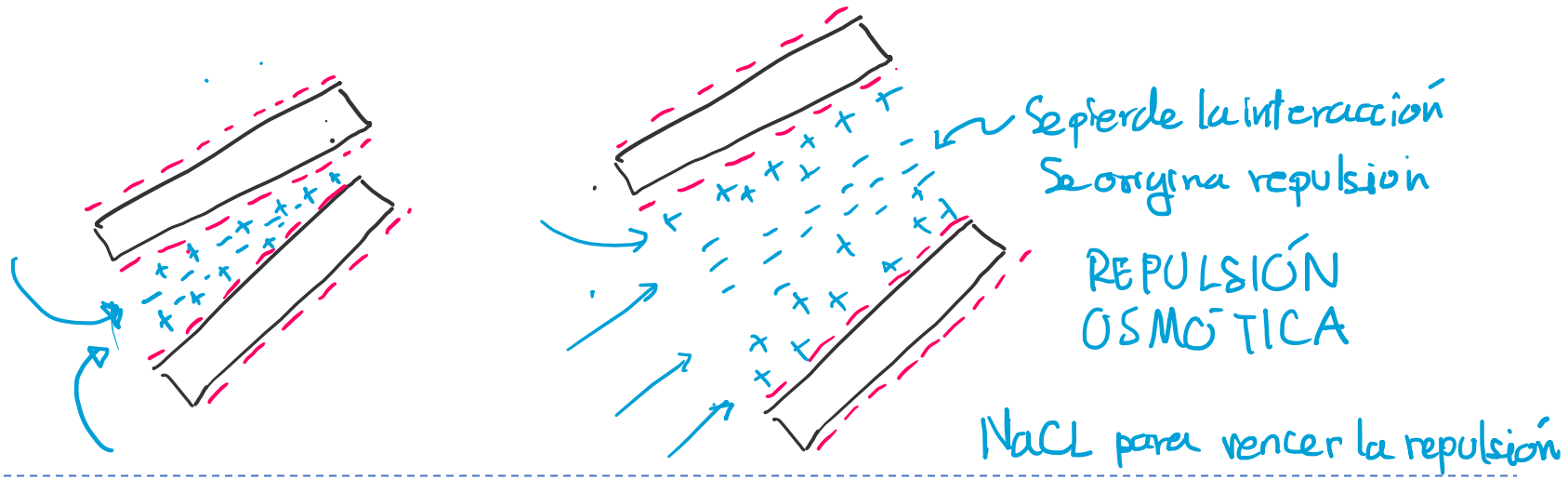
Several ways in which the cohesive soil can hold wáter.



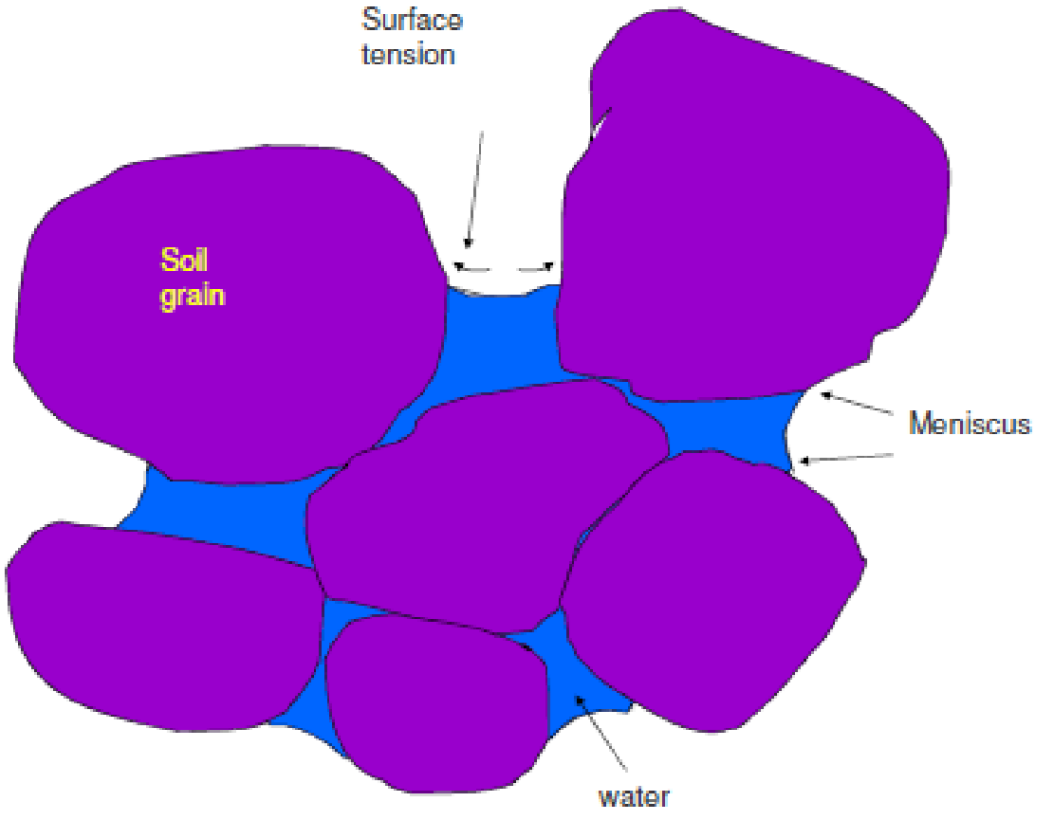
1	**Water of hydration. Chemically combined water within the crystal structure. This water is not generally removable by oven drying.**
2	**Adsorbed water**. Held on the surface of the particle by electrical action. Very strongly bound and is virtually solid. Layer thickness is about 0.005 µm. This water cannot be removed by oven drying.
3	**Hygroscopic moisture**. This layer of water can be removed by oven drying but not by air drying.
4	**Capillary water**. Held by surface tension. It can be removed by drying.
5	**Gravitational water**. This water can move in the voids. It can be removed by drainage.

Aid to identification

- Arena: partículas claramente visibles
- Limo: partículas se convierten en polvo, cuando secas fácilmente removidas de manos o zapatos
- Arcillas: son grasosas y pegajosas cuando húmedas, duras cuando secas, se remueven mediante lavado

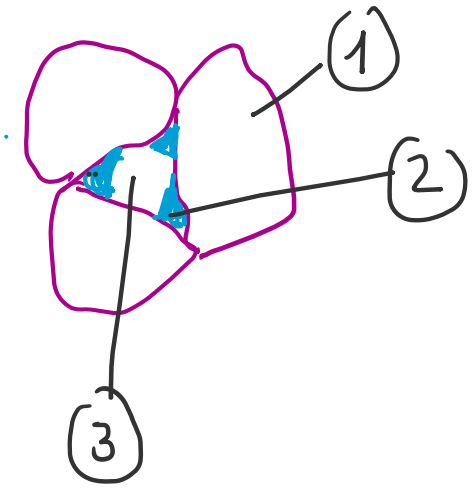


1.4 Relaciones volumétricas y gravimétricas



Tres fases:

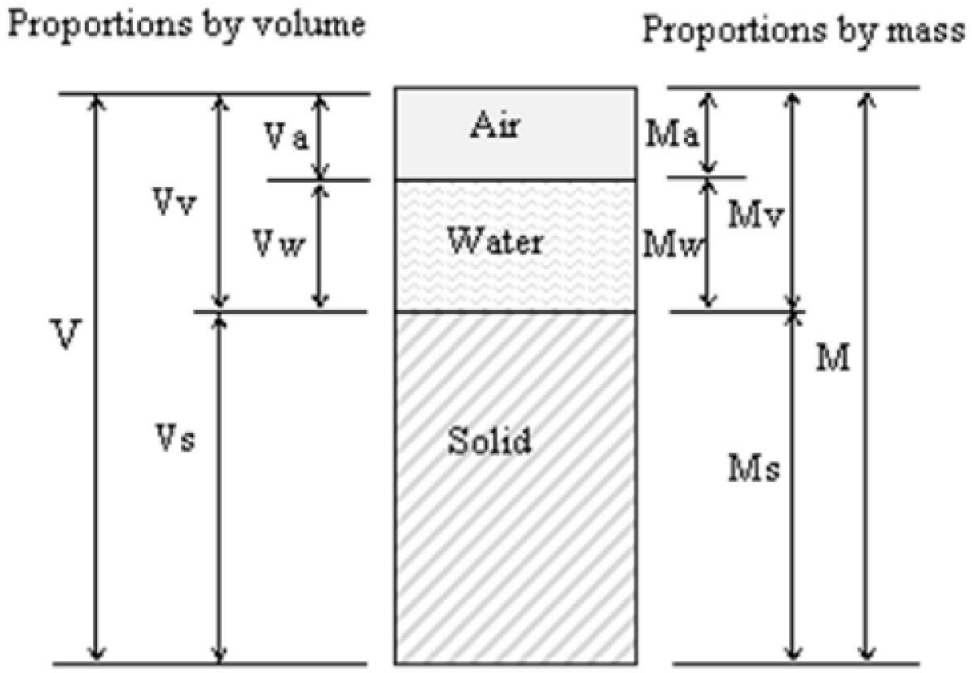
1. Partículas sólidas
2. Agua
3. Aire



Three Phase Model of Soil

Modelo promedio

- Soil is a three-phase material consisting of a skeleton of solid particles
- encompassing voids filled air and water



$V = V_S + V_V$

V_V → volumen de vacíos

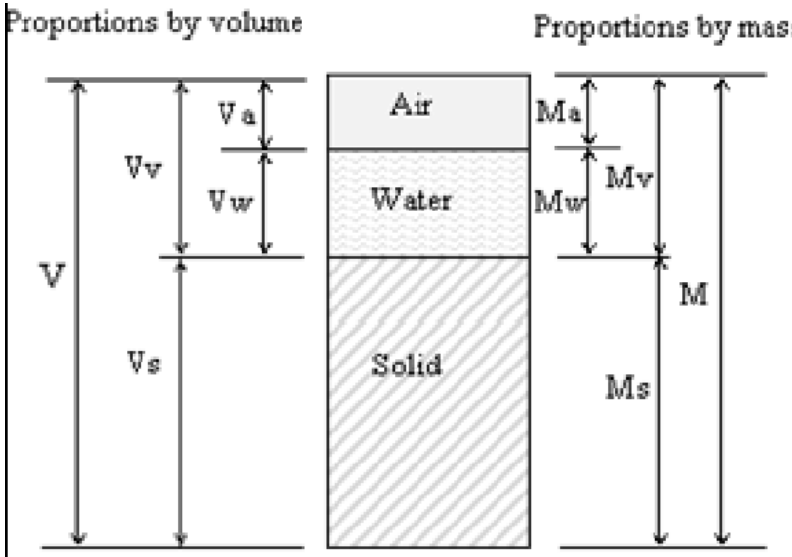
V_S → volumen de sólidos

V → volumen total

$V = V_S + V_W + V_a$

V_a → aire

V_W → volumen de agua



V = total volume of soil element

M = total mass of soil

Vs = volume of solids

Ms = mass of solids

Vv = volume of voids

Mv = mass of void

Vw = volume of pore water

Mw = mass of water

Va = volume of pore air

Ma = mass of air = zero

Un volumen cualquiera de suelo : 1ml (cm^3), 1dm^3, 1m^3, 20 m^3 ....

$$V = Vs + Vv = Vv + Vw + Va$$

$$M = Ms + Mv = Ms + Mw + Ma = Ms + Mw$$

Ma assumed = zero

$Ma \simeq 0$ La densidad del aire es baja y por lo tanto la masa es despreciable

1.5 Relaciones de peso específico, relación de vacíos

- Particle Specific Gravity (Gs)-Gravedad específica

$$G_s = \frac{\text{Density of solid particle}}{\text{Density of water}} = 2.6 - 2.7$$

$$\rho_s = \frac{M_s}{V_s} = \frac{\text{Masa de sólidos}}{\text{Volumen de sólidos}}$$

$$Gs = \frac{Ms}{Vs} \cdot \frac{1}{\rho w}$$ ↙ ρ_w = constante

$$\rho_w = 1000\ \text{kg/m}^3 \text{ or } 1\text{Mg/m}^3$$

Cuando hay presencia de materiales altamente orgánicos, la gravedad es menor a los valores promedio.

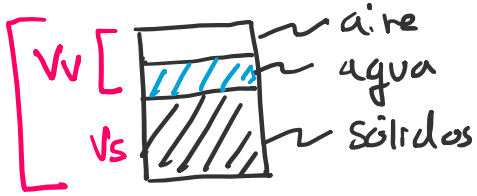
Valores típicos de Gravedad Específica de varios suelos
(Djoenaidi (1985) apud Bardet, 1997)

	Tipo de Suelo	Gravedad es ecífica Gs
horgánico	Grava	2,65
	Arena gruesa a media	2,65
	Arena fina (limosa)	2,65
	Loess, polvo de piedra y limo arenoso	2,67
horgánico	Arena algo arenosa	2,65
	Limo arenoso	2,66
	Limo	2,67 - 2,70
	Arena arcillosa	2,67
	Limo arcillo arenoso	2,67
	Arcilla arenosa	2,70
	Arcilla limosa	2,75
	Arcilla	2,72 - 2,80
Orgánico	Limos con trazos de materia orqánica	2,30 *
	Lodos aluviales orgánicos	2,13 - 2,60 *
	Turba	1 50 - 2 15 *

Void Ratio and Porosity-Relacion de vacios y porosidad

- Proportion of void space in a soil element can be expressed as:

Modelo Simplificado



V = volumen total

$$\text{Void ratio } (e) = \frac{Vv}{Vs} = \frac{Vv}{V - Vv} = \frac{Vv/V}{\frac{V}{V} - \frac{Vv}{V}} = \frac{n}{1-n}$$

Relación de vacíos

$$\text{Porosity } (n) = \frac{Vv}{V} = \frac{Vv}{Vv + Vs} = \frac{Vv/Vs}{\frac{Vv}{Vs} + \frac{Vs}{Vs}} = \frac{e}{1+e}$$

Porosidad

- Relationship between void ratio (e) and porosity (n)

$$n = \frac{Vv}{V} = \frac{Vv}{Vs + Vv} \qquad (1)$$

$$e = \frac{Vv}{Vs} \quad \text{Therefore} \quad Vs = \frac{Vv}{e} \qquad (2)$$

- Substitute Vs from eqn. (2) into eqn. (1).

$$n = \frac{Vv}{\frac{Vv}{e} + Vv} \qquad n = \frac{e}{1+e} \qquad \text{Similarly} \qquad e = \frac{n}{1-n}$$

Arcilla

Muestras inalteradas

peso hú

Bulk density (r) = mass per unit volume

And

$$Gs = \frac{Ms}{Vs.\rho w} \qquad \text{or} \qquad Vs = \frac{Ms}{Gs.\rho w}$$

Substituting *Vs* in eqn. (6)

$$\rho = \frac{\frac{Ms(1+w)}{Ms(1+e)}}{Gs.\rho w} = Gs.\rho w.\frac{(1+w)}{(1+e)}$$

Bulk density (r) = mass per unit volume

- Taking account of the degree of saturation:

$$w = \frac{Sr.e}{Gs} \quad \Rightarrow \quad \rho = \frac{Gs(1+\frac{Sr.e}{Gs})\rho w}{1+e}$$

- When soil is saturated:

$$\rho = \frac{(Gs+e)\rho w}{1+e} \qquad S_r = 1 \text{ as } V_w = V_v$$

- When soil is dry: $S_r = 0$ and $V_w = 0$

$$\rho_d = \frac{Gs.\rho w}{1+e}$$

Peso unitario = $\rho g = \gamma$

Tabla 2.2 Relación de vacíos, contenido de agua y peso específico seco para algunos suelos típicos en estado natural.

Tipo de suelo	Relación de vacíos, e	Contenido natural de agua en estado saturado (%)	Peso específico seco γ_d (kN/m^3)
Arena suelta uniforme	0.8	30	14.5
Arena densa uniforme	0.45	16	18
Arena limosa suelta de grano angular	0.65	25	16
Arena limosa densa de grano angular	0.4	15	19
Arcilla firme	0.6	21	17
Arcilla suave	0.9–1.4	30–50	11.5–14.5
Loess	0.9	25	13.5
Arcilla orgánica suave	2.5–3.2	90–120	6–8
Tilita glacial	0.3	10	21

Determinar: ρ, ρ_d, w, e, n

$M_{suelo + recip} = 199.62\ gr$

$M_{recip} = 65.79\ gr$

$M_{suelo\ seco} = W_d = 110.48\ gr$

sin recipiente

$$w = \frac{M_w}{M_s} \qquad M_s = M_d \qquad M_w = M - M_d$$

$$w = \frac{(199.62 - 65.79) - 110.48}{110.48} \times 100 = 21.14\%$$

$e = 0.53$ $\quad G_s = 2.73$ $\quad n = 0.35$

$$\rho = \frac{G_s \rho_w (1+w)}{1+e} = \frac{2.73 \times 1 \times (1+0.21)}{1+0.53}$$

$$\rho = 2.16\ gr/cm^3$$

$$\rho_d = G_s \rho_w \frac{(1+w')}{1+e} = 2.73 \times 1 \times \frac{(1+0)}{1+0.53} = 1.78\ gr/cm^3$$

$$\rho = 2160 \frac{kg}{m^3} \times \frac{9.81 N}{kg} = 21190 \frac{N}{m^3} = 21.2 \frac{kN}{m^3}$$

$S_r = ?$

$$w G_s = S_r e$$

$$S_r = w G_s / e = 0.21 \times 2.73 / 0.53 = 1 \simeq 100\%$$

$\rightarrow G_s = 2.73$

gravas con arcillas

debido a que la composición de la muestra varía mucho

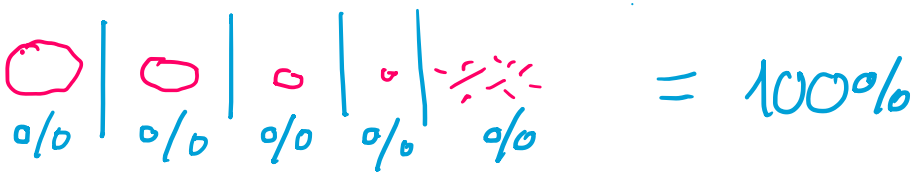
1.6 Granulometría y Límites de Atterberg

Granulometría

Determinación de la distribución de tamaños de las partículas

Separamos y clasificamos las partículas de suelo de acuerdo a su tamaño

Para:



Clasificar suelos gruesos o granulares

Determinar si cumplen especificaciones para hormigones, carreteras, aeropuertos, filtros, etc.

- Algunos nombres de acuerdo al tamaño de partícula de suelo

Tamaño de las Partículas (mm)

		Bureau of Soils	Atterberg	MIT	US Dept. Agr.	AASHTO	USCS - ASTM
Boleo						> 75	> 75
Grava		> 1	> 2	> 2	> 2	75 - 2	75 - 4.75
Arena	Gruesa	1 - 0.05	2 - 0.2	2 - 0.06	2 - 0.05	2 - 0.075	4.75 - 0.075
	Fina		0.2 - 0.02				
Limo		0.05 - 0.005	0.02 - 0.002	0.06 - 0.002	0.05 - 0.002	0.075 - 0.002	< 0.075
Arcilla		< 0.005	< 0.002	< 0.002	< 0.002	< 0.002	

Dos tipos de granulometría:

POR TAMIZADO

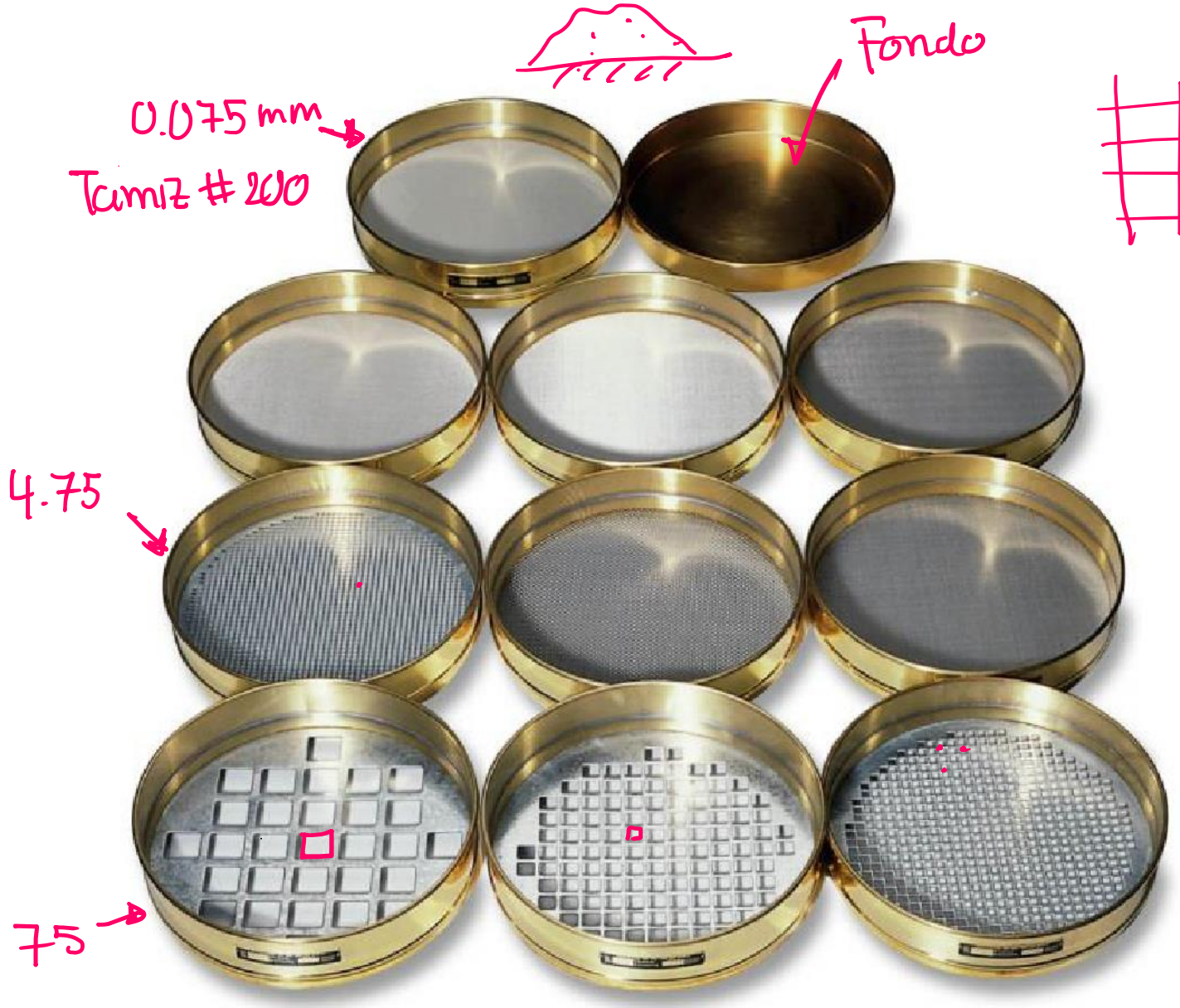
Partículas mayores de D= 0.075 mm

En seco o por lavado sobre el Tamiz No. 200

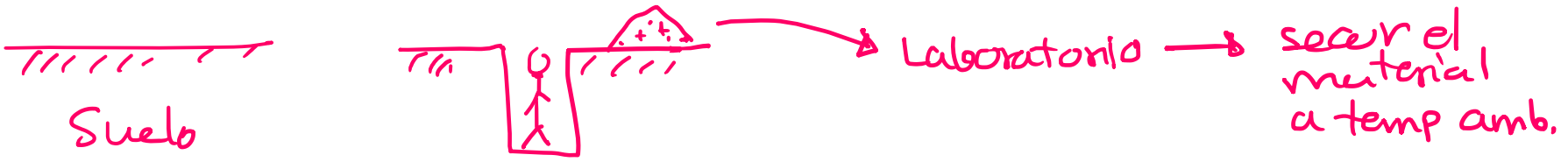
POR HIDROMETRO

Partículas menores de D= 0.075 mm

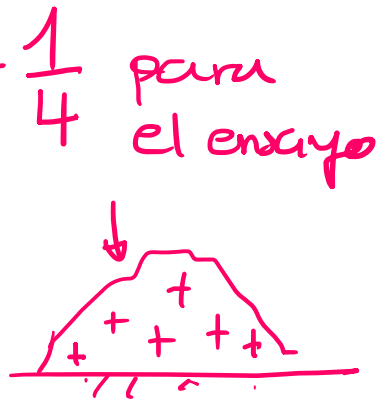
Por suspensión



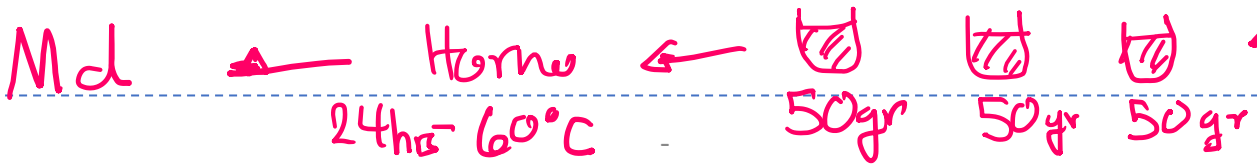
SERIE ESTANDAR

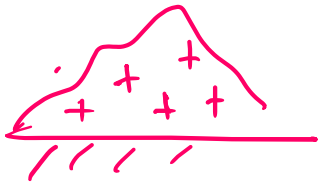


Obtenemos una muestra representativa por cuarteo, para el ensayo por tamices o hidrómetro



Tomamos muestras en pequeños envases (tarros) para llevarlas al horno y determinar la humedad





	(1)	(2)	(3)
# recip (referencia)	2901	506	67
$M_{recip+suelo}$ gr.	—	—	90
$M_{recip+suelo\ seco}$ gr.	—	—	78
M_{agua} gr.	—	—	41 → U

$$\omega_{(3)} = \frac{M_w}{M_s} = \frac{M_w}{M_d} = \frac{M - M_d}{M_d}$$

$$\omega_{(3)} = \frac{90 - 78}{78 - 41} = \frac{12}{37} \times 100 = 32.43\%$$

$\omega_{(2)}$ = —

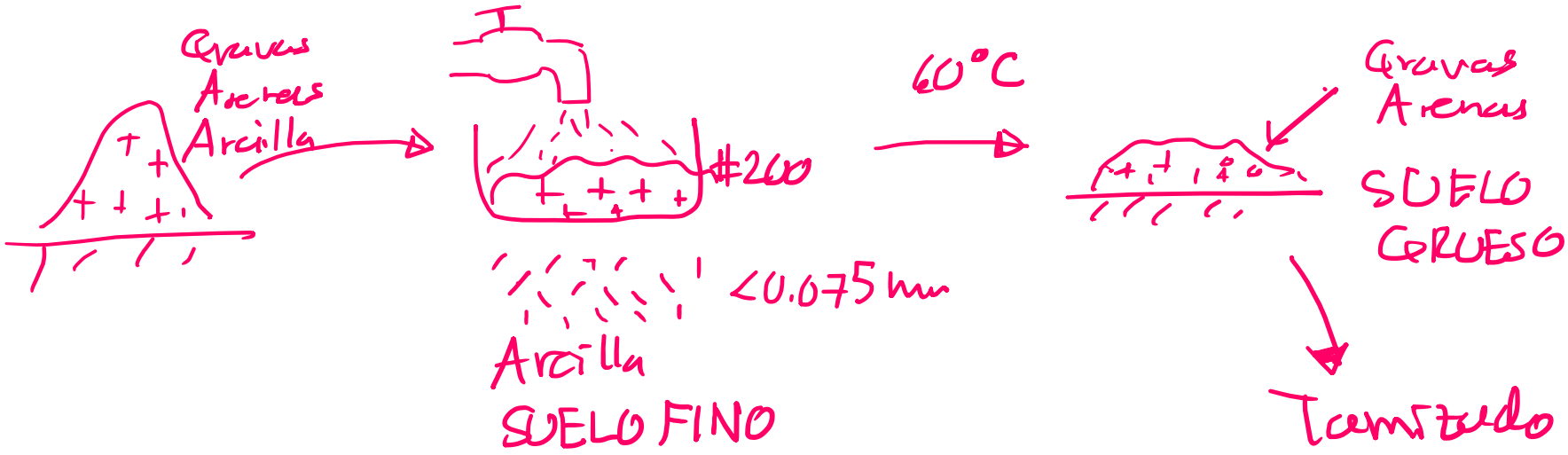
$\omega_{(3)}$ = —

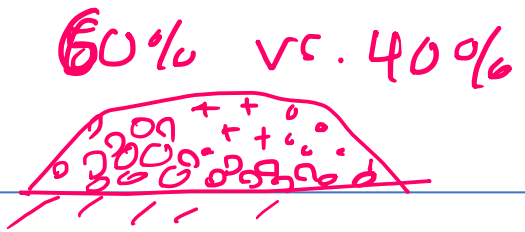
ω promedio

Lavado → secado

Tenemos dos opciones:

- Secar la muestra al horno y realizar el tamizado
  (no recomendado) Solo si hay gravas son limpias
- Lavar la muestra sobre el tamiz #200, secar lo retenido y realizar el tamizado



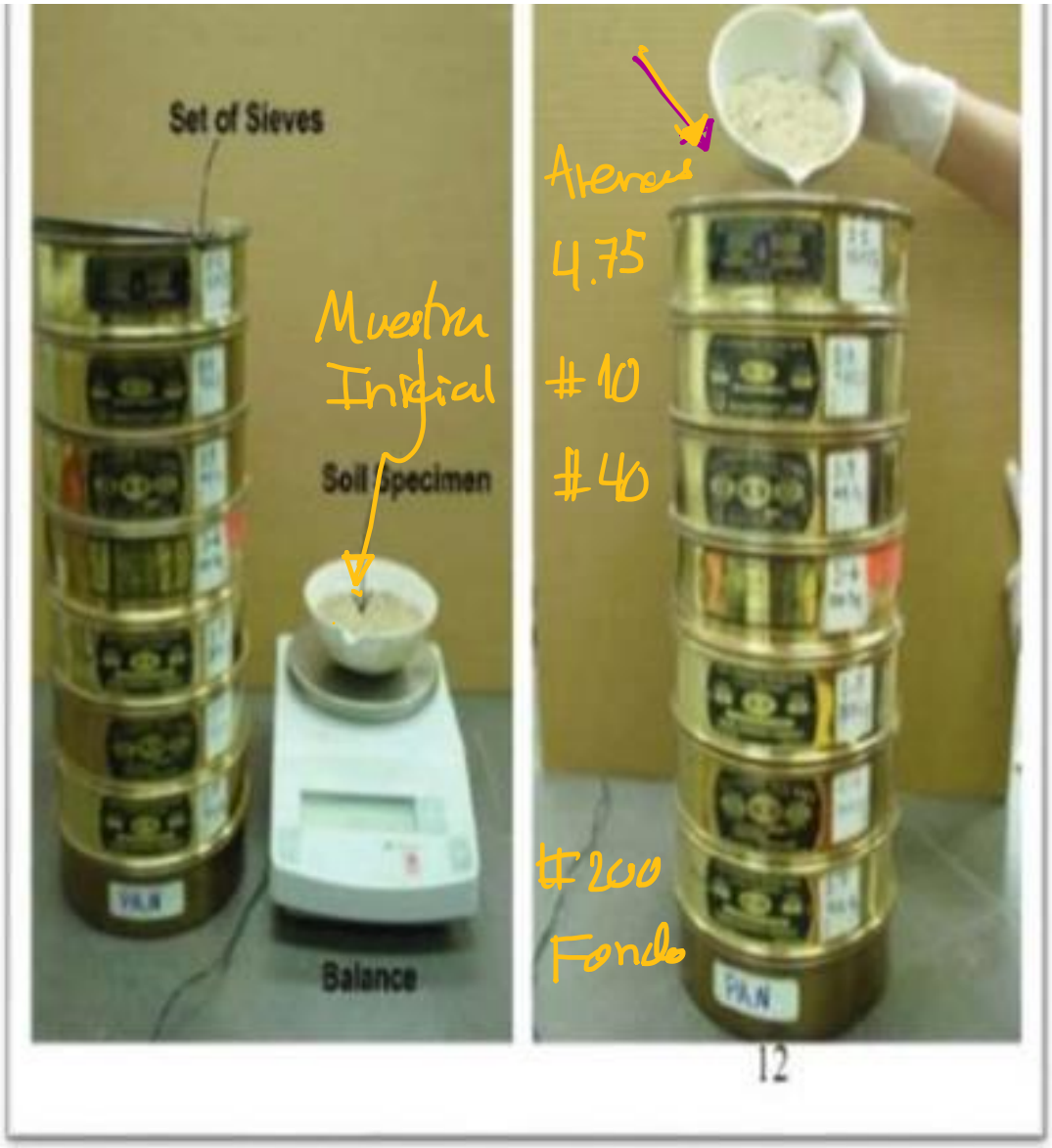


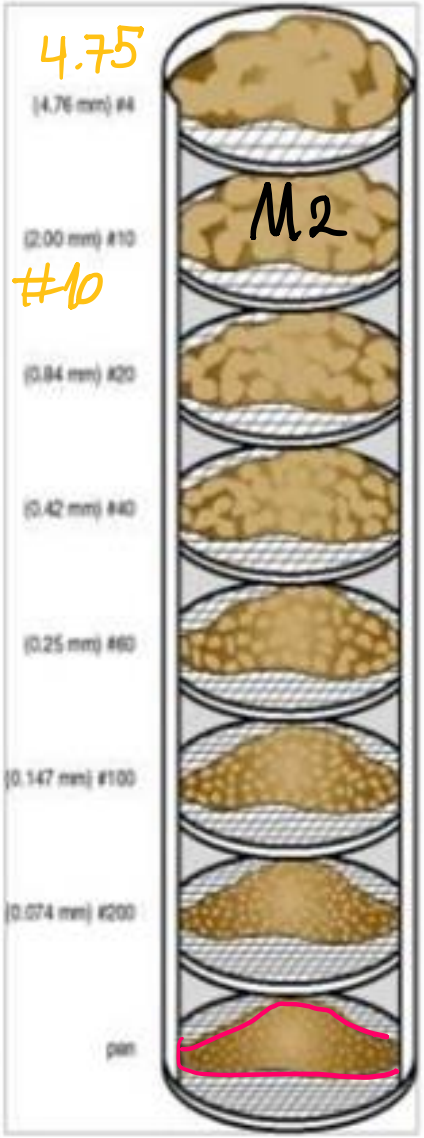
Condiciones de la muestra

- Si predomina GRAVA, utilice los tamices 3", 2", 1½", 1", ¾", ½", ⅜", # 4 (4.75 mm), fondo.
- Si predomina ARENA, los tamices usados son; # 4, # 10, # 20, No. 40, # 60, # 80, # 100, # 200 (0.075 mm), fondo.

Gravas : 2-4 kg muestra para el tamizado

Arenas : 500 gr muestra para el tamizado


Set of Sieves
Soil Specimen
Balance
Muestra Inicial
Aforos
4.75
#10
#40
#200
Fondo
12


4.75
(4.76 mm) #4
(2.00 mm) #10
#10
(0.84 mm) #20
(0.42 mm) #40
(0.25 mm) #60
(0.147 mm) #100
(0.074 mm) #200
pan
M2
M1
M2
M3
M4
M5

Tamizado

- Tamices colocados en orden decreciente de acuerdo a la apertura de su malla
- Colocamos la muestra en el tamiz superior
- Aplicamos vibración a la serie de tamices
- Las partículas pasaran mallas mayores o iguales a su tamaño y quedaran retenidas en mallas menores o iguales a su tamaño

W1

W2

W3

W4

Wn...

Fondo
>0.075mm

Malla gruesa

Malla fina

Resultados

- Después de vibrar la serie de tamices por 10 min procedemos a pesar el material retenido en cada tamiz

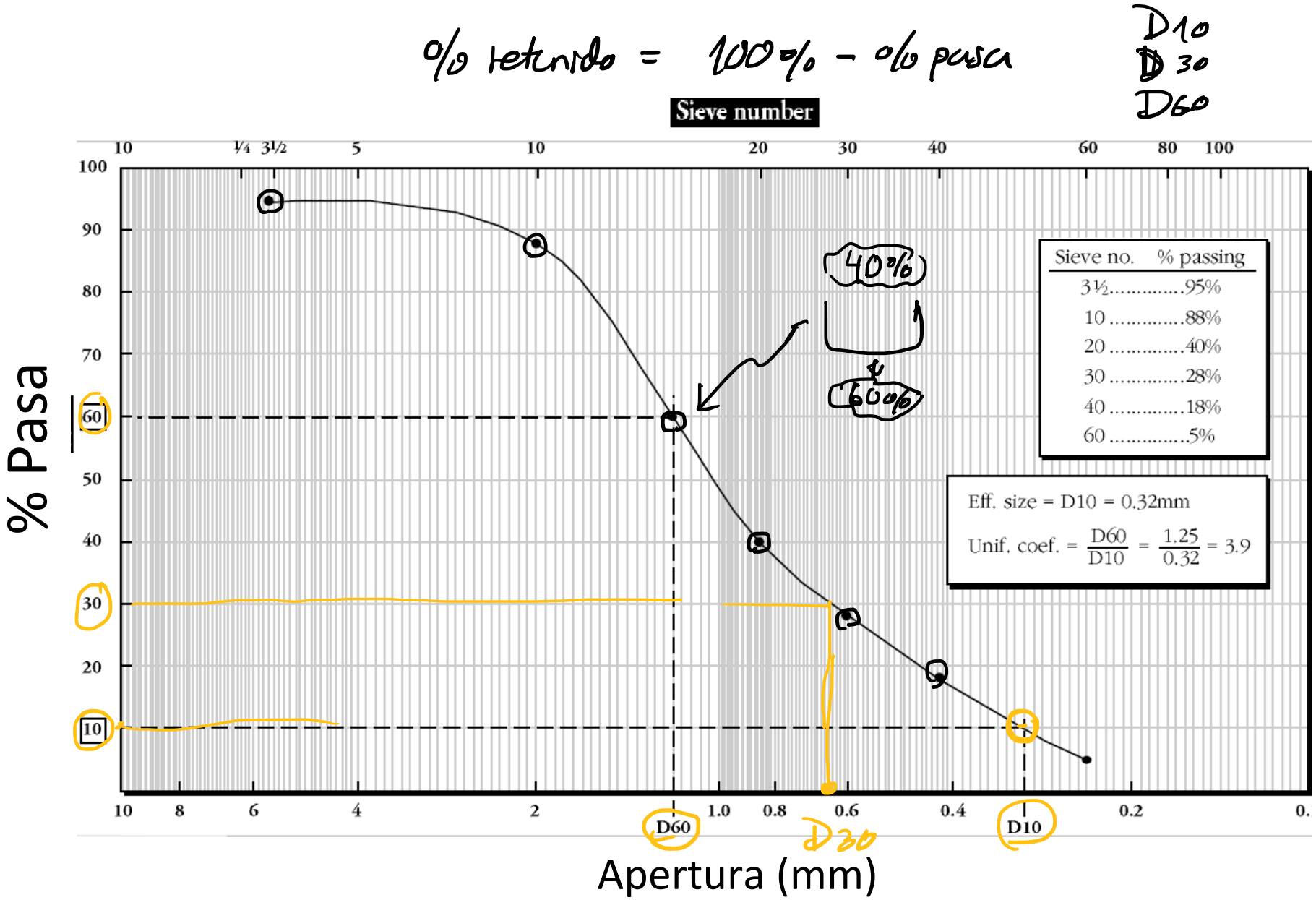
- Estimar el error por tamizado, antes vs después del tamizado $error = \frac{M_{antes} - M_{después}}{M_{antes}} < 1\%$

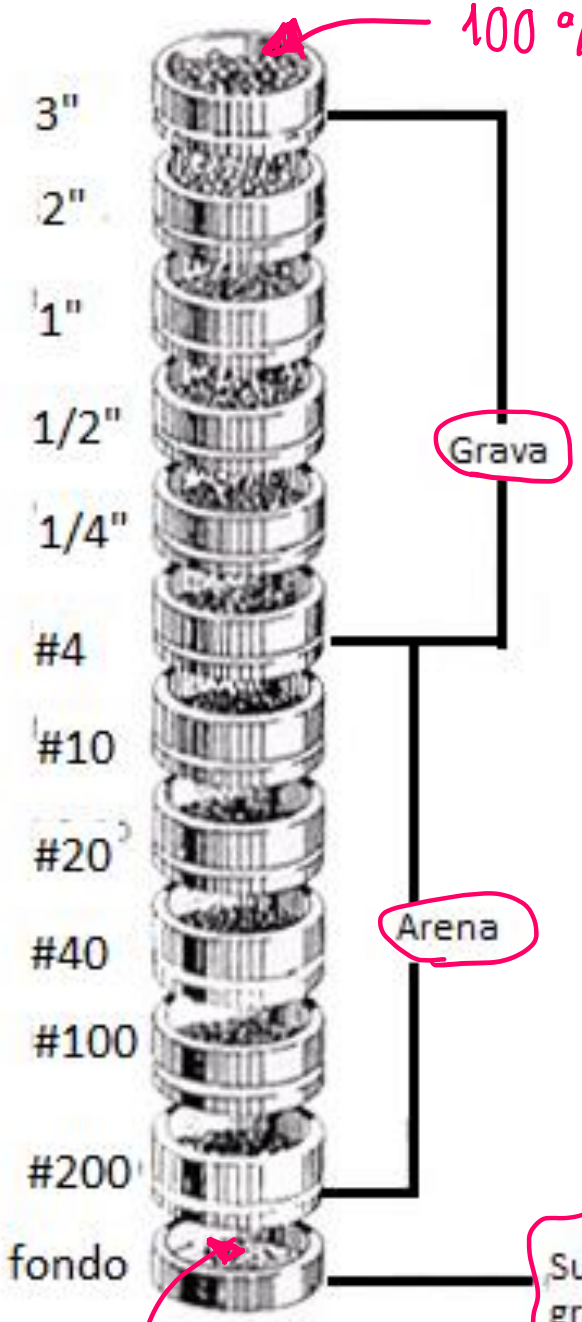
- Aplicar correcciones al peso retenido
  1 debido al tamizado
  2 debido a los finos (lavado)
- Estimar el porcentaje retenido en cada tamiz

- Calcular el porcentaje retenido acumulado
- Calcular el porcentaje que pasa cada tamiz
- Dibujar un a curva en escala semilogarítmica que indique % pasante vs apertura de tamiz

% retenido = 100% − % pasa

D10
D30
D60



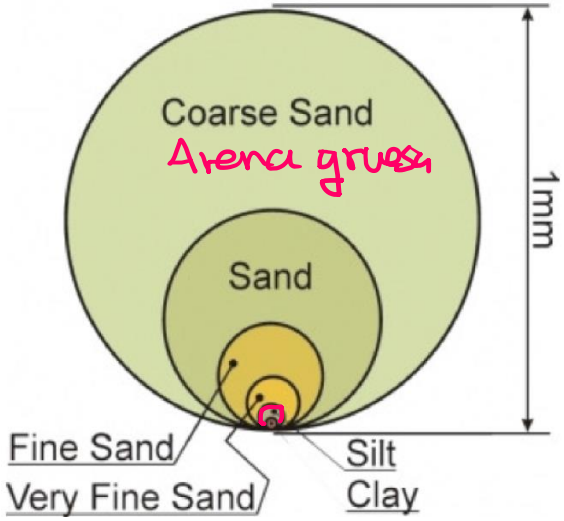


Número de Tamiz	Abertura mm
4"	101.6
2"	50.8
1"	25.4
3/4"	19.1
1/2"	12.7
3/8"	9.52
1/4"	6.35
4	4.76
6	3.36

Número de Tamiz	Abertura mm
8	2.38
10	2.00
12	1.68
16	1.19
20	0.84
30	0.59
40	0.42
50	0.297
60	0.250

Número de Tamiz	Abertura mm
70	0.210
80	0.180
100	0.149
140	0.105
170	0.088
200	0.075
270	0.053
400	0.037

también Limos de baja plasticidad



Coarse = grueso

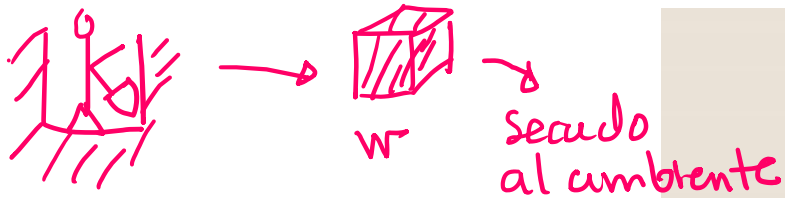
Fine = fino

Silt = Limo

Procedimiento con lavado sobre el tamiz #200 (recomendado para suelo fino)

Una vez muestreado el suelo, habiéndose determinado la humedad de campo, sé procede a lavar la muestra sobre el tamiz 200

Una vez que el agua de lavado este clara, procedemos a secar lo retenido sobre el tamiz 200 y realizamos el tamizado (con vibración) del material seco.



w

Secado al ambiente

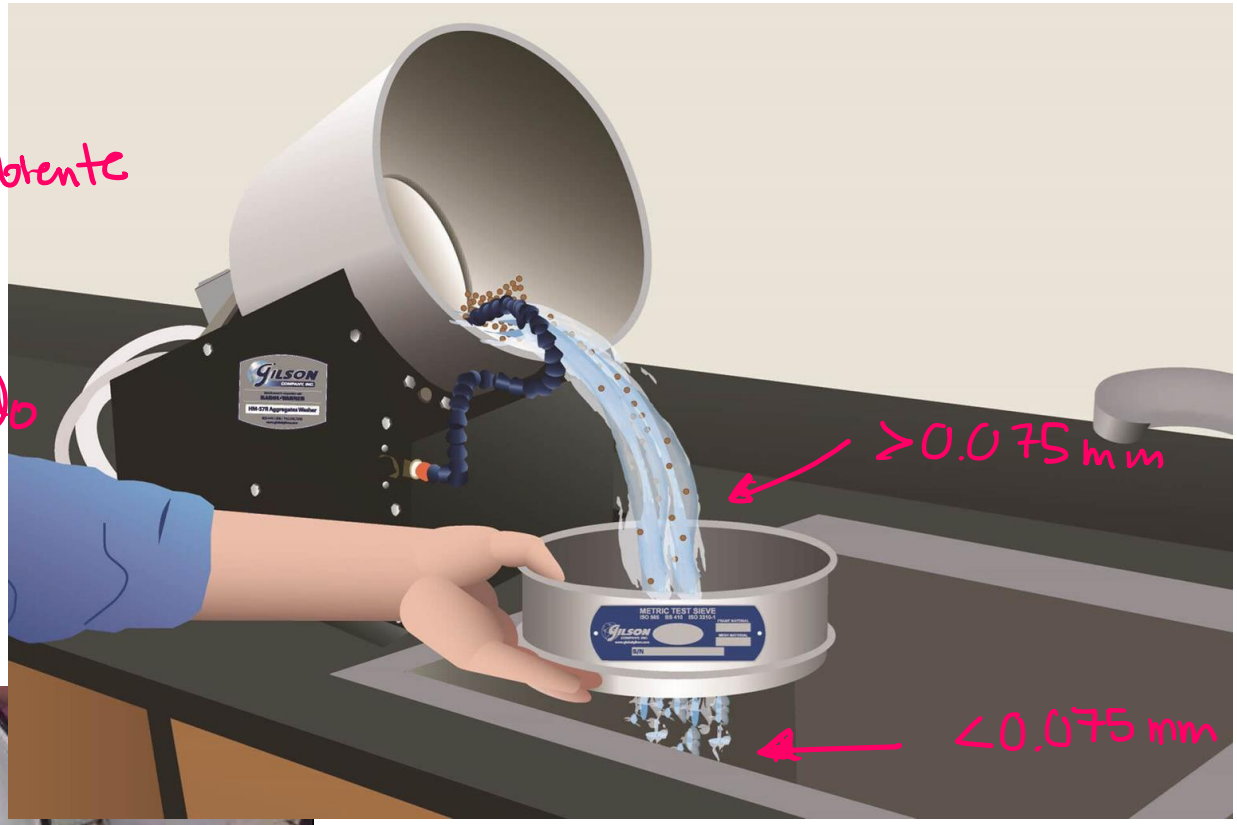
Lavado

Secado al horno

Tamizado

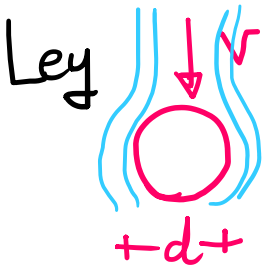
Correcciones

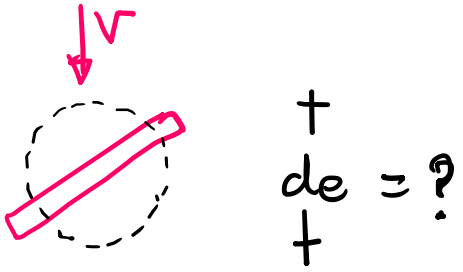
Curva gran.



Granulometría por el método del Hidrómetro

- De acuerdo a la norma ASTM D422
- Utilizamos partículas que pasan el tamiz#200
- Basado en la ley de Stokes: relación entre velocidad de sedimentación de una partícula y su respectivo tamaño. Una partícula esférica cayendo en un fluido de extensión infinita!
- Las partículas de arcillas no tienen forma esférica en lo absoluto!





- Al utilizar esta ley se obtiene un diámetro equivalente de una esfera que se sedimenta con la misma velocidad que la partícula real.

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

En donde:

v: Velocidad de sedimentación de la esfera (cm/seg)

γ_s: Peso específico de la esfera (gr/cm^3)

γ_w: Peso específico del fluido, varia con la temperatura (gr/cm^3)

η: Viscosidad del fluido, varia con la temperatura (gr seg/cm^2)

D: Diámetro de la esfera (cm)

- El diámetro de la esfera en mm esta dado por: L es la longitud de caída de la partícula

$$D = \sqrt{\frac{1800\eta v}{\gamma_s - \gamma_w}} = \sqrt{\frac{1800\eta}{\gamma_s - \gamma_w}}\sqrt{\frac{L}{t}}$$

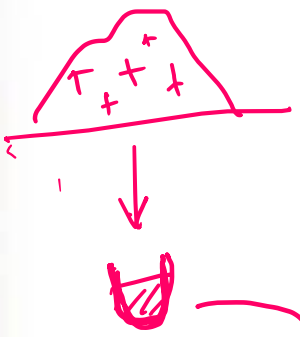
se puede determinar

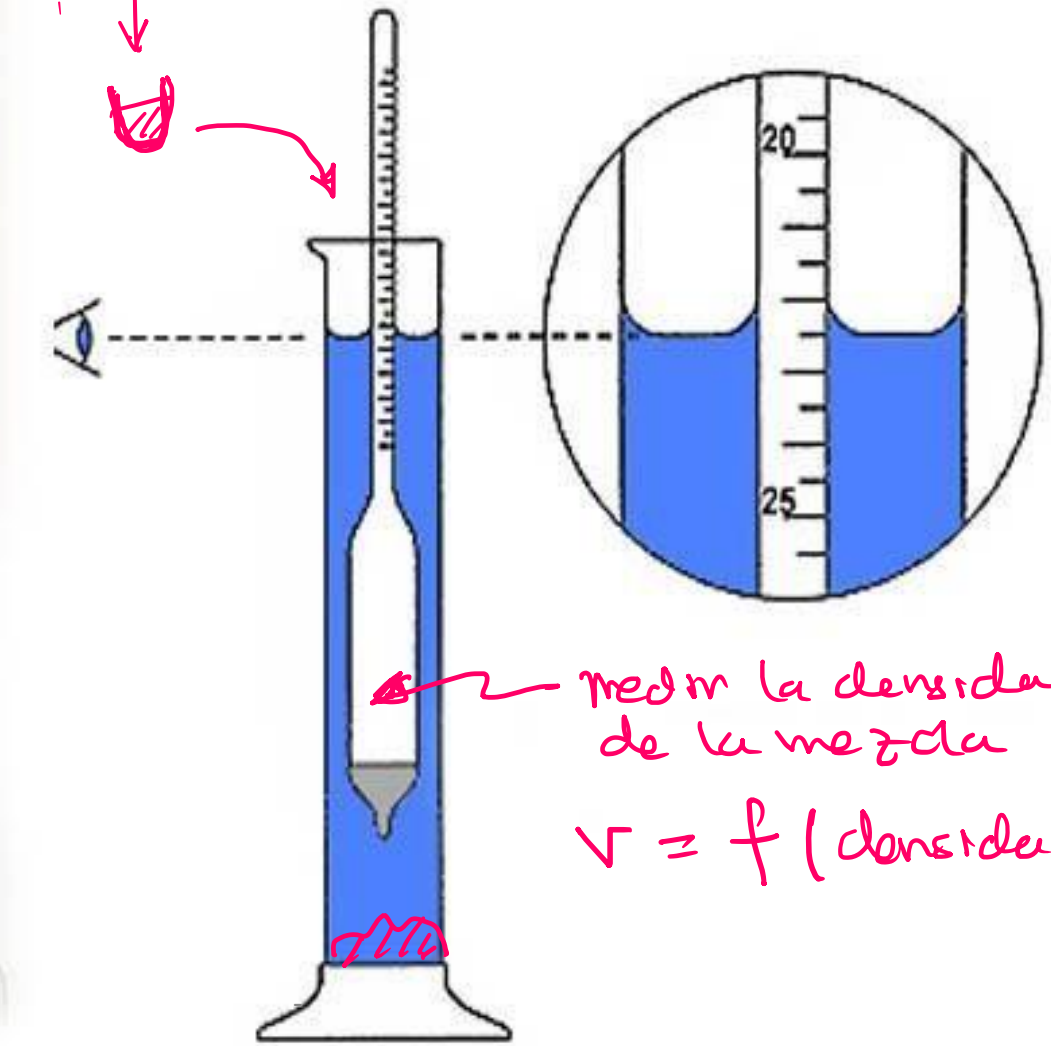
9807 N/m³

Se puede determinar

V se obtiene por un ensayo de sedimentación

Solución metafosfato de sodio + el material fino





hidrómetro

mide la densidad de la mezcla

$\nu = f(\text{densidad})$

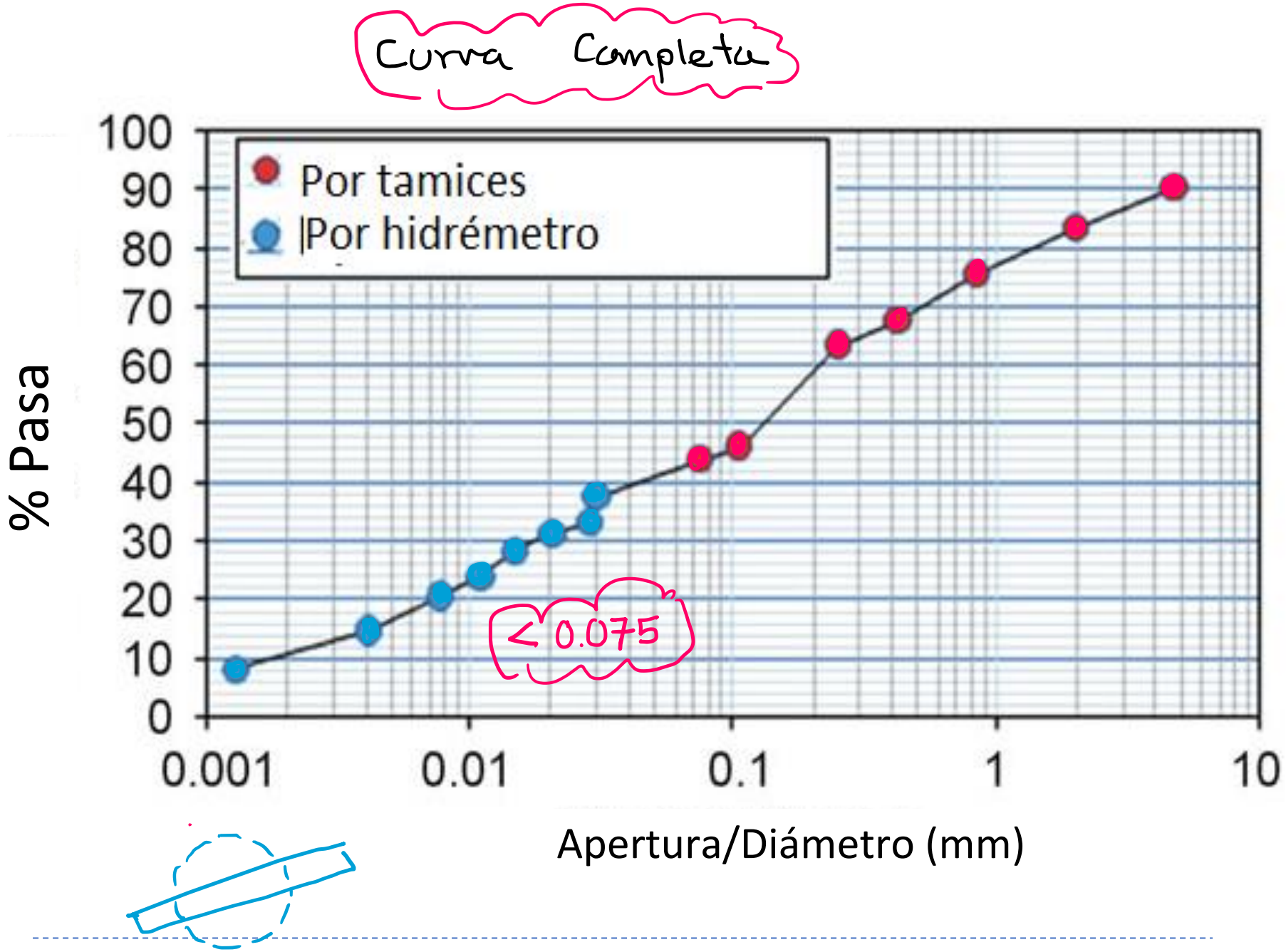
El ensayo del hidrómetro

- Tomar 50 gr. De suelo pasante el tamiz 50/200 y secado al horno

- Preparar una solución de 250 ml agua con hexametafosfato de sodio (agente dispersor) al 4% (10 g), y agregar 125ml en un recipiente con los 50 g. de suelo seco. Reposar la mezcla por 16 horas aprox.

- Los 125ml restantes se colocan en una probeta y posterior se llena la misma con agua destilada. Medir la temperatura, e introducir el Hidrómetro 152H.

- Agitar la mezcla suelo-agente dispersor por 1 minuto.
- Colocar la mezcla en una probeta y posterior llenar la probeta con agua destilada hasta la marca de tope
- Agitar la probeta por 1 minuto taponando la boca de la probeta
- Introducir el hidrómetro en la probeta y tomar lecturas a los: 0.25, 0.5, 1, 2, 5, 15, 30, 60, 250, y 1440 min


Curva Completa
Por tamices
Por hidrémetro
% Pasa
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0.001
0.01
0.1
1
10
< 0.075
Apertura/Diámetro (mm)

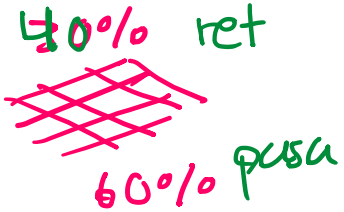
Coeficientes de la curva granulométrica

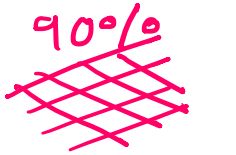
- Coeficiente de uniformidad: describe la distribución de tamaños de las partículas

  Cu> 5 : bien gradado

  Cu< 2 : mal gradado

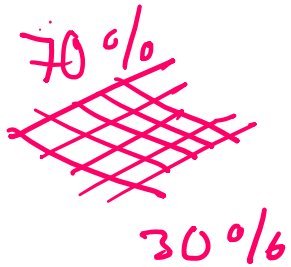
$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$





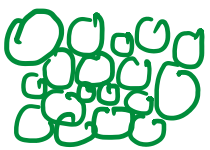
- Coeficiente de curvatura: compara formas de curvas granulométricas

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



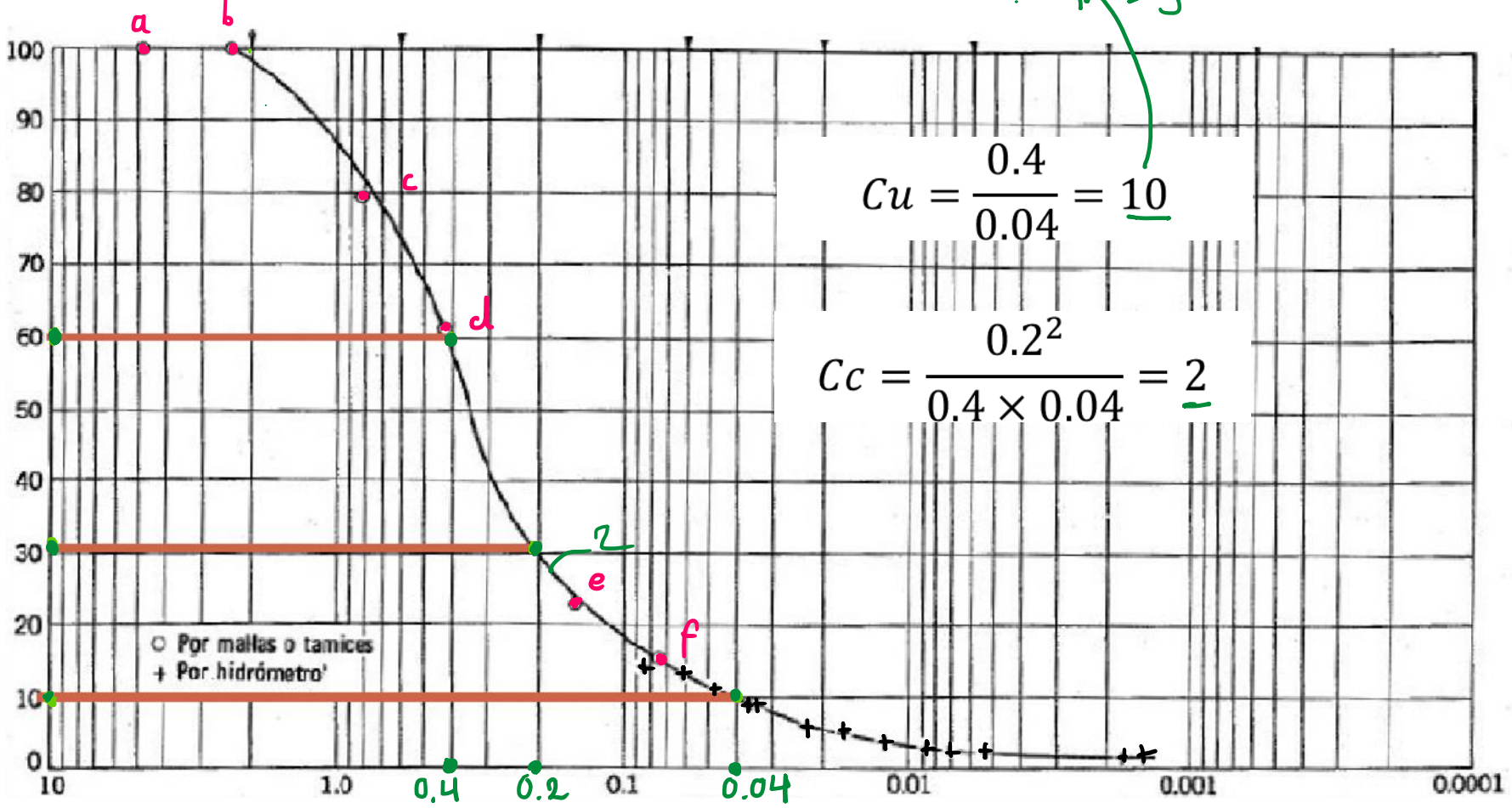
- D10: diámetro efectivo: el tamaño máximo de una partícula en el 10% de la muestra más pequeña
- D30: diámetro que deja pasar el 30% de la muestra
- D60: diámetro que deja pasar el 60% de la muestra

Ejemplo



Suelo bien graduado

> 5



$$Cu = \frac{0.4}{0.04} = 10$$

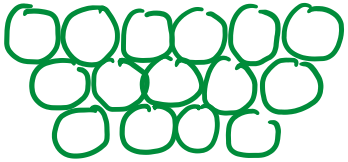
$$Cc = \frac{0.2^2}{0.4 \times 0.04} = 2$$

$D_{60} = 0.4$ mm

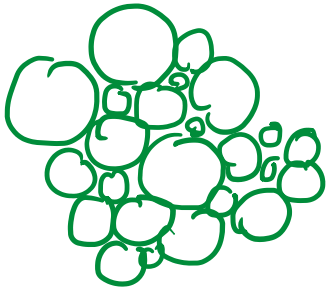
$D_{10} = 0.04$ mm

Apertura/Diámetro (mm)

Arena Uniforme



Arena No Uniforme



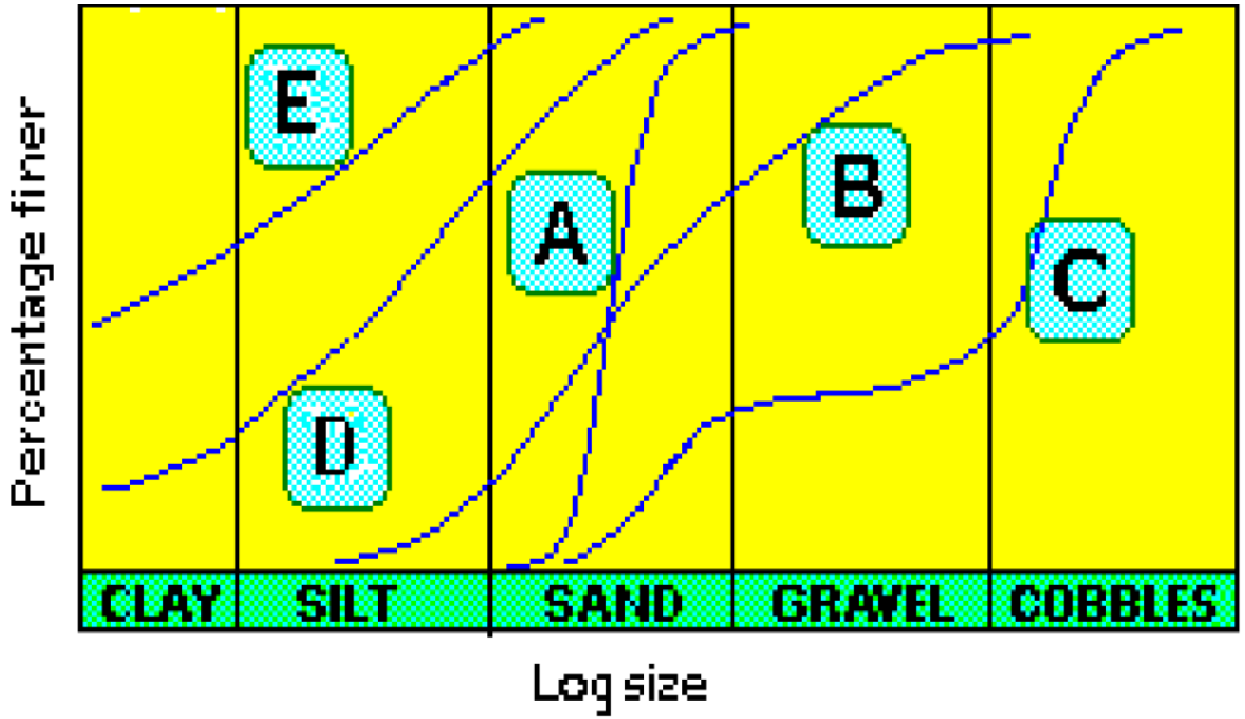
$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$Cu < 2$

Mal graduada

$Cu > 5$

Bien graduada



A – Arena media: mal gradada (típico de estuario o de deposito aluvial)

B – Arena con grava: bien gradada

C – Boleos con arena: vacío en gradación

D – Limo arenoso (limo de deltas o estuarios mas probable)

E – Arcilla limosa

Tutorial de ensayo por tamizado

- Se tienen dos tipos de materiales, arcilla roja, y arena verde
- Entonces la serie de tamices a utilizar es de **8 al 200**
- La arcilla roja tiene poca humedad en campo, y la arena verde también
- Para los dos materiales se hizo lo siguiente:
- Pesado de la muestra: 500 gr
- Tomar muestras de 50 gr para determinar la humedad natural de cada suelo
- Pasar el material sobre el tamiz #4.
- Lavar sobre el tamiz 200 y dejar 24h en el horno
- Realizar el tamizado
- Tomar los pesos retenidos
- Determinar la humedad natural para poder realizar correcciones.

- La humedad natural se determina como sigue:

$$w = \frac{W - Wd}{Wd} \qquad W = \frac{94 - 90.1}{90.1 - 44} \times 100 = 8.46\%$$

Arcilla Roja					
# recip	recip(W1)	material(gr)	peso(W3)	peso(W2)	humedad(%)
42	44,0	50,0	94,0	90,1	8,46
54	41,9	50,0	91,9	87,9	8,70
187	50,4	50,0	100,4	96,6	8,23
total					8.40
Arenisca Verde					
# recip	recip(W1)	material(gr)	peso(W3)	peso(W2)	
119	41,2	50,0	91,2	87,8	7,30
34	40,0	50,0	90,0	86,5	7,53
173	48,0	50,0	98,0	95,1	6,16
total					6.99

- Después del lavado sobre el tamiz 200. el peso del material “arcilla roja”, dejado sobre el #200 (0.075) y secado, fue de **4.5 gr**. El ASTM requiere que la cantidad mínima por lavado y secado sea de 50 gr. Entonces no se realizó granulometría por tamices de este material.
- El en caso de la arena verde, el suelo lavado y secado fue de **351.2 gr**; entonces, se realizó tamizado de este material
- Luego del tamizado de la arena verde se obtuvo un error en peso de 2.2 gr. La normativa indica que el error debería ser menor al 1%. En este caso no hubo problema, y se procedió a realizar la corrección por tamizado.
- Se debe también realizar la corrección de los finos (limos, arcillas) que se fueron en el lavado sobre el tamiz 200, y sumar esta diferencia al material del fondo.

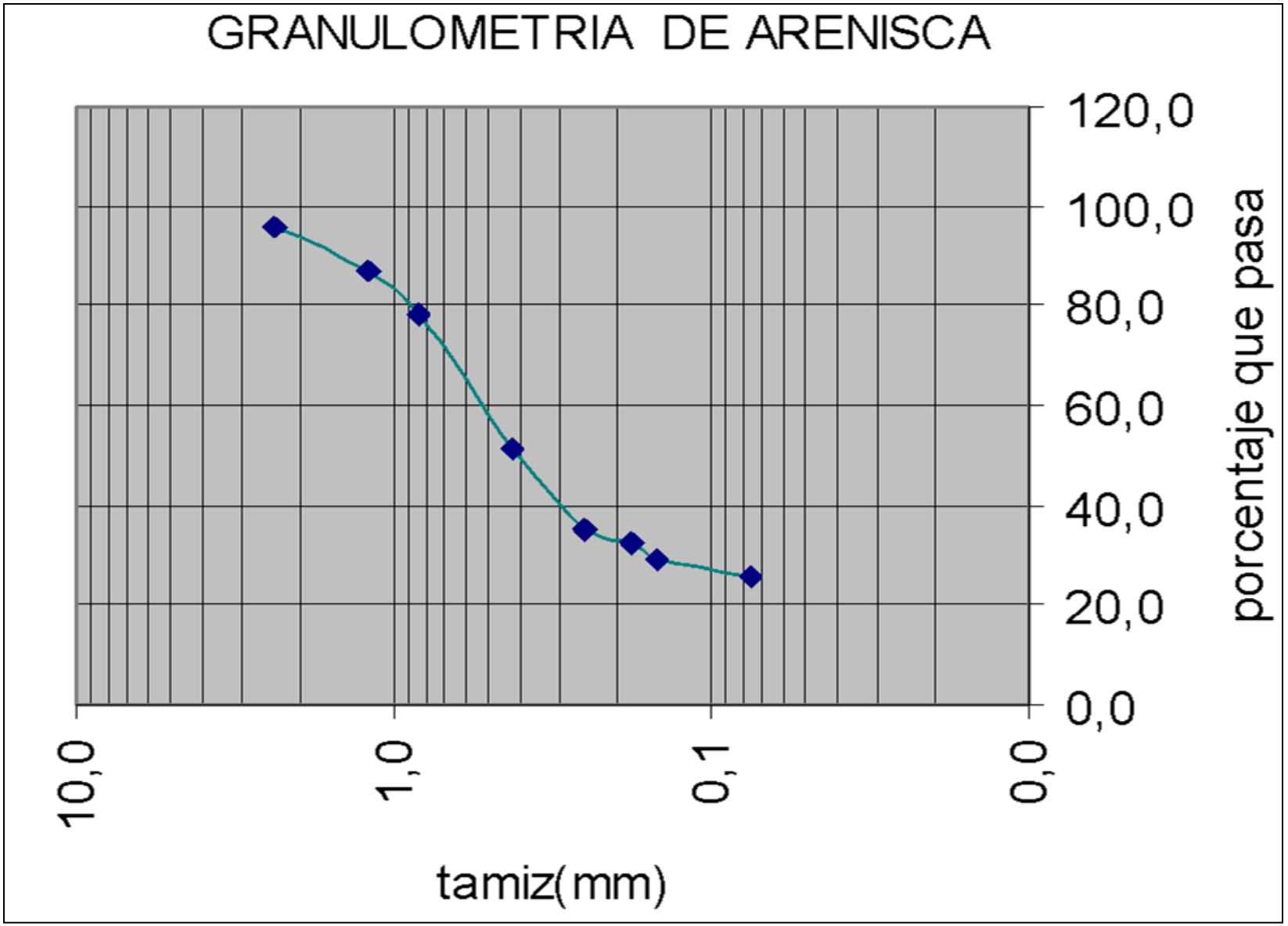
$$W = \frac{Wd}{1+w}$$

$$W_d = \frac{500}{1+0.07} = 467{,}3gr$$

W corr fondo = Wd inicial - Wd final – error por tamizado

W corr fondo = 467.3 – 349.0 – 2.2 =116.1 gr

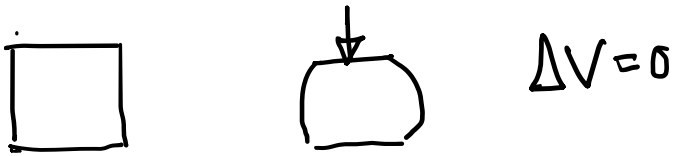
# tamiz	apertura(mm)	peso ret	peso ret corr	peso ret acum	%ret acum	%pasa
8	2,38	18,6	18,6	18,6	3,98	96,02
16	1,19	43,4	43,4	62,0	13,27	86,73
20	0,84	38,8	38,8	100,8	21,57	78,43
40	0,42	124,5	126.7	227,5	48,68	51,32
60	0,25	76,5	76,5	304,0	65,05	34,95
80	0,18	13,5	13,5	317,5	67,94	32,06
100	0,149	14,7	14,7	332,2	71,09	28,91
200	0,075	14,3	14,3	346,5	74,15	25,85
fondo		4,7	120.8	467,3	100,00	0,00
total		349,0	467,3			


GRANULOMETRIA DE ARENISCA
120,0
100,0
80,0
60,0
40,0
20,0
0,0
porcentaje que pasa
10,0
1,0
0,1
0,0
tamiz(mm)

Consistencia del suelo: Limites de Atterberg

- En mecánica de suelos utilizamos las teorías de elasticidad y plasticidad

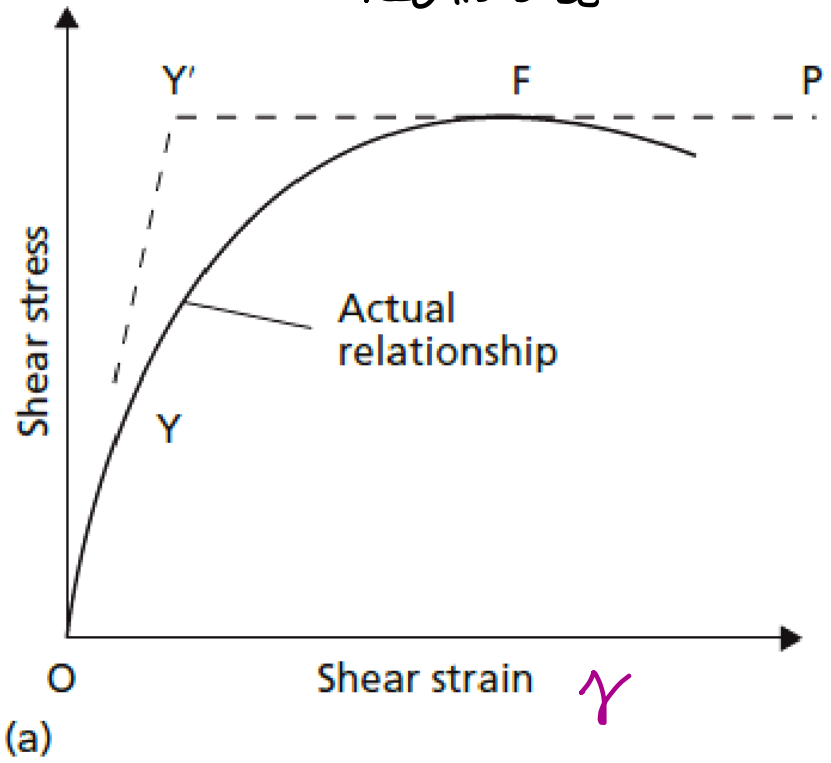
- Plasticidad es la capacidad de los materiales de deformarse sin cambio de volumen apreciable, sin disgregarse



- En modelos simples consideramos un intervalo elástico y uno plástico

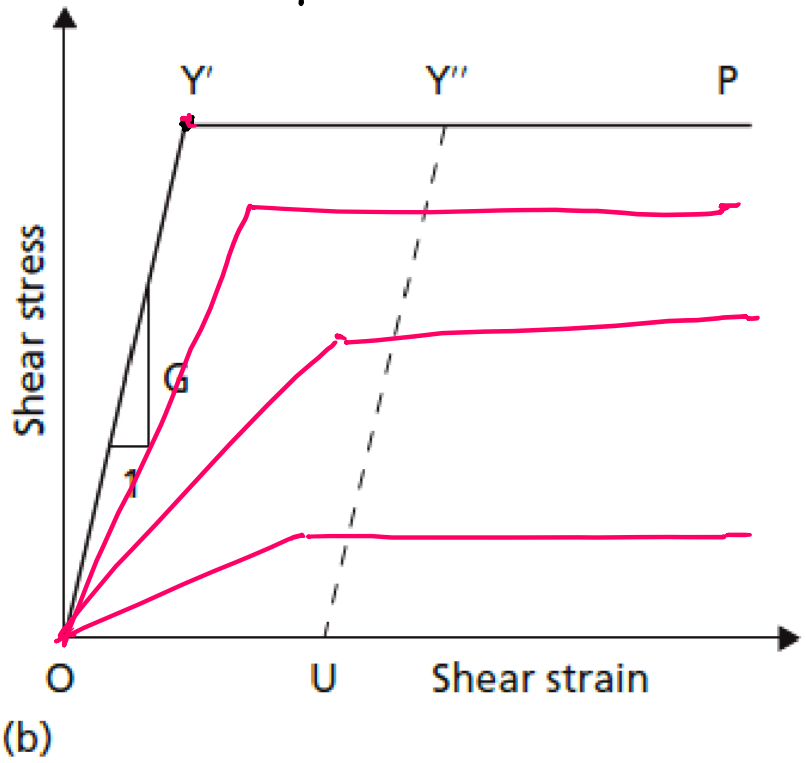
Material elástico, isotrópico $\tau = G\gamma$

Realidad



Curva real ✓

Elastico - Plasticos

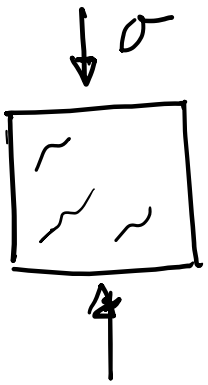


Modelo ✓

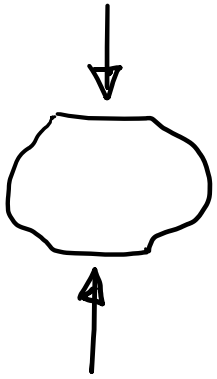
- Cerunas / partículas
- Densidad
- Humedad

Consistencias: suelo de grano fino

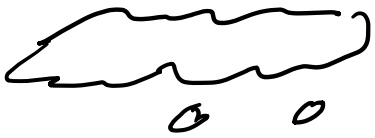
Sólido

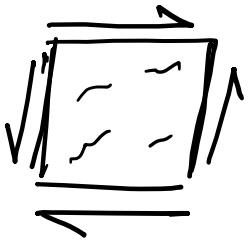


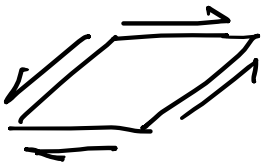
Plástico



Líquido



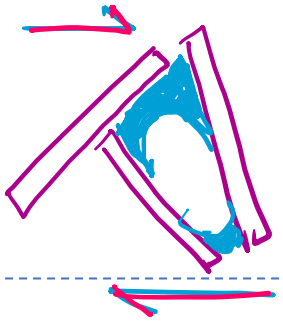


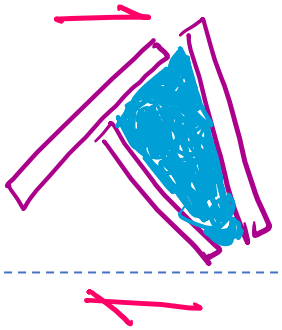


$\tau_{resistente} \simeq 0.$

Plasticidad de los suelos finos

- Los materiales muestran plasticidad cuando exhiben deformaciones no recuperables, sin agrietarse.
- Muchas arcillas se comportan así a contenidos de agua intermedios.
- Es así que si una arcilla es secada y se vuelve un solido, esta mostrará una resistencia muy significativa
- Plasticidad es atribuida a la cantidad de agua contenida en las partículas de arcilla.
- El grado de plasticidad es directamente relacionado a la cantidad de minerales de arcilla presente!.
- Los vacíos entre las partículas de arcilla son tan pequeños y el agua es retenida por presiones de poro negativas por capilaridad, esto permite que la arcilla sea deformable y remoldeable.

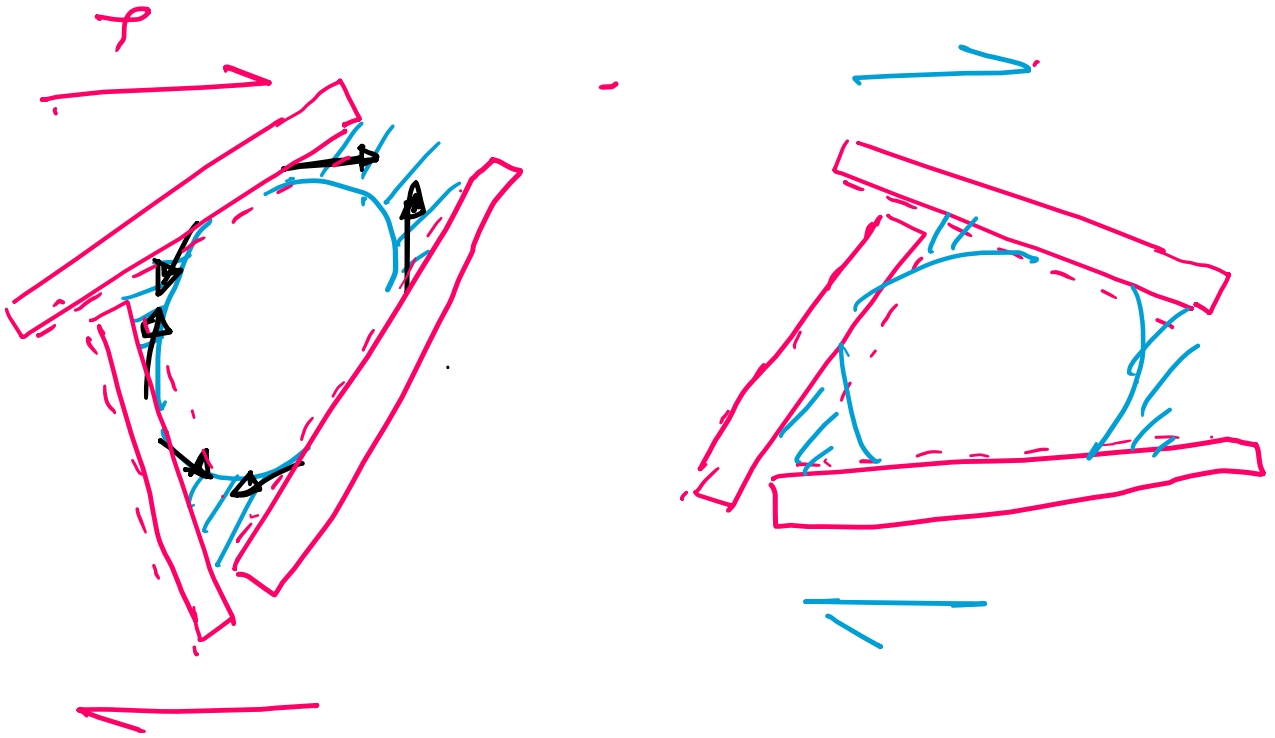




$wG_s = Se$

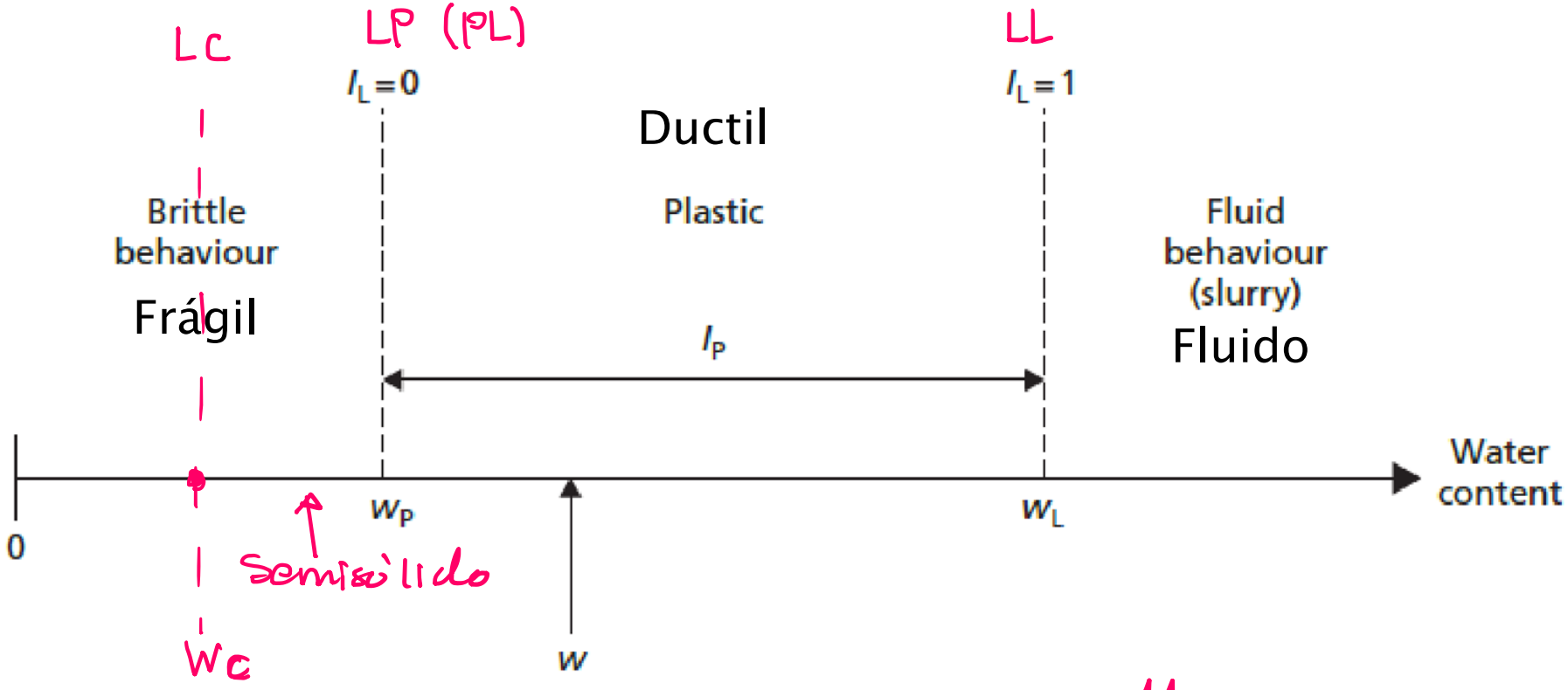
Caolinita: 15-20 m²/gr

Esmectita 500-800 m²/gr



Comportamiento

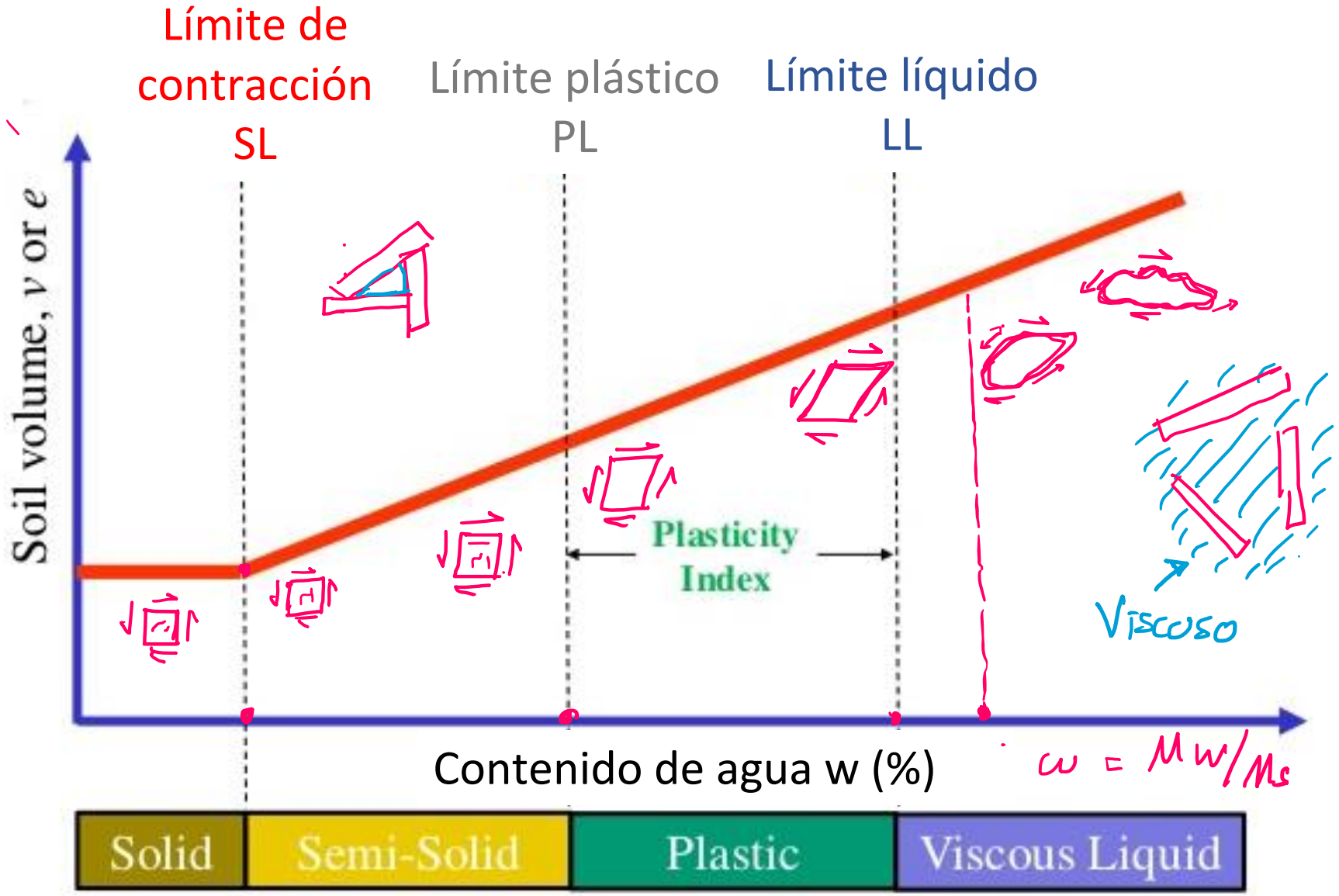
1. Líquido, LL
2. Plástico, LP
3. Semisólido, LC
4. Sólido



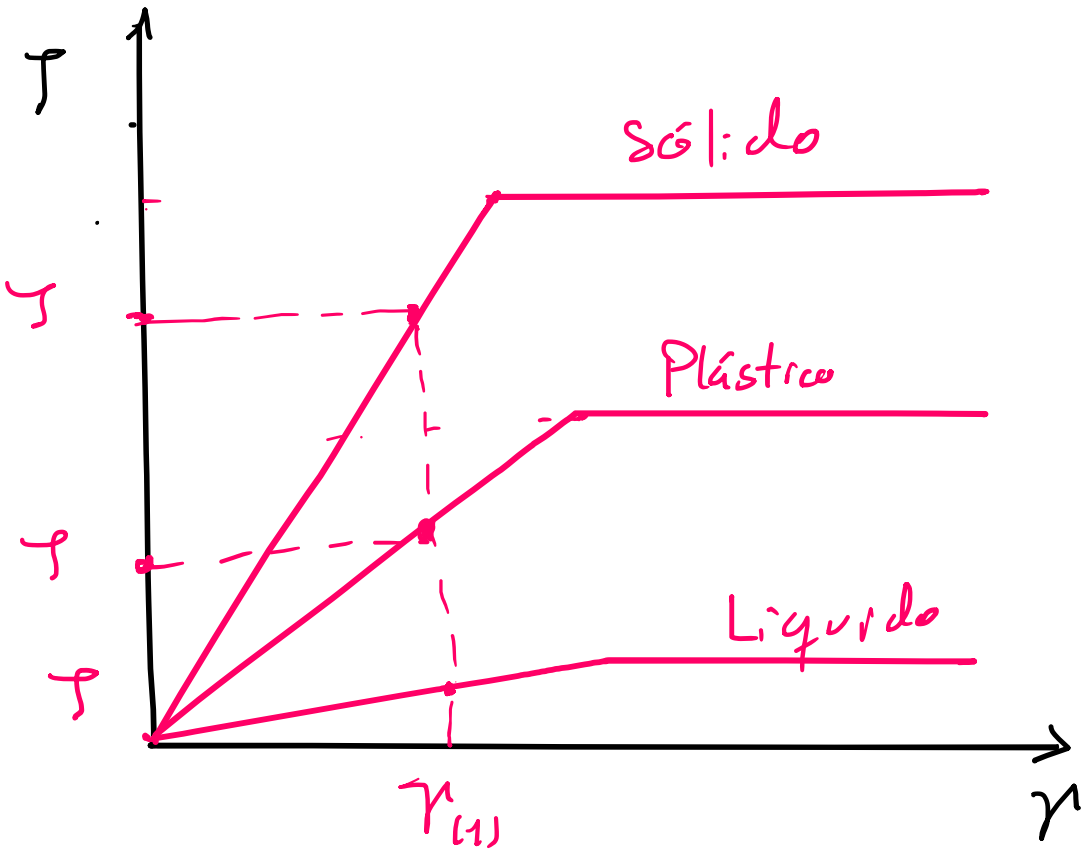
$$w = \frac{M_w}{M_s}$$

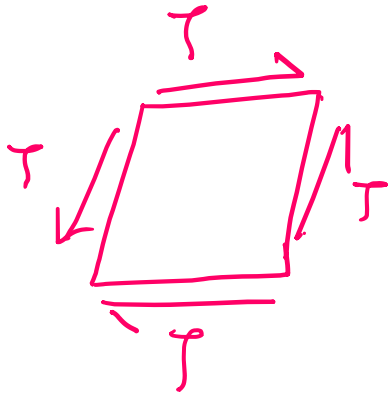
- En Suecia, 1900s, Atterberg desarrollo métodos para determinar la consistencia de suelos FINOS en función de su contenido de agua (humedad)

- Es así que ciertos estados se definen en base al contenido de agua: líquido, plástico, semisólido, sólido.


Límite de contracción
SL
Límite plástico
PL
Límite líquido
LL
Soil volume, v or e
Plasticity Index
Viscoso
Contenido de agua w (%)
ω = Mw/Ms
Solid
Semi-Solid
Plastic
Viscous Liquid

- Estado Líquido: poca o nula resistencia a corte
- Estado Plástico: material plástico, moldeable sin disgregarse
- Estado Semisólido: apariencia de sólido, pero el volumen todavía cambia.
- Estado Sólido: sin variación de volumen, frágil al romper el material, se disgrega


τ
sólido
τ
Plástico
τ
Líquido
τ
γ(1)
γ


τ
τ
τ
τ

Límites de Atterberg

- Límite Plástico (PL/LP): entre líquido y plástico
- Límite Líquido (LL): entre plástico y semisólido
- Límite de Contracción (SL): entre semisólido y sólido

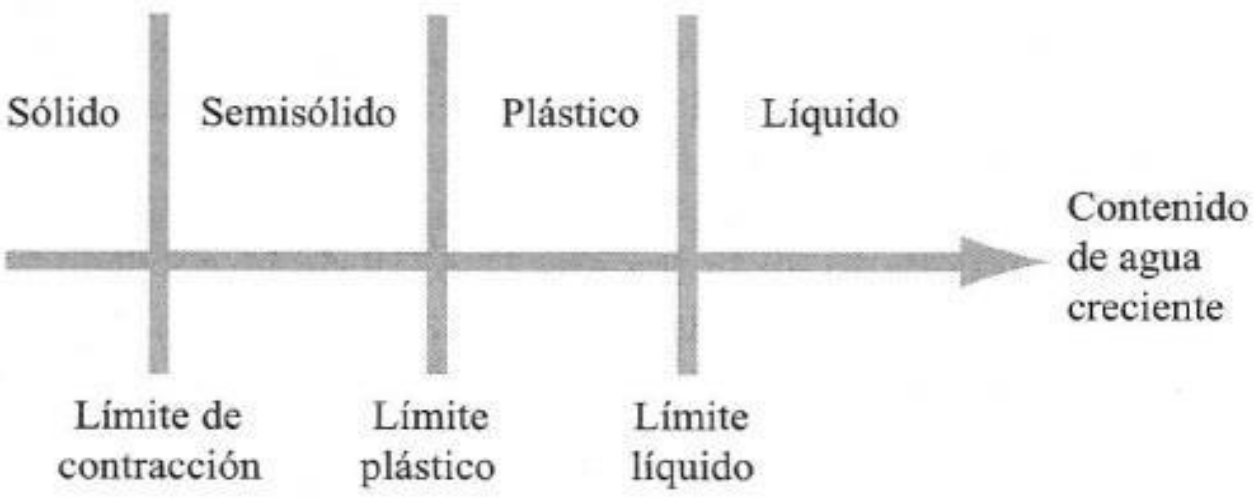


FIGURA 2.5 Límites de Atterberg. (Das)

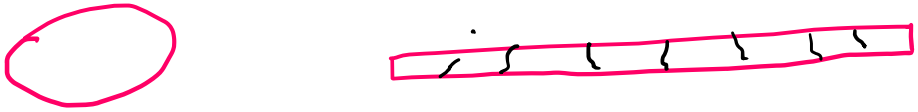
- No hay un criterio absoluto para definir cada límite.
- Los procedimientos tradicionales son aproximados: empíricos
- Los límites de Atterberg aproximan los cuatro estados bastante bien.

Para la determinación de los límites de Atterberg utilizamos

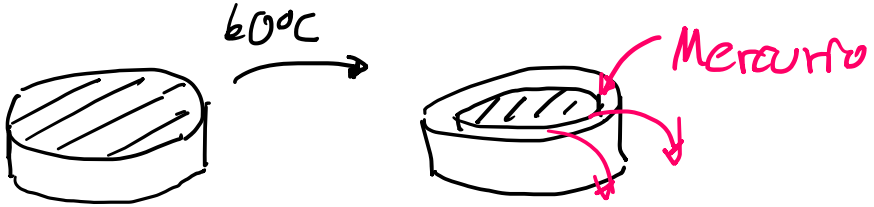
- LL: Cono de impacto, Cuchara de Casagrande

  Resistencia no drenada del suelo *

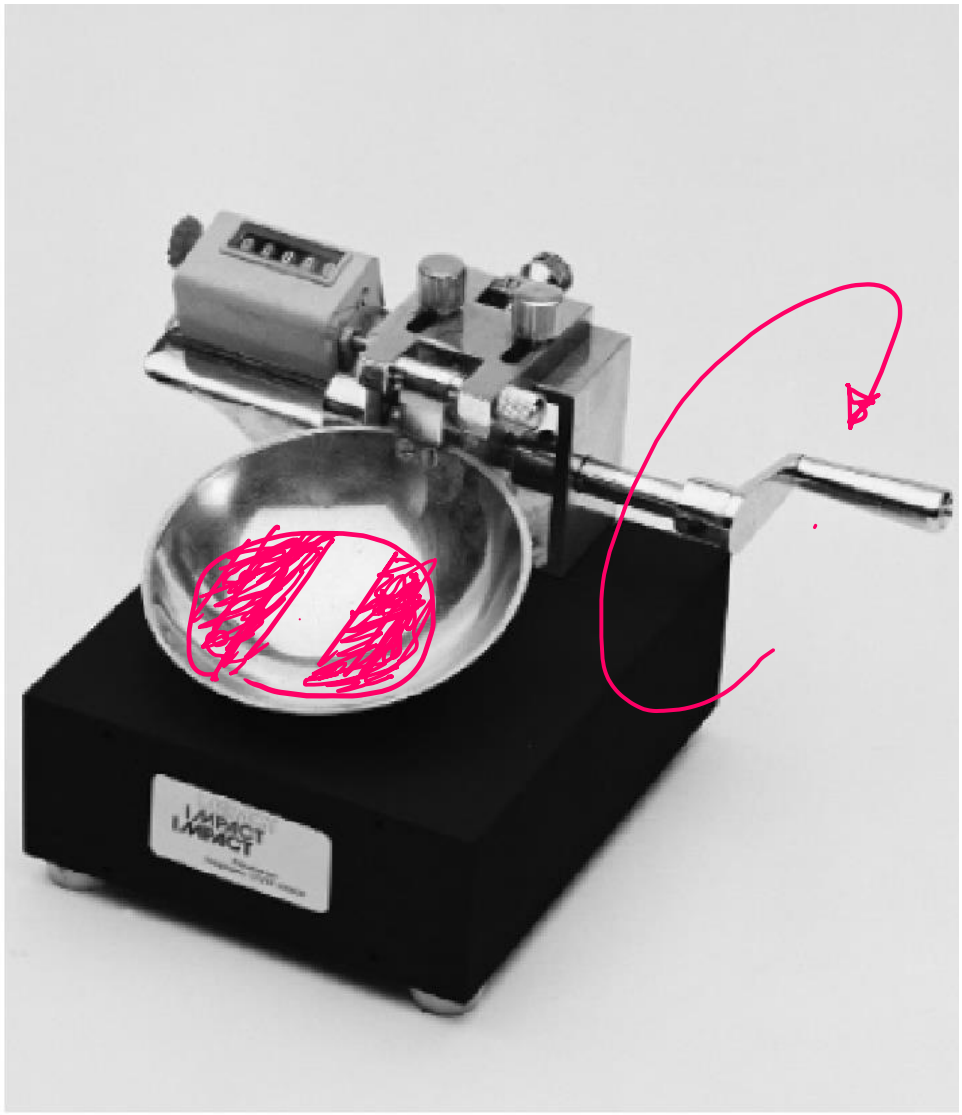
- PL: Cilindros de 3 mm de diámetro con agrietamiento ligero



- SL: Pastilla de suelo cuyo volumen se mide con mercurio desplazado



(a)



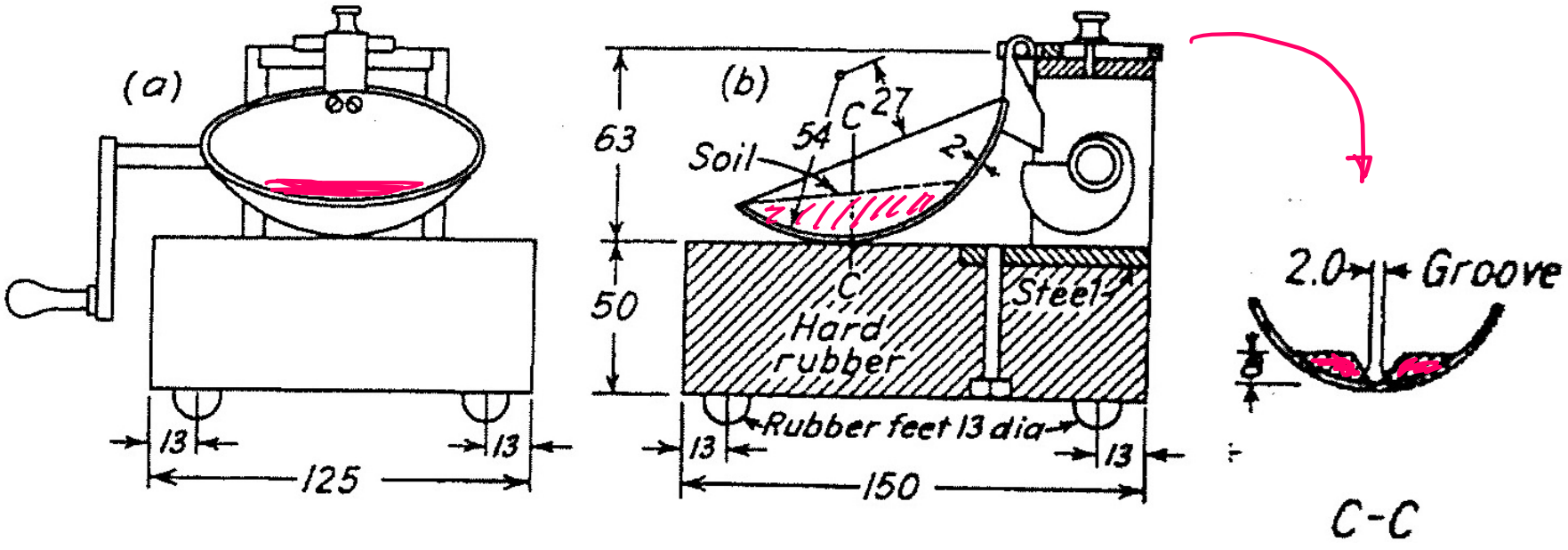
(b)

Cono de impacto

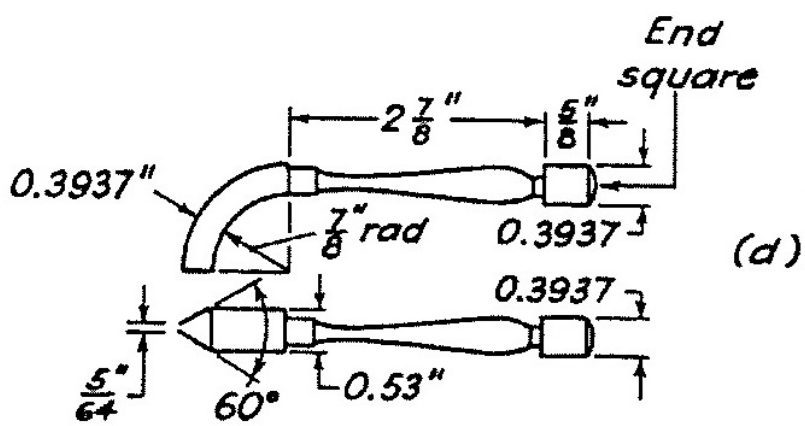
Cuchara de Casagrande ASTM D4318

El ensayo de LL fue estandarizado por Terzaghi y Casagrande como sigue:

- Caída de la cuchara; 10 mm
- Copa de forma esférica: radio=54 mm
- Peso W=200 g.
- LL = humedad a 25 golpes en **13 mm** de cierre
- Velocidad: 2 golpes/s



Note : All dimensions above in millimeters

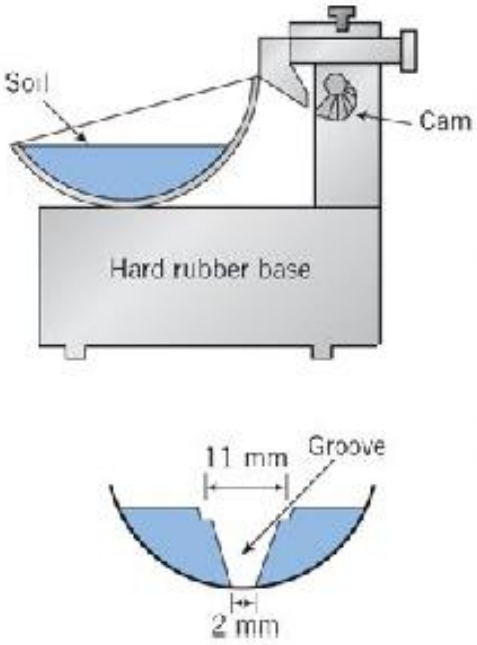


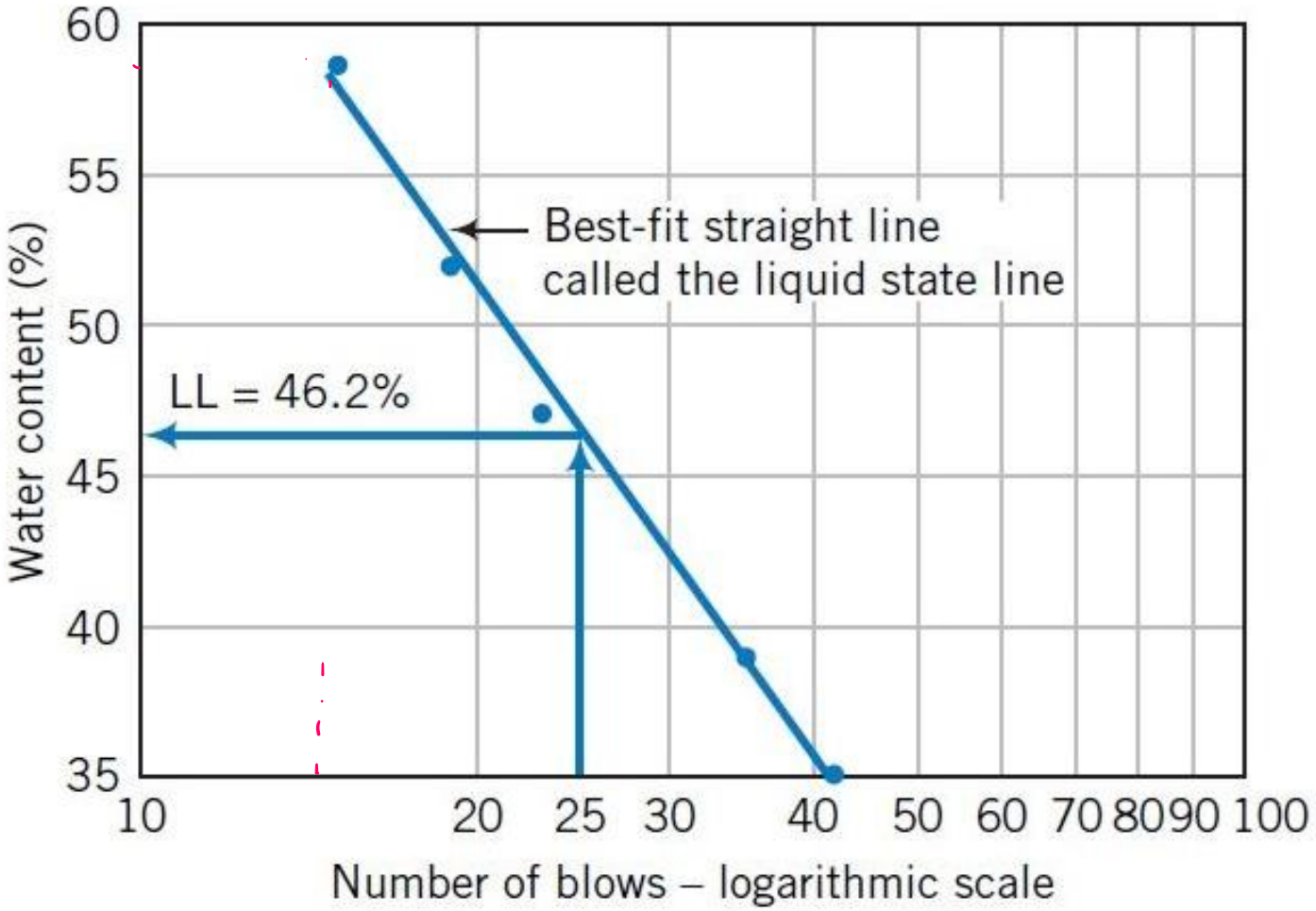
Grooving tool

L = 13 m
N = 25 gal p
LP

- Se prepara una muestra de material pasante el tamiz #40 (0.42 mm)
- Agregar agua al material hasta lograr una consistencia pastosa (plástica).
- Colocar un poco de material en la cuchara de dimensiones definidas, hacer un enrazado
- Cortar el material en la cuchara con un ranurador especial de modo que queden dos cuñas separadas
- Golpear la cuchara contra su base de acuerdo a las especificaciones dadas, hasta que las dos cuñas vuelvan a unirse a lo largo de 13 mm. Registrar la humedad para este evento
- Cambiar la humedad y repetir el ensayo nuevamente. El objetivo es entre 35 y 15 golpes.

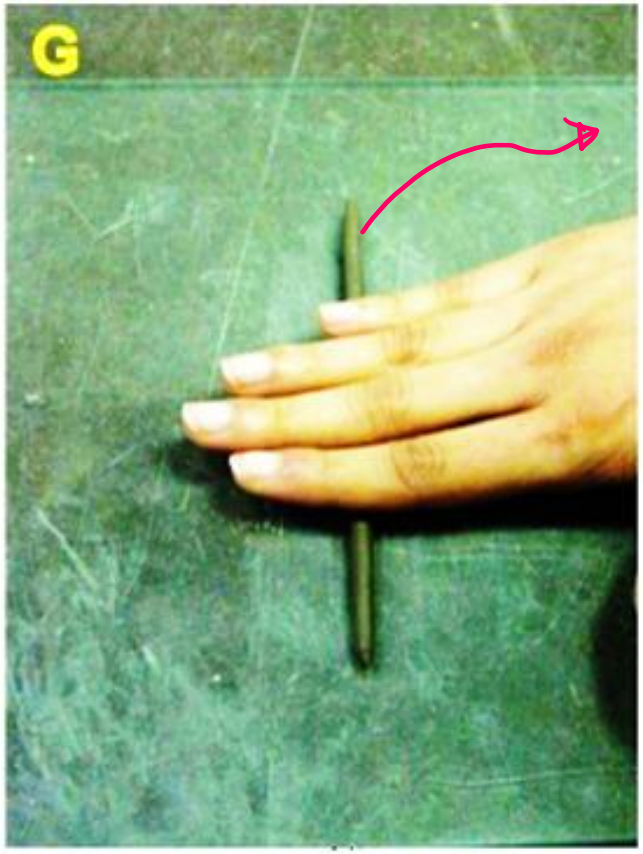
Curva de Fluidez





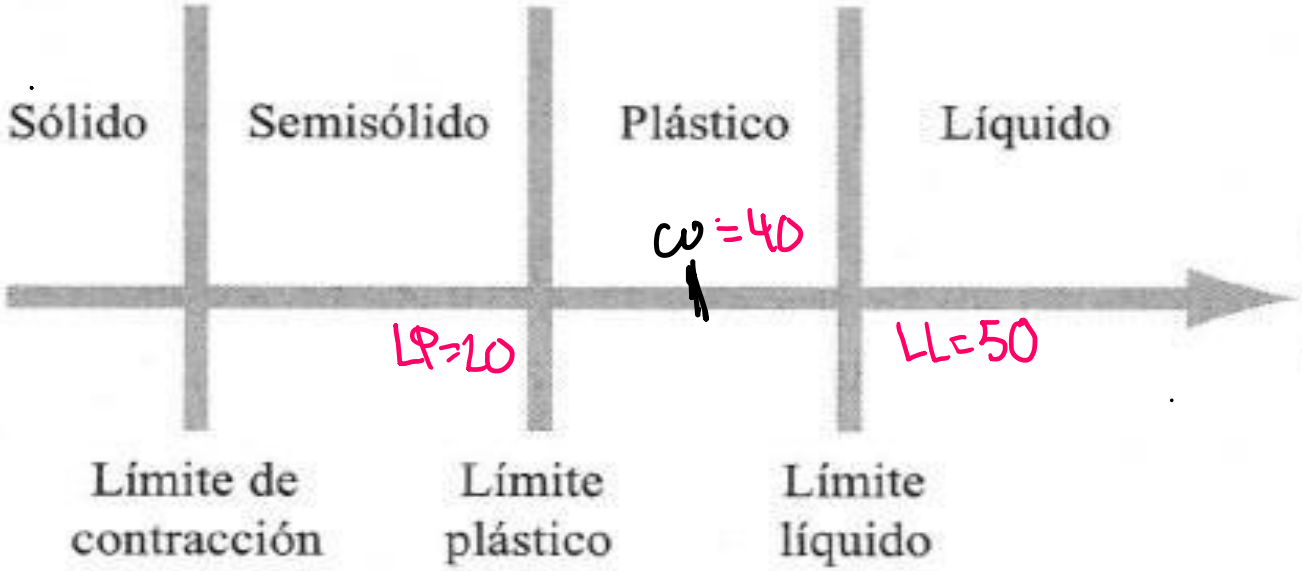
w a 25 golpes = Límite Líquido (LL)

- Elaboración de cilindros para determinar PI



- Tomar 10 g. de la muestra con humedad cercana al límite plástico. Mezclar la muestra con un poco de suelo seco para poder formar un elipsoide.

- Se presiona la masa sobre una superficie de vidrio , formando rollos que alcancen 3 mm en diámetro y tengan grietas o se desintegren.



% finos = 15%

w = 40

LP = 20

LL = 50

$$w = \frac{M_w}{M_s} = \frac{M_w}{M_d}$$

FIGURA 2.5 Límites de Atterberg. (Das)

Suelo X: LL: límite líquido LC: Límite de contracción (SL)
LP: límite plástico
La humedad de campo puede estar entre cualquiera de los límite

- Índice de Plasticidad **PI/IP**: diferencia entre límite líquido y plástico, rango de contenido de agua

$$PI = LL - PL = w_L - w_P = 50 - 20 = 30$$

- Índice de liquidez LI/IL: humedad relativa al limite líquido y plástico.

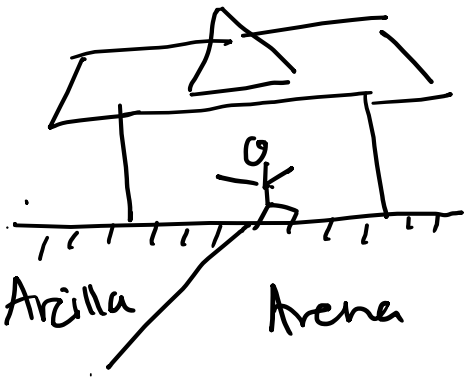
$$LI = \frac{w - PL}{PI} = \frac{w - w_P}{PI} = \frac{40 - 20}{30} = \frac{20}{30} = 0.66$$

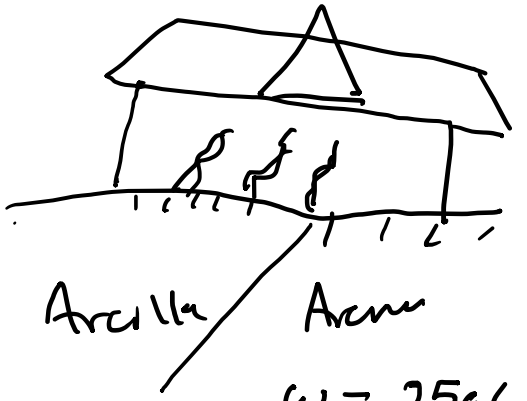
- Índice de actividad A: indica el potencial de cambio en volumen debido a ciertos minerales de arcilla

$$A = \frac{PI}{clay\%} = \frac{PI}{finos < 0.02\,mm} = \frac{30}{15} = 2$$

Mineral group	*Specific surface (m^2/g)*[1]	*Activity*[2]
Kaolinite	10–20	0.3–0.5
Illite	65–100	0.5–1.3
Montmorillonite	Up to 840	4–7

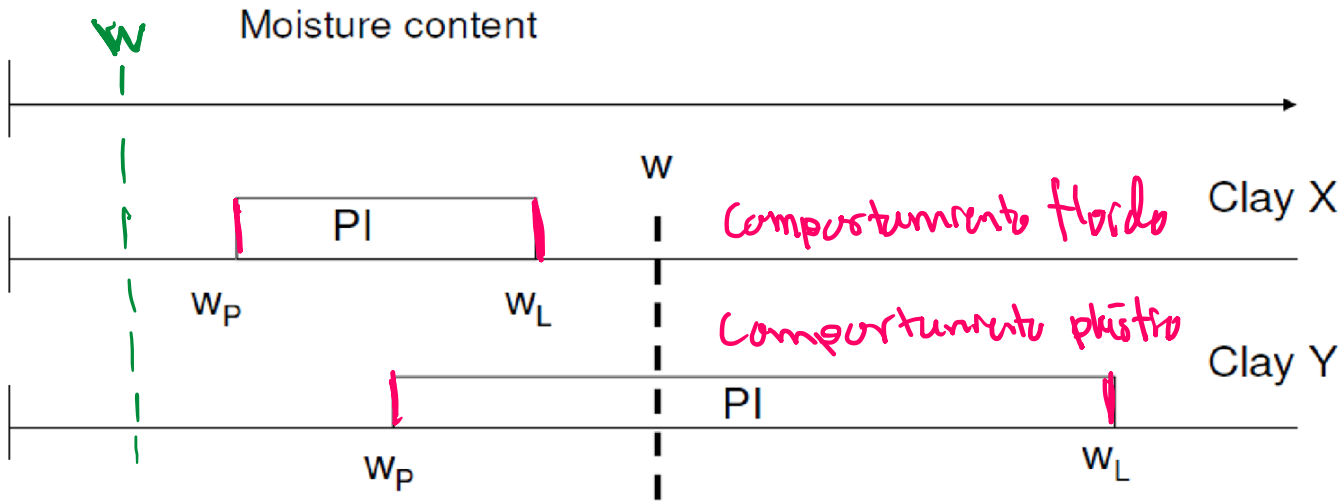
Description of Clay	***Activity***
Inactive	< 0.75
Normal	0.75 to 1.25
Active	> 1.25


Arcilla
Arena
ω = 5%

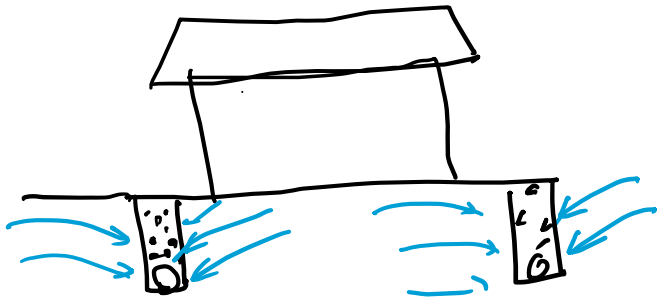

Arcilla
Arena
ω = 25%

Ejemplo

- Considere dos tipos de arcilla “X” and “Y” con el MISMO contenido de humedad.
- La humedad de“X” es superior a su w_L.
- La humedad de “Y” esta entre w_P y w_L.



$A = \frac{IP}{\%\ finos}$!



Cal para controlar la expansividad

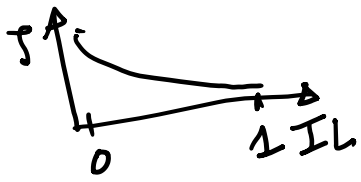
Tratamiento químico

- Ejemplo

Un suelo fino tiene un LL=300 y un PL=45. El contenido de humedad natural es del 80%, y el contenido de arcilla es 60%. 1) Determine el índice de plasticidad, 2) el estado del suelo en el campo, 3) ¿cuál es el mineral predominante?, 4) ¿que comportamiento podría tener este suelo?

1) $IP = LL - LP = 300 - 45 = 255$ $\quad w = 80\%$

2) $IL = \frac{w - LP}{IP} = \frac{80 - 45}{255} = 0.14$



3) $A = \frac{IP}{\%\text{finos}} = \frac{255}{60} = 4.25$ Se infiere que es montmorilonita

4) $A > 1.25$ Suelo expansivo

1.7 Clasificación del suelo

- Se necesita un lenguaje estándar para describir suelos en la naturaleza.
- La descripción debe incluir:
  - El material que compone el suelo
  - Las condiciones de campo
- **Propiedades principales**
  - Distribución de tamaños (Granulometría)
  - Plasticidad (Límites de Atterberg)
- Propiedades secundarias
  - Color
  - Forma
  - Textura, etc

Sistemas de clasificación

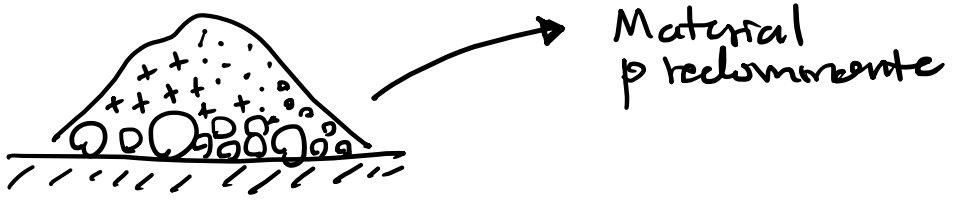
- Suelos colocados en grupos del mismo comportamiento en base a su **granulometría y plasticidad**
- En esencia el sistemas de clasificación, cada grupo de suelo esa denotado por términos principales y seguido por términos calificativos. Ejemplo, arena (principal) arcillosa (calificativo)
- En USA se utilizan la norma **ASTM D2487**, en **UK BS 1377-2**.
- Se debe tener en claro que los sistemas de clasificación **no son absolutos** y dependen del propósito para el que se crearon.

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

- Popular en algunas partes del mundo
- De acuerdo con la granulometría obtenida y los limites de Atterberg, determinamos la ubicación del suelo dentro del sistema SUCS.
- Para la clasificación SUCS tenemos:

  Símbolo del grupo: letras tales como G, S, etc

  Nombre del grupo



Símbolo → S

Nombre → Arena

G	Gravas, pasan por el tamiz 3" y son retenidas por el tamiz No. 4
S	Arenas, pasan por el tamiz No. 4 y son retenidas por el tamiz No. 200
M	Limo, pasan por el tamiz No. 200, poca o nula plasticidad
C	Arcillas, pasan por el tamiz No. 200, presentan plasticidad.
W	Bien graduadas, partículas que presentan una curva granulométrica suave.
P	Uniformes, partículas que presentan una granulometría con solo un rango de tamaños.
L	Baja plasticidad, materiales con poca o nula plasticidad.
H	Alta plasticidad, materiales con alta plasticidad.
O	Orgánicos, suelos que presentan partículas orgánicas que afectan su comportamiento.
Pt	Suelos altamente orgánicos.

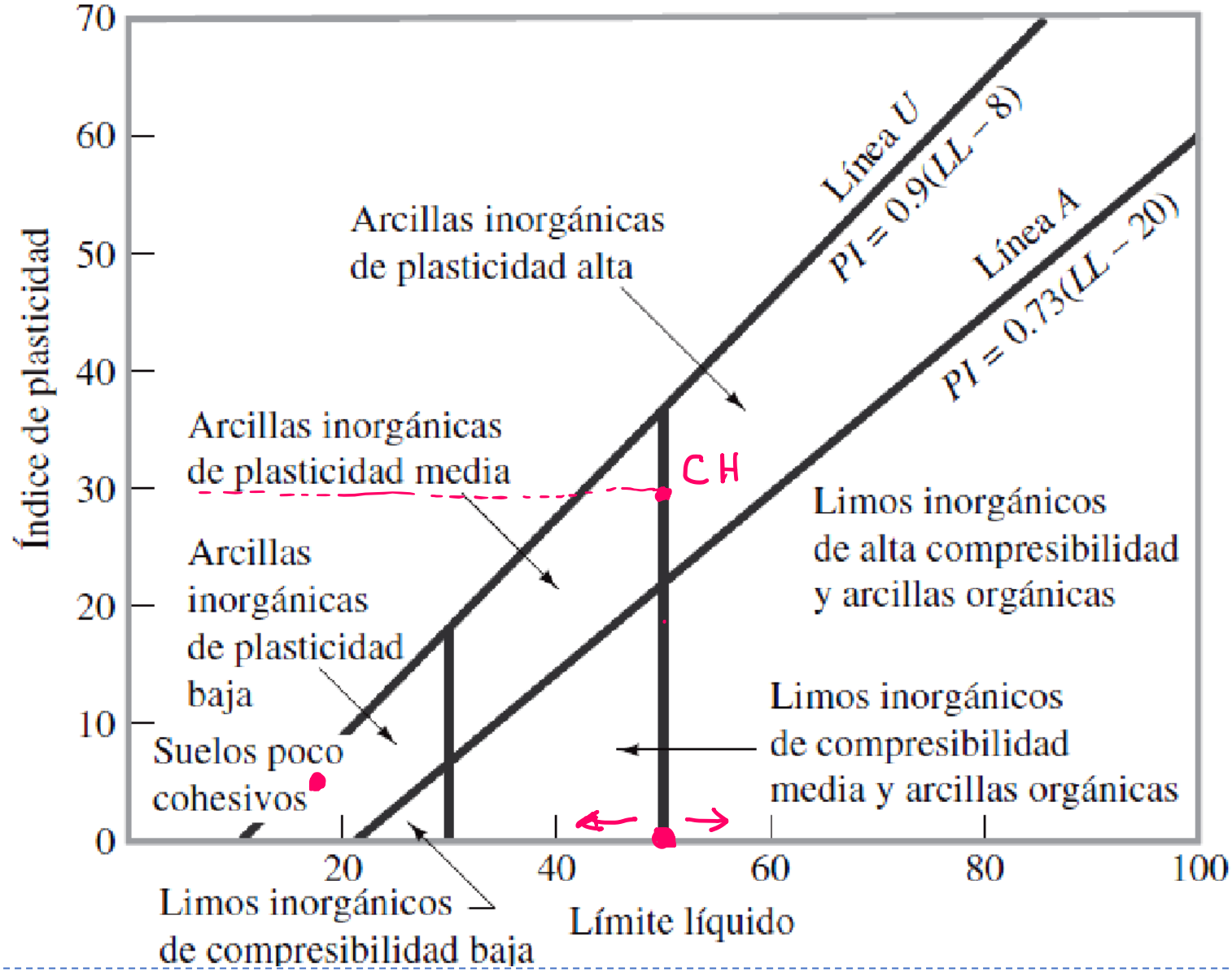
- La fracción de suelo dominante es colocada PRIMERO en el símbolo de grupo; por ejemplo, si la fracción dominante es arena, colocaríamos “S” en primer lugar.

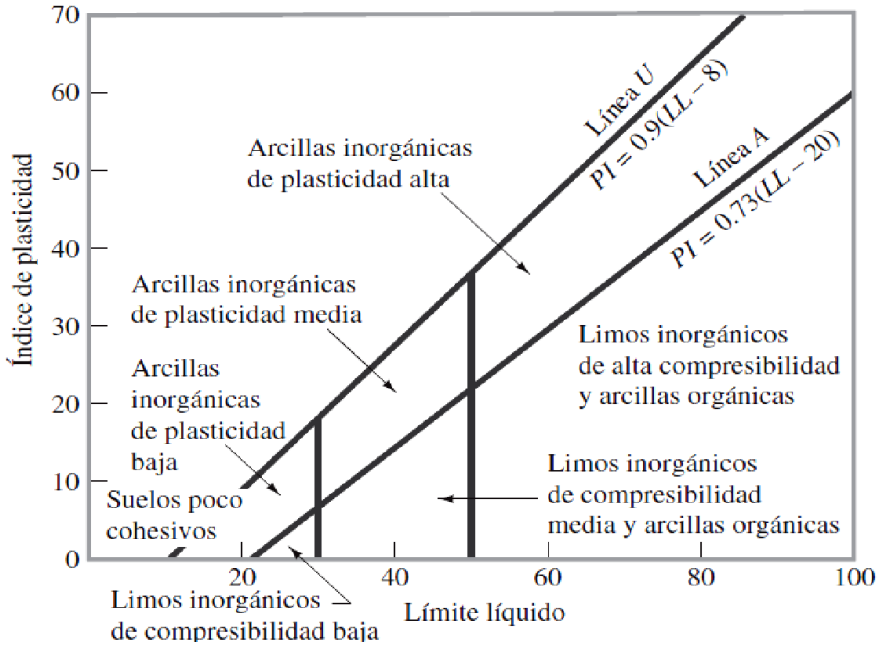
Cartas de plasticidad

- En cartas de plasticidad los ejes son representados por LL y PI para clasificar el suelo fino.
- Códigos (letras) se asignan de acuerdo a la zona determinada.
- La línea diagonal de la carta es conocida como la línea A (es un límite aprox entre limos y arcillas)

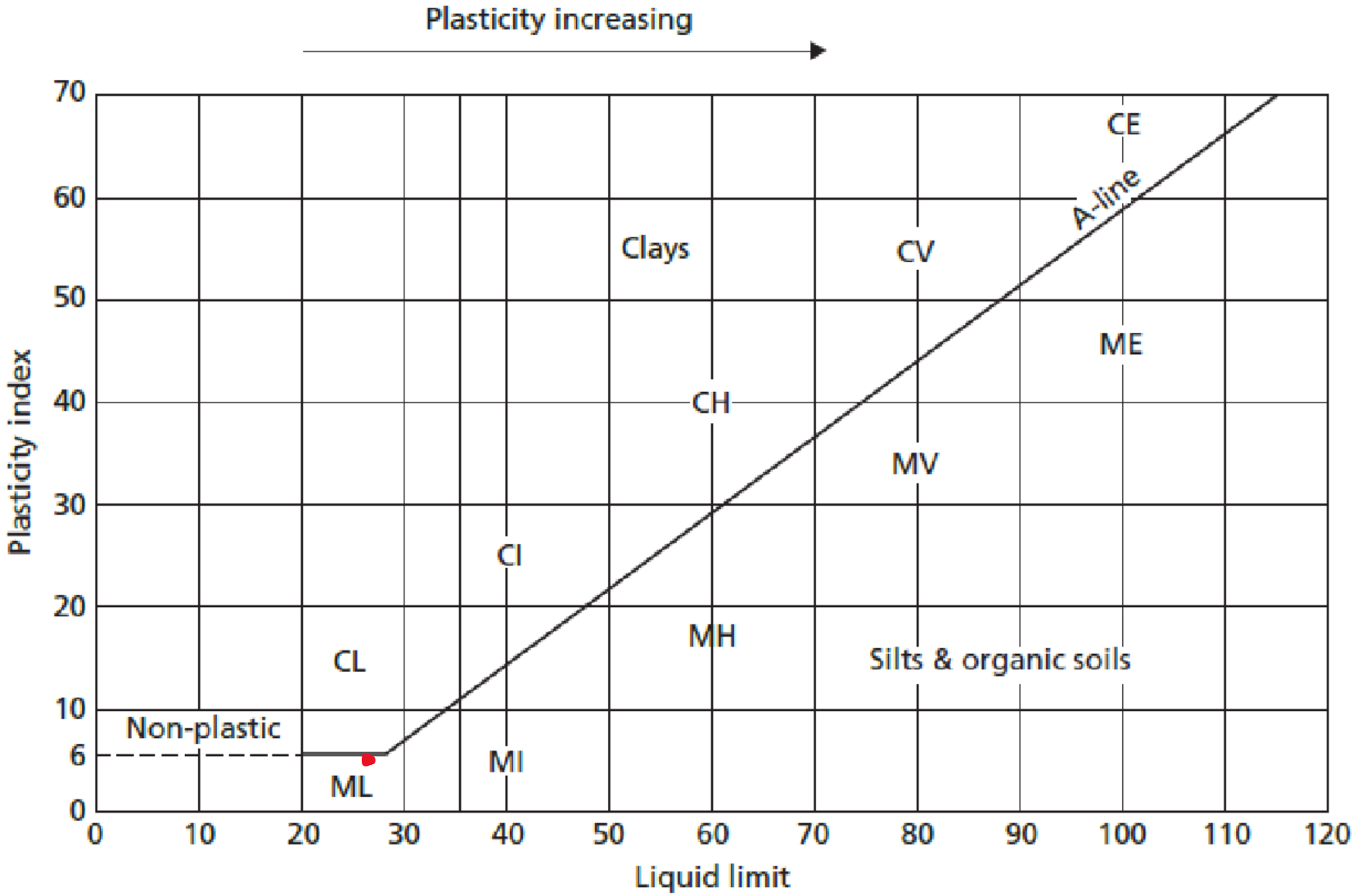
Ejemplo: LL = 50 LP = 20 IP = 30

Carta de plasticidad ASTM D2487




Índice de plasticidad
70
60
50
40
30
20
10
0
20
40
60
80
100
Límite líquido
Línea U
PI = 0.9(LL – 8)
Línea A
PI = 0.73(LL – 20)
Arcillas inorgánicas
de plasticidad alta
Arcillas inorgánicas
de plasticidad media
Arcillas
inorgánicas
de plasticidad
baja
Suelos poco
cohesivos
Limos inorgánicos
de alta compresibilidad
y arcillas orgánicas
Limos inorgánicos
de compresibilidad
media y arcillas orgánicas
Limos inorgánicos
de compresibilidad baja

Carta de plasticidad BS 1377-2



Criterio para la asignación de símbolos de grupo				Símbolos de grupo
Suelos de grano grueso Más de 50% retenido en el tamiz núm. 200	**Gravas** Más de 50% de fracción gruesa retenida en el tamiz núm. 4	Gravas limpias Menos de 5% finos[a]	$C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3$[c]	GW
			$C_u < 4$ y/o $1 > C_c > 3$[c]	GP
		Gravas con finos Más de 12% finos[a,d]	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2)	GM
			$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	GC
	Arenas 50% o más de la fracción gruesa pasa tamiz núm. 4	Arenas limpias Menos de 5% finos[b]	$C_u \geq 6$ y $1 \leq C_c \leq 3$[c]	SW
			$C_u < 6$ y/o $1 > C_c > 3$[c]	SP
		Arenas con finos Más de 12% finos[b,d]	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2)	SM
			$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	SC
Suelos de grano fino 50% o más pasa a través del tamiz núm. 200	**Limos y arcillas** Límite líquido menor que 50	Inorgánico	$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2)[e]	CL
			$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2)[e]	ML
		Orgánico	$\frac{\text{Límite líquido: secado}}{\text{Límite líquido: no secado}} < 0.75$; vea la figura 4.2; zona OL	OL
	Limos y arcillas Límite líquido 50 o más	Inorgánico	Gráficos *PI* en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	CH
			Gráficos *PI* por debajo de "A" línea (figura 4.2)	MH
		Orgánico	$\frac{\text{Límite líquido: secado}}{\text{Límite líquido: no secado}} < 0.75$; vea la figura 4.2; zona OH	OH
Suelos altamente orgánicos	Materia orgánica principalmente, color oscuro y orgánico			Pt

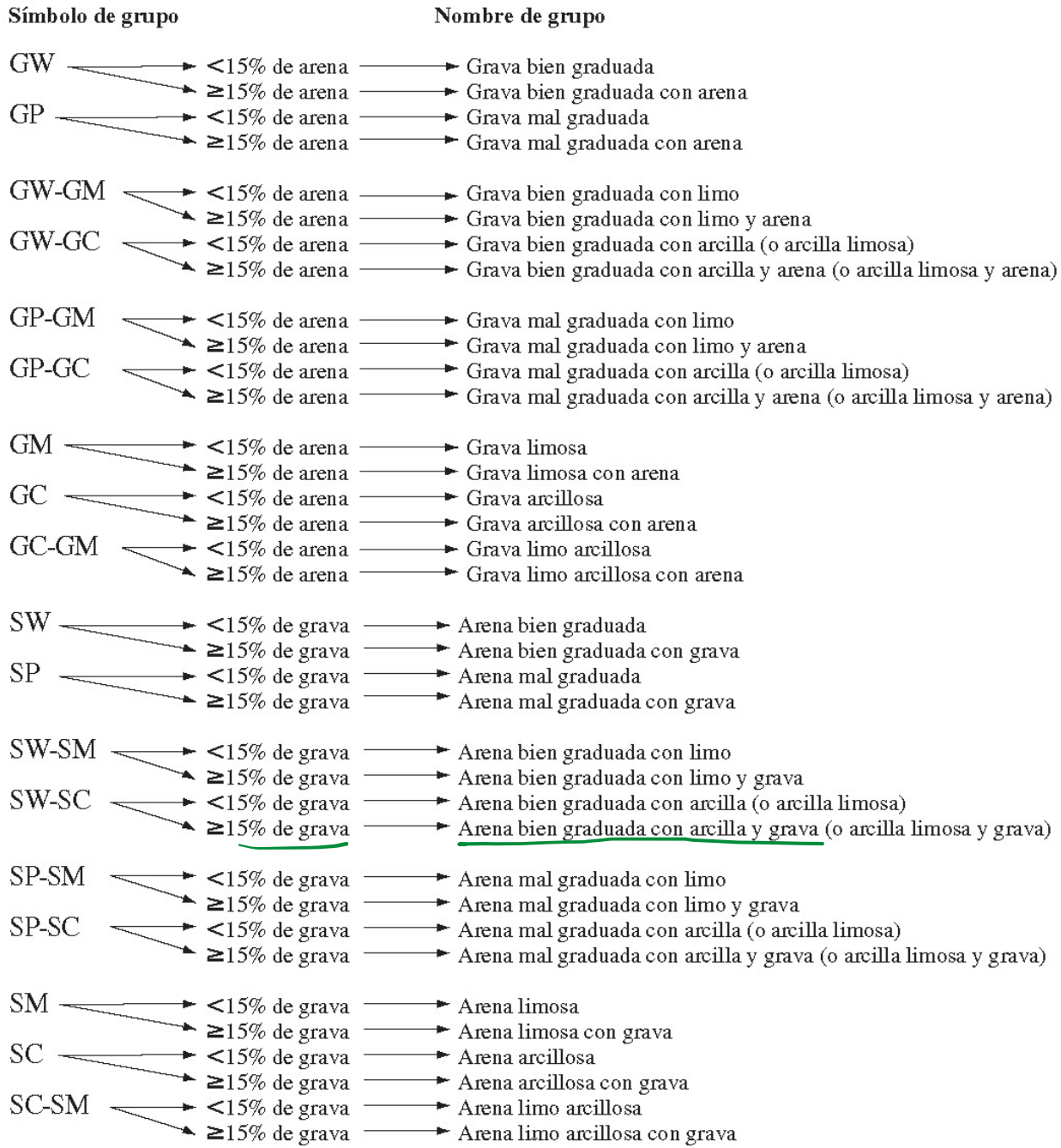
[a] Gravas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: GW-GM, GW-GC, GP-GM, GP-GC.

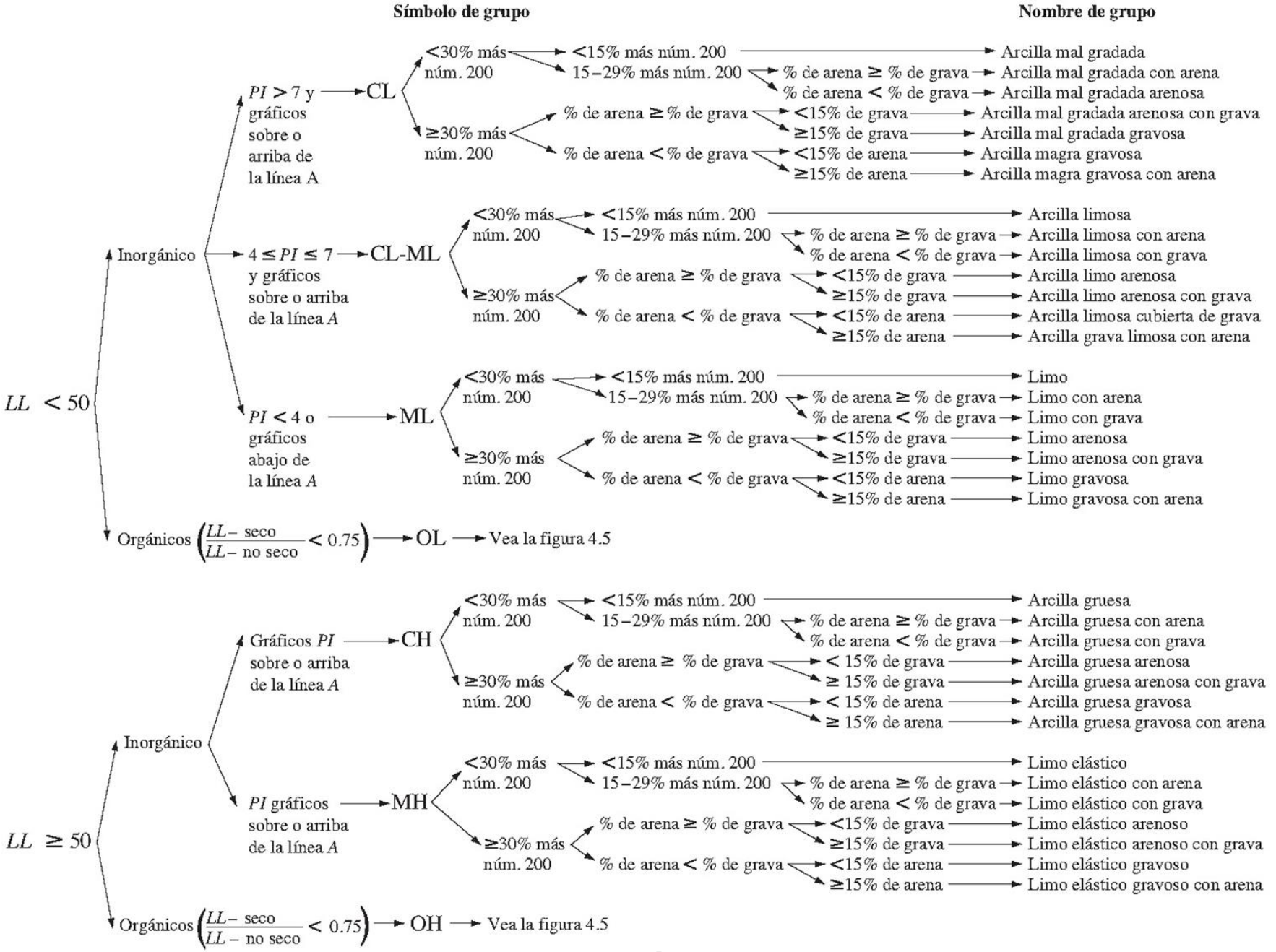
[b] Arenas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: SW-SM, SW-SC, SP-SM, SP-SC.

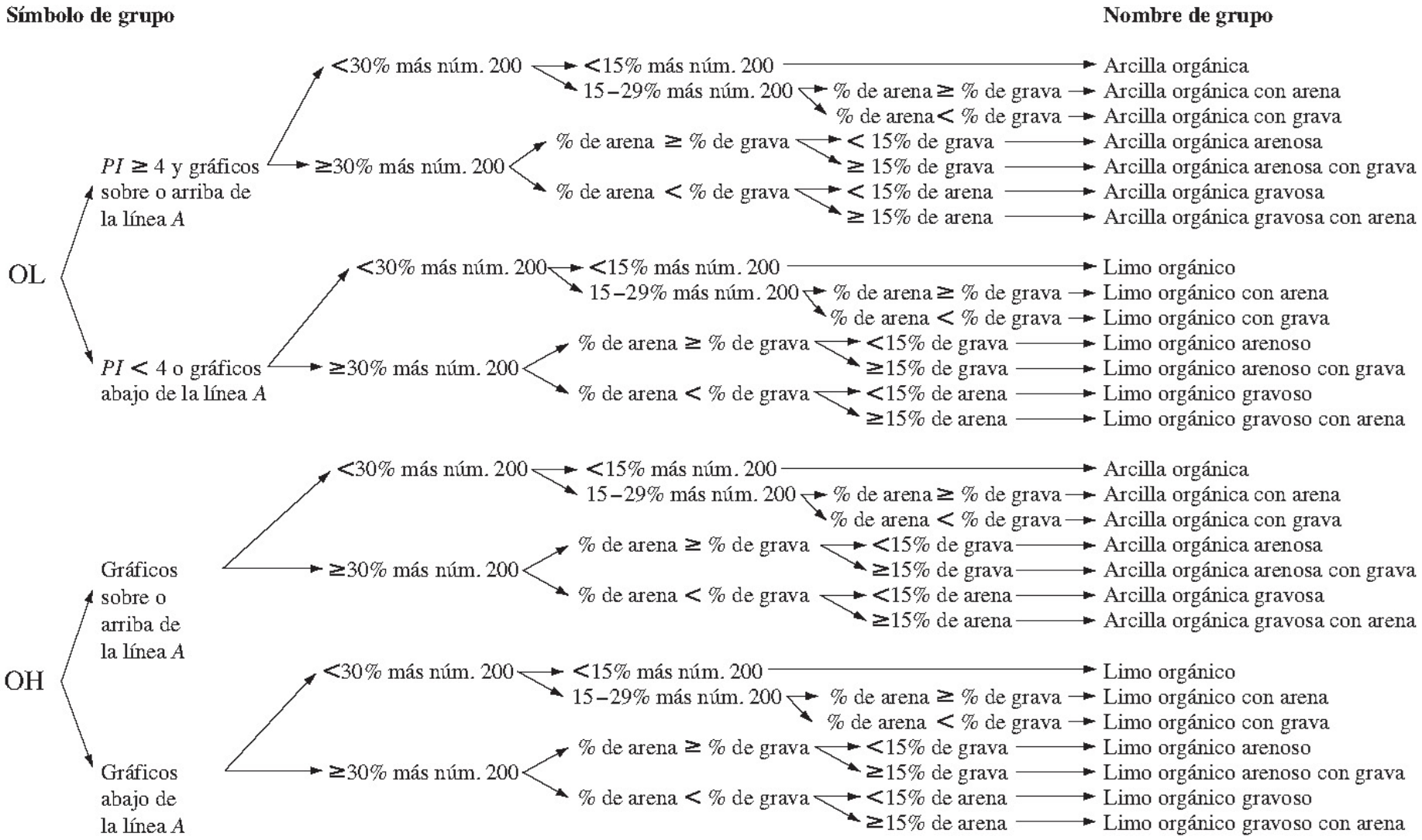
[c] $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}; \quad C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$

[d] Si $4 \leq PI \leq 7$ y gráficos en la zona rayada en la figura 4.2, se usa doble símbolo GC-GM o SC-SM.

[e] Si $4 \leq PI \leq 7$ y gráficos en la zona rayada en la figura 4.2, se usa doble símbolo CL-ML.


Símbolo de grupo
Nombre de grupo
GW
GP
GW-GM
GW-GC
GP-GM
GP-GC
GM
GC
GC-GM
SW
SP
SW-SM
SW-SC
SP-SM
SP-SC
SM
SC
SC-SM
<15% de arena
≥15% de arena
<15% de grava
≥15% de grava
Grava bien graduada
Grava bien graduada con arena
Grava mal graduada
Grava mal graduada con arena
Grava bien graduada con limo
Grava bien graduada con limo y arena
Grava bien graduada con arcilla (o arcilla limosa)
Grava bien graduada con arcilla y arena (o arcilla limosa y arena)
Grava mal graduada con limo
Grava mal graduada con limo y arena
Grava mal graduada con arcilla (o arcilla limosa)
Grava mal graduada con arcilla y arena (o arcilla limosa y arena)
Grava limosa
Grava limosa con arena
Grava arcillosa
Grava arcillosa con arena
Grava limo arcillosa
Grava limo arcillosa con arena
Arena bien graduada
Arena bien graduada con grava
Arena mal graduada
Arena mal graduada con grava
Arena bien graduada con limo
Arena bien graduada con limo y grava
Arena bien graduada con arcilla (o arcilla limosa)
Arena bien graduada con arcilla y grava (o arcilla limosa y grava)
Arena mal graduada con limo
Arena mal graduada con limo y grava
Arena mal graduada con arcilla (o arcilla limosa)
Arena mal graduada con arcilla y grava (o arcilla limosa y grava)
Arena limosa
Arena limosa con grava
Arena arcillosa
Arena arcillosa con grava
Arena limo arcillosa
Arena limo arcillosa con grava


Símbolo de grupo
Nombre de grupo
LL < 50
Inorgánico
PI > 7 y gráficos sobre o arriba de la línea A
CL
<30% más núm. 200
<15% más núm. 200
Arcilla mal gradada
15–29% más núm. 200
% de arena ≥ % de grava
Arcilla mal gradada con arena
% de arena < % de grava
Arcilla mal gradada arenosa
≥30% más núm. 200
% de arena ≥ % de grava
<15% de grava
Arcilla mal gradada arenosa con grava
≥15% de grava
Arcilla mal gradada gravosa
% de arena < % de grava
<15% de arena
Arcilla magra gravosa
≥15% de arena
Arcilla magra gravosa con arena
4 ≤ PI ≤ 7 y gráficos sobre o arriba de la línea A
CL-ML
<30% más núm. 200
<15% más núm. 200
Arcilla limosa
15–29% más núm. 200
% de arena ≥ % de grava
Arcilla limosa con arena
% de arena < % de grava
Arcilla limosa con grava
≥30% más núm. 200
% de arena ≥ % de grava
<15% de grava
Arcilla limo arenosa
≥15% de grava
Arcilla limo arenosa con grava
% de arena < % de grava
<15% de arena
Arcilla limosa cubierta de grava
≥15% de arena
Arcilla grava limosa con arena
PI < 4 o gráficos abajo de la línea A
ML
<30% más núm. 200
<15% más núm. 200
Limo
15–29% más núm. 200
% de arena ≥ % de grava
Limo con arena
% de arena < % de grava
Limo con grava
≥30% más núm. 200
% de arena ≥ % de grava
<15% de grava
Limo arenosa
≥15% de grava
Limo arenosa con grava
% de arena < % de grava
<15% de arena
Limo gravosa
≥15% de arena
Limo gravosa con arena
Orgánicos (LL– seco / LL– no seco < 0.75)
OL
Vea la figura 4.5
LL ≥ 50
Inorgánico
Gráficos PI sobre o arriba de la línea A
CH
<30% más núm. 200
<15% más núm. 200
Arcilla gruesa
15–29% más núm. 200
% de arena ≥ % de grava
Arcilla gruesa con arena
% de arena < % de grava
Arcilla gruesa con grava
≥30% más núm. 200
% de arena ≥ % de grava
< 15% de grava
Arcilla gruesa arenosa
≥ 15% de grava
Arcilla gruesa arenosa con grava
% de arena < % de grava
< 15% de arena
Arcilla gruesa gravosa
≥ 15% de arena
Arcilla gruesa gravosa con arena
PI gráficos sobre o arriba de la línea A
MH
<30% más núm. 200
<15% más núm. 200
Limo elástico
15–29% más núm. 200
% de arena ≥ % de grava
Limo elástico con arena
% de arena < % de grava
Limo elástico con grava
≥30% más núm. 200
% de arena ≥ % de grava
<15% de grava
Limo elástico arenoso
≥15% de grava
Limo elástico arenoso con grava
% de arena < % de grava
<15% de arena
Limo elástico gravoso
≥15% de arena
Limo elástico gravoso con arena
Orgánicos (LL– seco / LL– no seco < 0.75)
OH
Vea la figura 4.5


Símbolo de grupo
Nombre de grupo
OL
OH
PI ≥ 4 y gráficos sobre o arriba de la línea A
PI < 4 o gráficos abajo de la línea A
Gráficos sobre o arriba de la línea A
Gráficos abajo de la línea A
<30% más núm. 200
≥30% más núm. 200
<15% más núm. 200
15–29% más núm. 200
% de arena ≥ % de grava
% de arena < % de grava
<15% de grava
≥15% de grava
<15% de arena
≥15% de arena
Arcilla orgánica
Arcilla orgánica con arena
Arcilla orgánica con grava
Arcilla orgánica arenosa
Arcilla orgánica arenosa con grava
Arcilla orgánica gravosa
Arcilla orgánica gravosa con arena
Limo orgánico
Limo orgánico con arena
Limo orgánico con grava
Limo orgánico arenoso
Limo orgánico arenoso con grava
Limo orgánico gravoso
Limo orgánico gravoso con arena

Ejemplo 1 de clasificación SUCS

Para un suelo dado, se conocen los siguientes datos:

- Porcentaje que pasa tamiz núm. 4 = 70
- Porcentaje que pasa tamiz núm. 200 = 30
- Límite líquido =33
- Límite plástico =12

Clasifique el suelo utilizando el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. Dé el símbolo y el nombre del grupo.

Dado que el porcentaje de suelo pasante el tamiz #200 es menor al 50%

El porcentaje de la fracción gruesa es 100 – 30 = 70%

Criterio para la asignación de símbolos de grupo				Símbolos de grupo
Suelos de grano grueso Más de 50% retenido en el tamiz núm. 200	**Gravas** Más de 50% de fracción gruesa retenida en el tamiz núm. 4	Gravas limpias Menos de 5% finos[a]	$C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3$[c]	GW
			$C_u < 4$ y/o $1 > C_c > 3$[c]	GP
		Gravas con finos Más de 12% finos[a,d]	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2)	GM
			$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	GC
	Arenas 50% o más de la fracción gruesa pasa tamiz núm. 4	Arenas limpias Menos de 5% finos[b]	$C_u \geq 6$ y $1 \leq C_c \leq 3$[c]	SW
			$C_u < 6$ y/o $1 > C_c > 3$[c]	SP
		Arenas con finos Más de 12% finos[b,d]	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2)	SM
			$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	SC
Suelos de grano fino 50% o más pasa a través del tamiz núm. 200	**Limos y arcillas** Límite líquido menor que 50	Inorgánico	$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2)[e]	CL
			$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2)[e]	ML
		Orgánico	$\frac{\text{Límite líquido: secado}}{\text{Límite líquido: no secado}} < 0.75$; vea la figura 4.2; zona OL	OL
	Limos y arcillas Límite líquido 50 o más	Inorgánico	Gráficos *PI* en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	CH
			Gráficos *PI* por debajo de "A" línea (figura 4.2)	MH
		Orgánico	$\frac{\text{Límite líquido: secado}}{\text{Límite líquido: no secado}} < 0.75$; vea la figura 4.2; zona OH	OH
Suelos altamente orgánicos	Materia orgánica principalmente, color oscuro y orgánico			Pt

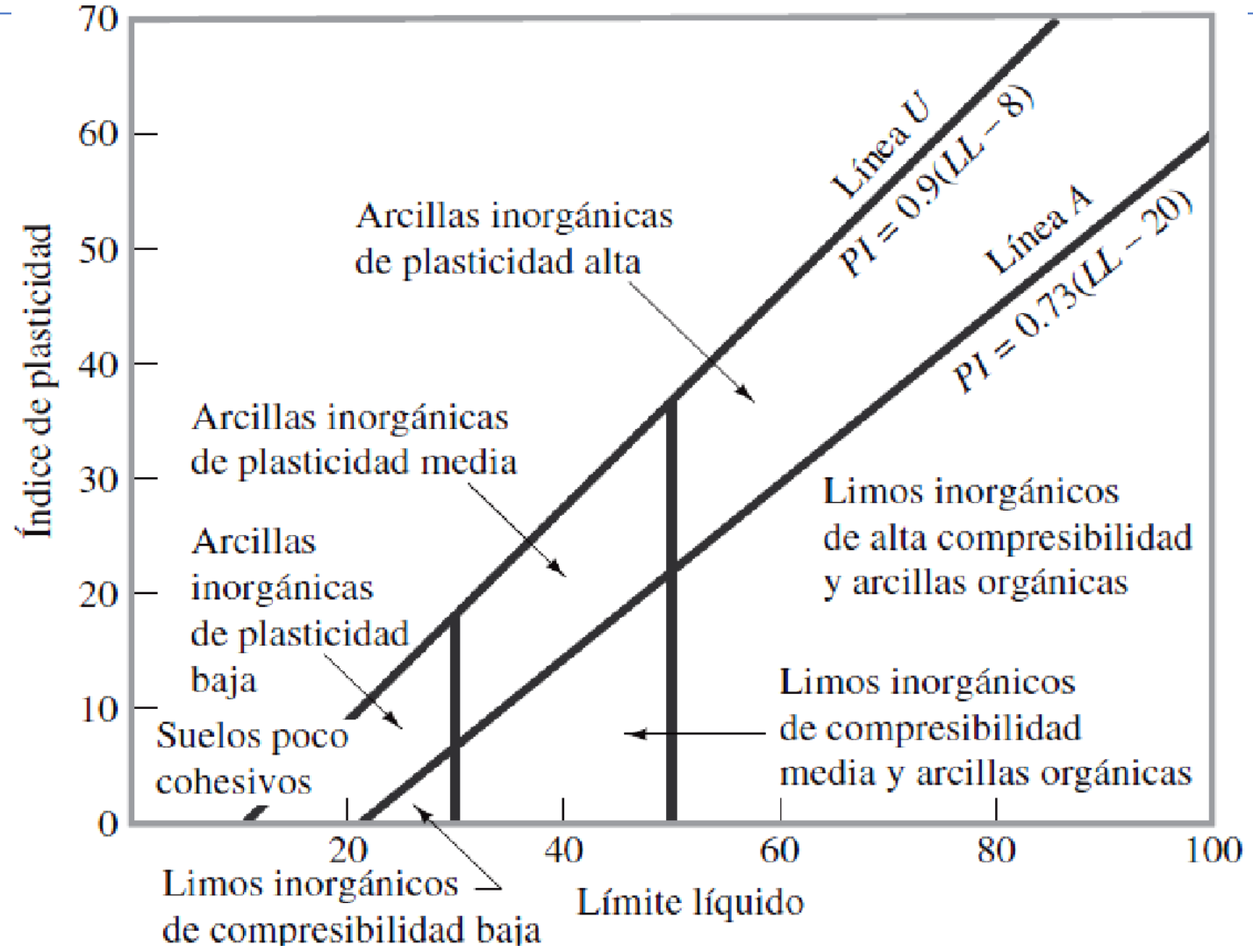
[a] Gravas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: GW-GM, GW-GC, GP-GM, GP-GC.

[b] Arenas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: SW-SM, SW-SC, SP-SM, SP-SC.

[c] $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}; \quad C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$

[d] Si $4 \leq PI \leq 7$ y gráficos en la zona rayada en la figura 4.2, se usa doble símbolo GC-GM o SC-SM.

[e] Si $4 \leq PI \leq 7$ y gráficos en la zona rayada en la figura 4.2, se usa doble símbolo CL-ML.


Índice de plasticidad
70
60
50
40
30
20
10
0
20
40
60
80
100
Límite líquido
Línea U
PI = 0.9(LL − 8)
Línea A
PI = 0.73(LL − 20)
Arcillas inorgánicas
de plasticidad alta
Arcillas inorgánicas
de plasticidad media
Arcillas
inorgánicas
de plasticidad
baja
Limos inorgánicos
de alta compresibilidad
y arcillas orgánicas
Limos inorgánicos
de compresibilidad
media y arcillas orgánicas
Suelos poco
cohesivos
Limos inorgánicos
de compresibilidad baja

- La fracción de grava sería 100 – 70 = 30%. Entonces más del 50% de la fracción gruesa esta pasando el tamiz #4, y se trata de un suelo arenoso.
- Dado que más del 12% esta pasando el tamiz #200, se trataría de un SM ó SC.
- Para este suelo PI=33-12=21. Este valor es mayor que 7. En la carta de plasticidad el punto para LL=33 y PI =21 cae arriba de la línea A. Entonces, el símbolo de grupo es SC.
- Debido a que el porcentaje de gravaes mayor al 15%, el nombre de grupo es “Arena arcillosa con grava”

Ejemplo 2 de clasificación SUCS

Los resultados del análisis de tamaño de partícula de un suelo son los siguientes:

- Porcentaje que pasa por el tamiz núm. 10 =100
- Porcentaje que pasa por el tamiz núm. 40 = 80
- Porcentaje que pasa por el tamiz núm. 200 = 58

El límite líquido y el índice de plasticidad de la fracción del suelo menor al Núm. 40 son 30 y 10, respectivamente

Dado que el porcentaje de suelo pasante el tamiz #200 es mayor al 50%, se trata de un suelo de grano fino

- En la carta de plasticidad se observa que la coordenada LL=30 y PI=10 se ubica por encima de la línea A, y el simbolo de grupo puede ser CL.
- Se observa que el porcentaje de grava es 0.. El porcentaje de arena es 100 – 58 = 42%; entonces % arena es mayor al % de grava.
- El porcentaje de arena es menos de 15%. El porcentaje que pasa el tamiz #200 es mayor a 30. Por lo tanto el nombre de grupo es “ arcilla mal gradada arenosa”

El Sistema de clasificación AASHTO

- Comúnmente utilizado para vías (carreteras estatales en USA)
- Proviene de la American Association of State Highway Transportation Officials (AASHTO)
- Normas ASTM D-3282 AASHTO M145
- Se clasifica al suelo en 7 grupos mayores **A-1 al A-7**

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm. 200)						
	A-1			A-2			
Grupo de clasificación	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)							
Núm. 10	50 máx.						
Núm. 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.				
Núm. 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.
Características de la fracción de paso núm. 40							
Límite líquido				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina		Limo o grava arcillosa y arena		
Clasificación general de la subrasante	Excelente a bueno						

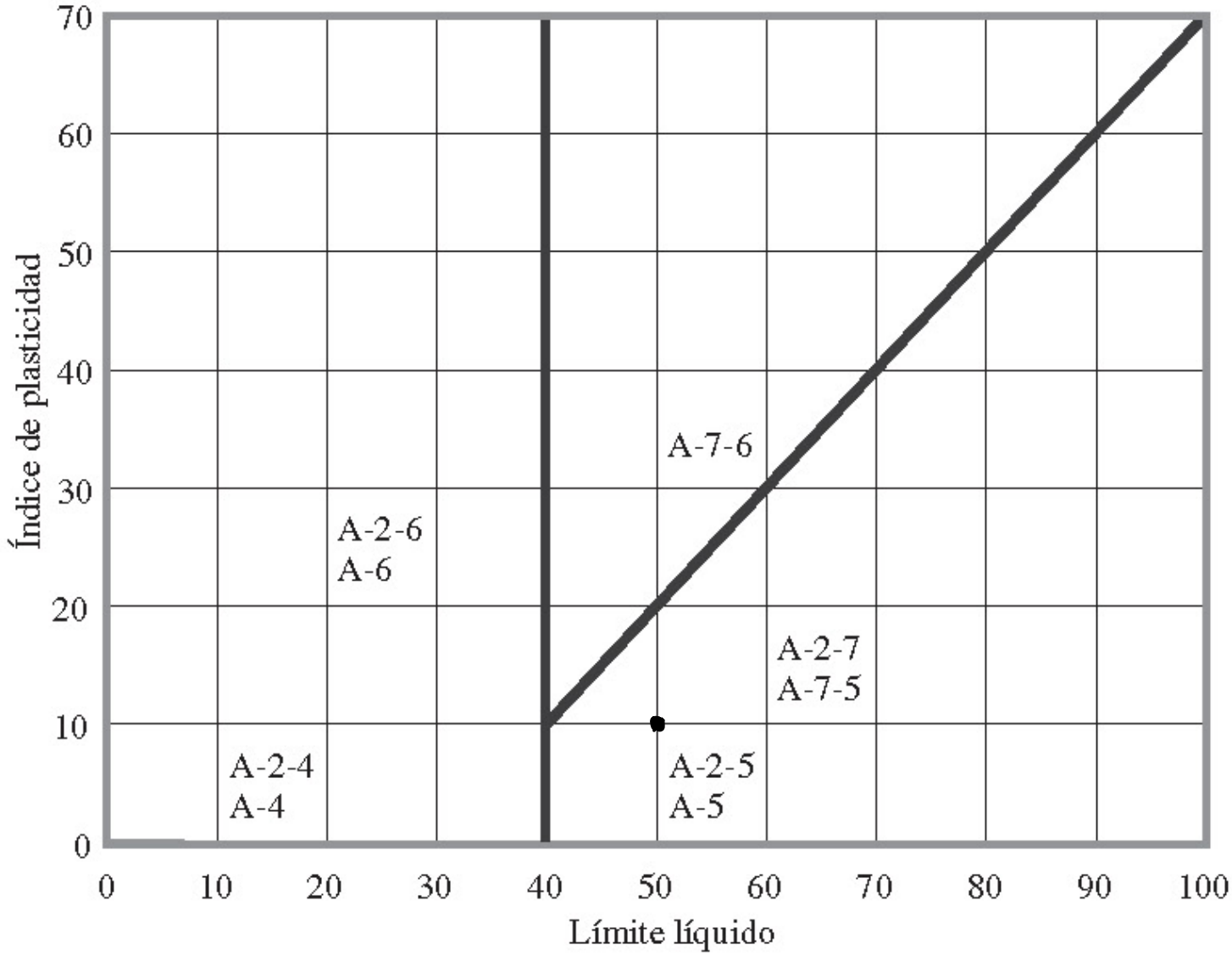
Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm. 200)			
Grupo de clasificación	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5* A-7-6†
Análisis de tamiz (porcentaje de paso) Núm. 10 Núm. 40 Núm. 200	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características de la fracción de paso núm. 40 Límite líquido Índice de plasticidad	40 máx. 10 máx.	41 mín. 10 máx.	40 máx. 11 mín.	41 mín. 11 mín.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes	Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Clasificación general de la subrasante	Regular a malo			

*Para A-7-5, $PI \leq LL - 30$
†Para A-7-6, $PI > LL - 30$

Criterios

Tamaño de grano

- Grava: fracción que pasa el tamiz de 75 mm (3’’) y es retenida en el tamiz **núm. 10** (2 mm).
- Arena: fracción que pasa el **tamiz núm. 10 (2 mm)** y es retenida en el tamiz núm. 200 (0.075 mm).
- Limo y arcilla: fracción que pasa el tamiz núm. 200
- Plasticidad: el término **limoso** se aplica cuando las fracciones finas del suelo tienen un índice de plasticidad de 10 o menos. El término **arcilloso** se aplica cuando las fracciones finas tienen un índice de plasticidad de **11 o más.**
- Si se encuentran cantos y guijarros (tamaño mayor a 75 mm), **se excluyen de la porción de la muestra de suelo** en el que se hizo la clasificación. Sin embargo, se registra el porcentaje de este tipo de material.



Rango del límite líquido y del índice de plasticidad para suelos en los grupos A-2, A-4, A-5, A-6 y A-7

Índice de grupo IG

$$IG = (F - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F - 15)(PI - 10)$$

IG : Indice de grupo

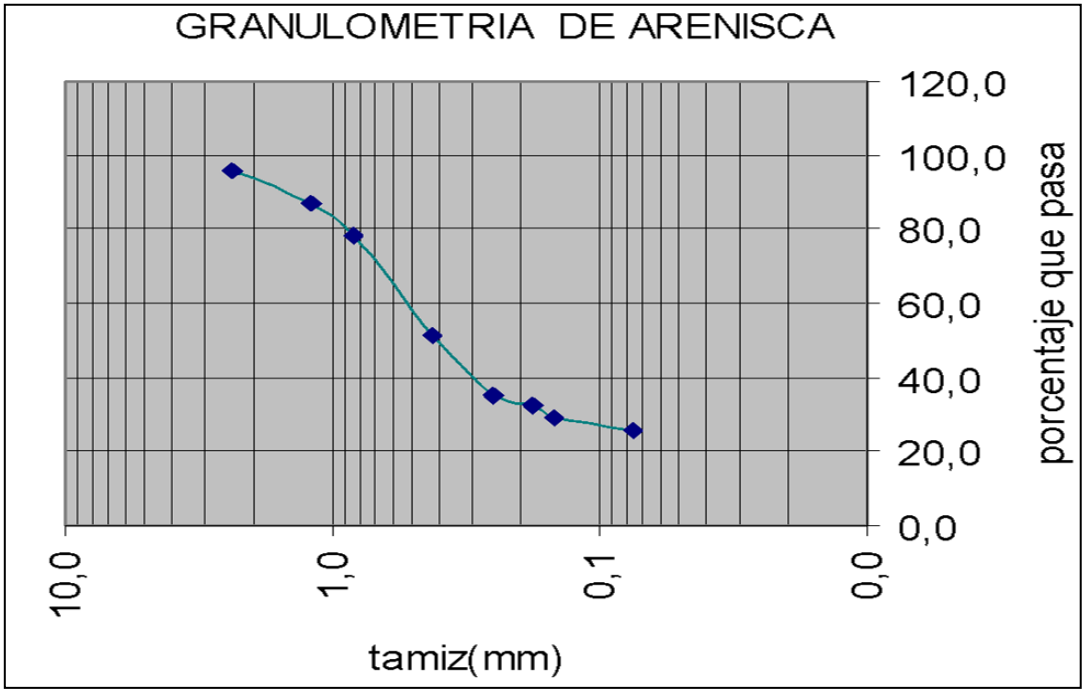
F : Porcentaje del suelo que pasa por el tamiz No. 200, expresado como número

LL : Límite liquido IP : Indice de plasticidad

El primer término de la ecuación es el índice de grupo parcial por LL. El segundo término es el índice de grupo parcial por PI

Reglas para la determinación de IG:

1. En caso de obtenerse un valor negativo para IG, se toma como 0.
2. Índices obtenidos por la ecuación se redondean al número entero más próximo
3. No existe límite superior para el índice de grupo.
4. IG de los suelos que pertenecen a los grupos A-1-a, A- 1-b, A-2-4, A-2-5 y A-3 es siempre 0.
5. Al calcular el IG para suelos que pertenecen a los grupos A-2-6 y A-2-7, utilice el índice de grupo parcial para PI, o $IG = 0.01(F-15)(PI-10)$



$$IG = (F - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F - 15)(PI - 10)$$

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm. 200)						
	A-1			A-2			
Grupo de clasificación	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)							
Núm. 10	50 máx.						
Núm. 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.				
Núm. 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.
Características de la fracción de paso núm. 40							
Límite líquido				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina		Limo o grava arcillosa y arena		
Clasificación general de la subrasante	Excelente a bueno						

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm. 200)			
Grupo de clasificación	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5* A-7-6†
Análisis de tamiz (porcentaje de paso) Núm. 10 Núm. 40 Núm. 200	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características de la fracción de paso núm. 40 Límite líquido Índice de plasticidad	40 máx. 10 máx.	41 mín. 10 máx.	40 máx. 11 mín.	41 mín. 11 mín.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes	Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Clasificación general de la subrasante	Regular a malo			

*Para A-7-5, $PI \leq LL - 30$
†Para A-7-6, $PI > LL - 30$

Literature

- Barnes, G. E. (2000). “Soil Mechanics: Principles and Practice,” 2nd Ed., Macmillan Press Ltd., Basingstoke, Hampshire.
- Das, B. M. (2013). “Fundamentos de ingeniería geotécnica,” 4ta Ed., CENGAGE Learning, USA
- Lambe, T. W. & Whitman, R.V. (1979). “Soil Mechanics: SI version.” John Wiley & Sons
- Knappett, J. & Craig, R.F. (2012) “Craig’s Soil Mechanics”, Taylor and Francis Group