

Historia de la Geotecnia

- A partir del s. XVIII los problemas relacionados con las cimentaciones y otros aspectos geotécnicos son estudiados de una forma más metódica.

- Entre principios del S. XVIII y mediados del s. XX, la historia de la Ingeniería Geotécnica suele dividirse en cuatro épocas:
 - Periodo pre-clásico (1700-1776)
 - 1ª etapa de la Mecánica de Suelos clásica (1776-1856)
 - 2ª etapa de la Mecánica de Suelos clásica (1856-1910)
 - Mecánica de Suelos moderna (1910- años '30/'40)

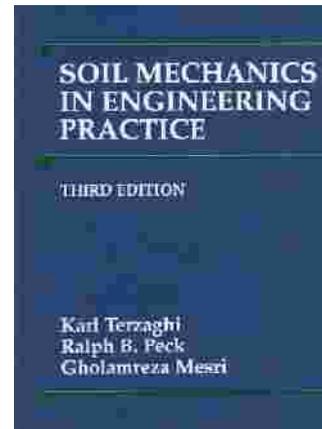
Historia de la Geotecnia

■ 1925 y después.



■ **Karl von Terzaghi (1883- 1963)**

- Se le considera el “padre” de la **Mecánica de Suelos**
- Publica en 1925 *Erdbaumechanik auf Bodenphysikalischer Grundlage*. Enuncia la **Ley de las Tensiones Efectivas**
- En 1943 publica el texto *Theoretical Soil Mechanics*
- En 1948, en colaboración con Ralph B. Peck publica *Soil Mechanics in Engineering Practice*



Conceptos Previos

- Los términos **Ingeniería Geotécnica** están relacionados con la aplicación de la tecnología y métodos de la Ingeniería Civil a los materiales geológicos.
- Los ingenieros suelen referirse a esos materiales de forma genérica como **suelo** o **roca**.
- Un **SUELO**, en el sentido ingenieril, es un aglomerado relativamente poco cohesivo compuesto por minerales, materia orgánica y/o sedimentos que se encuentra por encima de un substrato rocoso.
- Los suelos pueden ser fácilmente fragmentados hasta separar sus partículas más pequeñas.
- El significado de un suelo para un ingeniero civil no es igual que el que tiene para un agrónomo, edafólogo, biólogo, geólogo...

Conceptos Previos

- A pesar de las diferencias conceptuales, existe un cuerpo de conocimiento común entre la ingeniería geotécnica, la geología y la edafología
- Una **ROCA** es un material geológico con mucha mayor cohesión que un suelo
- La división entre suelo y roca es completamente arbitraria y muchos materiales geológicos comunes pueden ser clasificados de las dos maneras (rocas blandas o suelos duros)
- La **Mecánica de Suelos** es una rama de la Ingeniería Geotécnica que se ocupa del estudio del comportamiento y propiedades geotécnicas de los suelos
- La **Mecánica de Rocas** es una rama de la Ingeniería Geotécnica que se ocupa del estudio y del comportamiento y las propiedades geotécnicas de las rocas

Estudio y Descripción de las Fases del Suelo

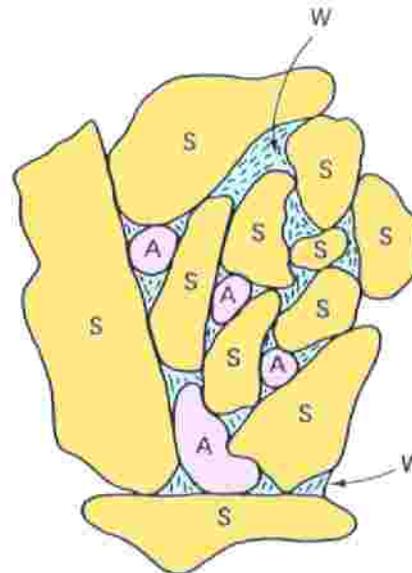
S : **Sólido** à Partícula de Suelo

W: **Líquido** à Agua + electrolitos

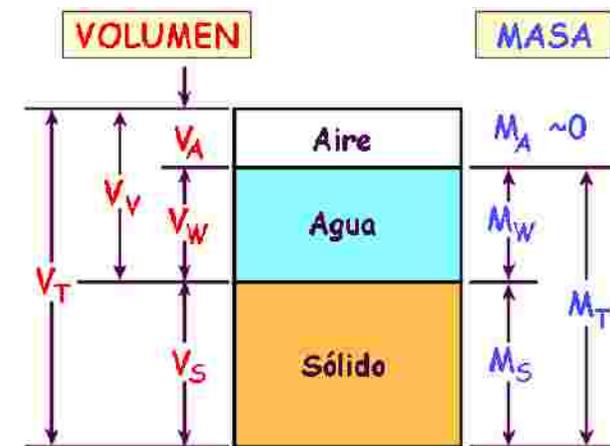
A: **Aire** à Aire



Realidad

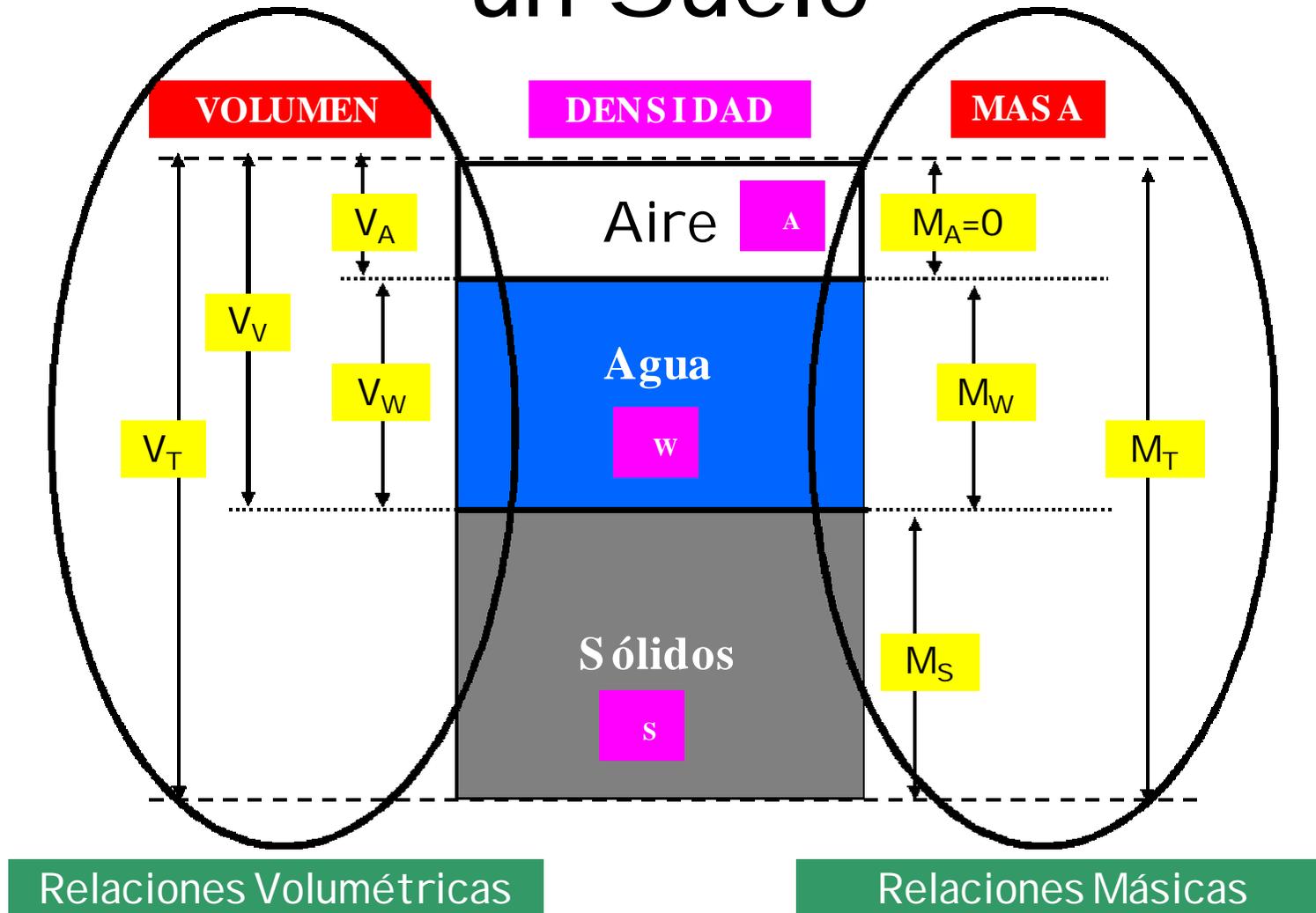


Conceptualización

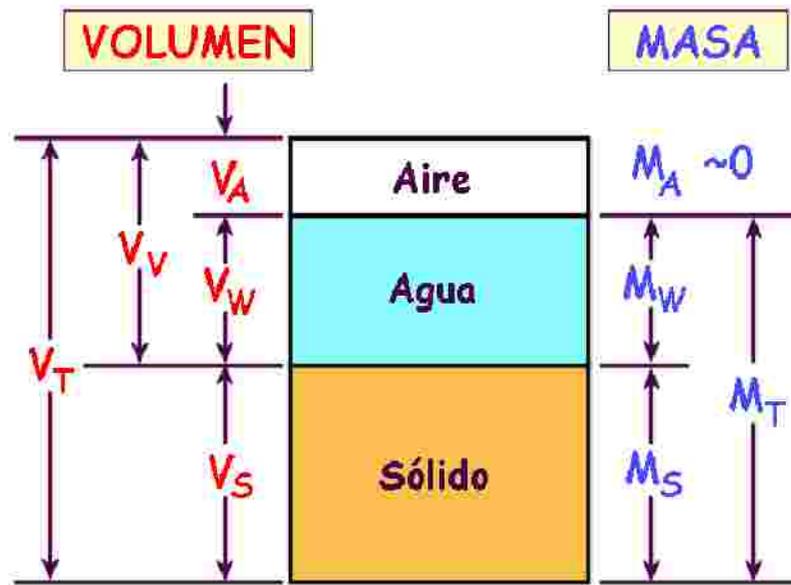


Modelo

Distribución de las Fases de un Suelo



Distribución de las Fases de un Suelo



Balance de volumen

$$V_T = V_S + V_V = V_S + V_W + V_A$$

Balance de masa

$$M_T = M_S + M_W$$

$$P = m \cdot g$$

V_T : volumen total
 V_A : volumen de aire
 V_W : volumen de agua
 V_S : volumen de sólido
 V_V : volumen de los huecos

M_T : masa total
 M_A : masa de aire
 M_W : masa de agua
 M_S : masa de sólido

P_T : peso total
 P_W : peso del agua
 P_S : peso del sólido

Relaciones Volumétricas

- Índice de huecos, **e** (valor decimal, P. Ej. 0.65)

$$e = \frac{\text{Volumen de huecos (V}_v\text{)}}{\text{Volumen de sólidos (V}_s\text{)}}$$

- Porosidad, **n** (en porcentaje, P. Ej. 100%, 65%)

$$n = \frac{\text{Volumen de huecos (V}_v\text{)}}{\text{Volumen total de suelo (V}_T\text{)}}$$

Relaciones Volumétricas

- Grado de Saturación, S (en porcentaje, P.Ej. 65%)

$$S = \frac{\text{Volumen total de huecos conteniendo agua } (V_w)}{\text{Volumen total de huecos } (V_v)} \times 100$$

- Para un suelo completamente seco, $S = 0 \%$
- Para un suelo completamente saturado, $S = 100\%$
- Para un suelo parcialmente saturado, $0\% < S < 100\%$

Relaciones Volumétricas

- Contenido (volumétrico) de agua, Θ (en porcentaje, P.Ej. 65%)

$$\Theta = \frac{\text{Volumen de agua } (V_w)}{\text{Volumen total } (V_T)} \times 100$$

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

$$SV_T = \Theta V_v \Rightarrow S = \frac{\Theta}{n} \Rightarrow S = \frac{\Theta(1+e)}{e}$$

Relaciones Másicas

- Contenido (másico) de humedad, **w** (en porcentaje, P. Ej. 30 %)

$$w = \frac{\text{Masa de agua}(M_w)}{\text{Masa de sólido}(M_s)} \times 100$$

- El contenido de humedad se refiere al peso seco de suelo
- En la mayor parte de suelos, $w < 100\%$. Sin embargo, en algunos suelos marinos u orgánicos, w puede ser mayor o igual a 500 %

Densidad y Peso Específico

- La **masa** es una medida de la inercia de un cuerpo, es decir, su "*cantidad*" de materia. Su valor es independiente de la posición.
- El **peso** es la fuerza resultante de la acción de la gravedad sobre un cuerpo. Su magnitud depende de la posición.
- De acuerdo con la 2ª Ley de Newton, $F = m \times a$
- En cálculos geotécnicos es más frecuente emplear el peso específico que la densidad

$$\text{Densidad, } r = \frac{\text{Masa}}{\text{Volumen}}$$

$$\text{Peso específico, } g = \frac{\text{Peso}}{\text{Volumen}} = \frac{\text{Masa} \cdot g}{\text{Volumen}}$$

$$g = r \cdot g = r \cdot 9.81 \text{ m/s}^2$$

Densidad y Peso Específico

Densidad

$$r = \frac{M_T}{V_T} = \frac{M_S + M_W}{V_T}$$

$$r_{sat} = \frac{M_S + M_W}{V_T}$$

$$r_s = \frac{M_S}{V_S}$$

$$r_w = \frac{M_W}{V_W}$$

$$r_d = \frac{M_S}{V_T}$$

total, húmeda,
aparente, natural
 $V_A \neq 0$; $S < 100\%$

saturada/ o
 $V_A = 0$; $S = 100\%$

del sólido

del agua

seca/ o

Peso Específico

$$g = \frac{P_T}{V_T} = \frac{P_S + P_W}{V_T}$$

$$g_{sat} = \frac{P_S + P_W}{V_T}$$

$$g_s = \frac{P_S}{V_S}$$

$$r_w = \frac{P_W}{V_W}$$

$$g_d = \frac{P_S}{V_T}$$

Gravedad Específica

$$G_S = \frac{r_S}{r_W} = \frac{r_S \cdot g}{r_W \cdot g} = \frac{g_S}{g_W}$$

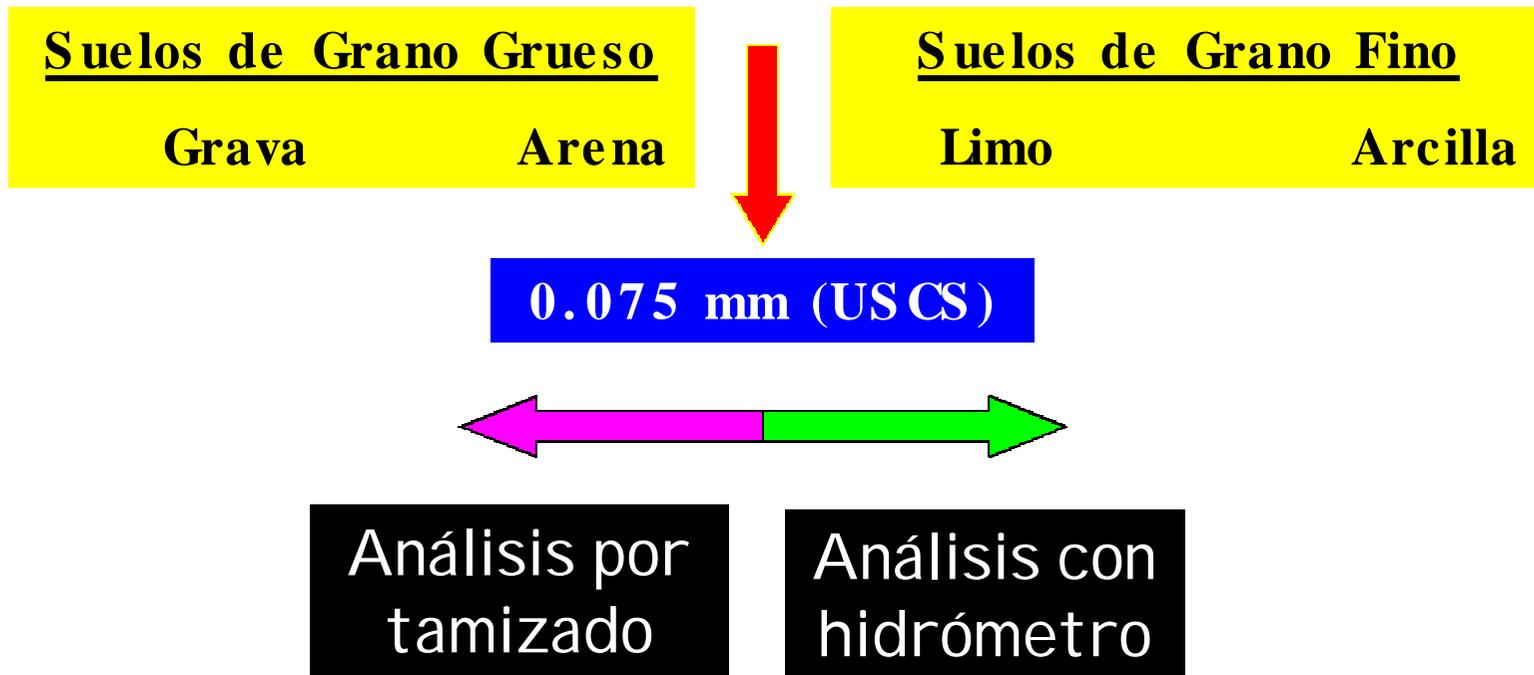
Mineral	G _S	Mineral	G _S
Cuarzo	2.65	Clorita	2.6 - 2.9
Kaolinita	2.6	Biotita	2.8 - 3.2
Illita	2.8	Moscovita	2.76 - 3.1
Montmorillonita	2.65 - 2.80	Hornblenda	3.0 - 3.47
Halloysita	2.0 - 2.55	Limonita	3.6 - 4.0
Feldespato potásico	2.57	Olivino	3.27 - 3.7
Plagioclasa	2.62 - 2.76		

Das (2002)

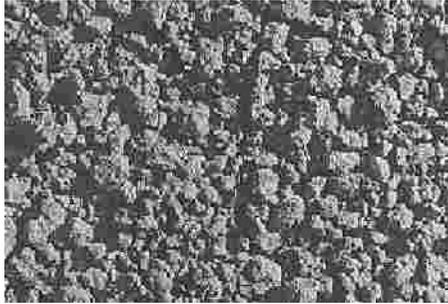
Propiedades Físicas de los Suelos

Textura de los Suelos

- La textura se relaciona con su aspecto o "tacto" y depende del tamaño relativo y las formas de las partículas que lo constituyen. También es función de los rangos de distribución de los distintos tamaños.



Textura de los Suelos



Granular



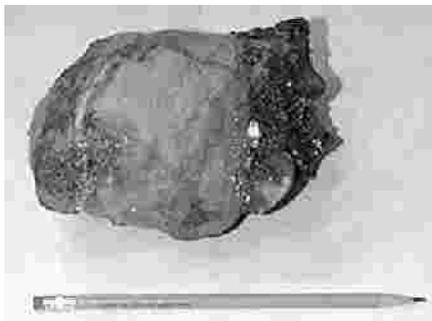
En bloques



Prismático



Suelto



Masivo



Tabular



Columnar

Características

Tipo de Suelo	Gravas, Arenas	Limos	Arcillas
Granulometría	Grano grueso. Los granos individuales pueden ser distinguidos a ojo	Grano fino. No se pueden distinguir los granos a simple vista	Grano fino. No se pueden distinguir los granos a simple vista
Características	No plásticos. Granulares	No plásticos. Granulares	Plásticos
Efecto del agua en su comportamiento ingenieril	Relativamente poco importante con la excepción de suelos granulares saturados no cohesivos y cuando están sometidos a cargas dinámicas	Importante	Muy importante
Efecto de la distribución granulométrica en el comportamiento ingenieril	Importante	Relativamente poco importante	Relativamente poco importante

Holtz y Kovacs (1981)

Forma de las Partículas

- La forma de las partículas juega un papel importante en las propiedades mecánicas del suelo
- No suele determinarse dada la complejidad que los análisis requieren
- Sin embargo, entender algunas propiedades mecánicas (p. Ej. resistencia al corte) es más fácil si entendemos las formas que tienen. Para partículas equidimensionales...

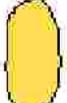
$$\text{Angularidad} = \frac{\text{Radio medio de aristas y vértices}}{\text{Radio de la mayor esfera inscrita}}$$

$$\text{Esfericidad, } S = \frac{D_e}{L_p}$$

$$D_e = \sqrt[3]{\frac{6V}{\rho}}$$

V: volumen de la partícula
D_e: diámetro equivalente
L_p: longitud de la partícula

Forma de los Granos

Partículas con alta esfericidad						
Partículas con baja esfericidad						
	Muy angulosa	Angulosa	Subangulosa	Subredondeada	Redondeada	Bien redondeada

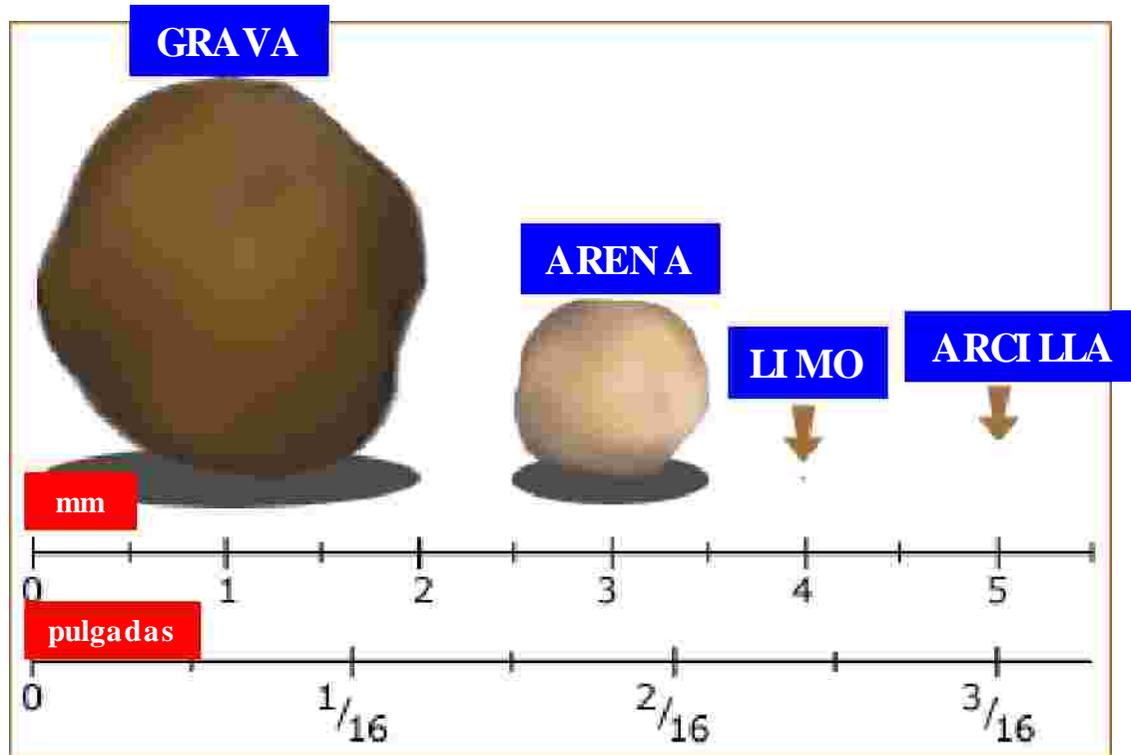
- Es un parámetro importante en suelos granulares
- Partículas angulares → mayor coeficiente de rozamiento
- Partículas redondeadas → menor rozamiento
- Recordar que las partículas de arcilla son tabulares

Superficie Específica

- Es la relación existente entre el área que ocupa una partícula y su volumen.
- Cuanto menor es el tamaño de una partícula, mayor es la superficie específica.
- Dividiendo la superficie específica por la densidad obtenemos la superficie de la partícula por unidad de masa.
- En general, debemos esperar mayores contenidos de humedad en suelos con gran superficie específica que en otros en los que este parámetro sea pequeño

Granulometría

Idea aproximada de distintos tamaños de grano



Granulometría

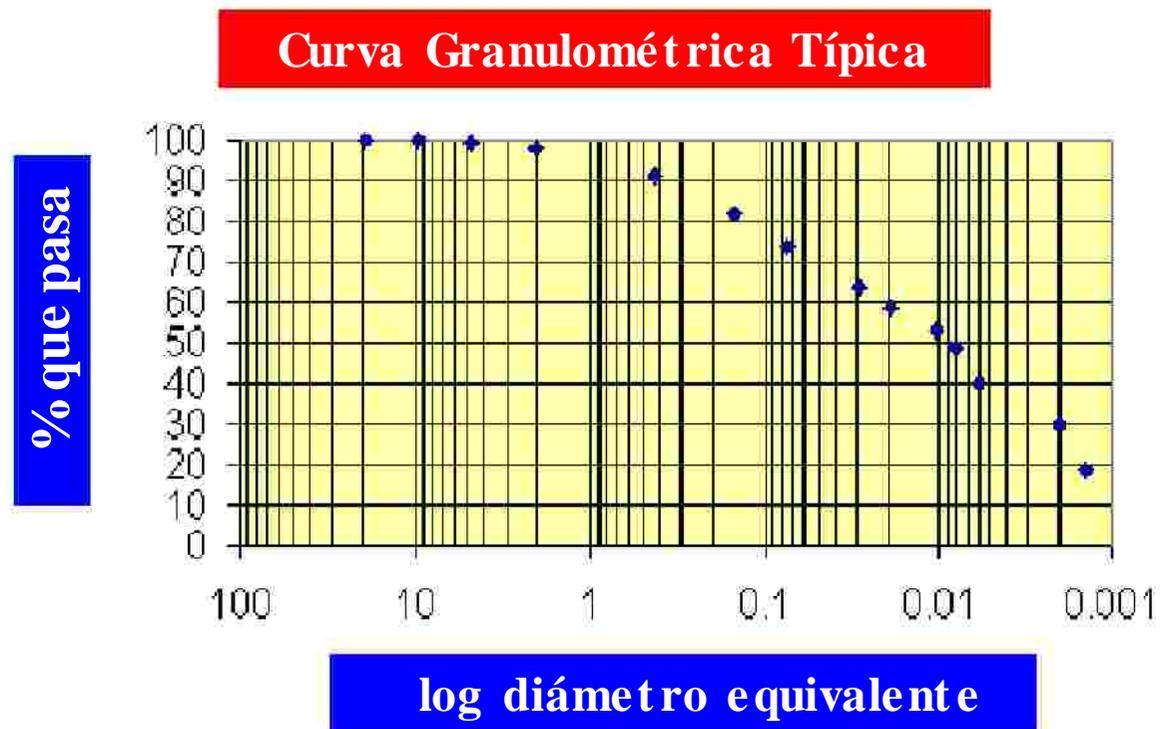
Clasificación granulométrica de los sedimentos, según diversas clasificaciones frecuentemente empleadas en geotecnia

	Tamaño de grano (mm)						
	100	10	1	0.1	0.01	0.001	0.0001
MIT (1931)	Grava	Arena	Limo	Arcilla			
		2	0.06	0.002			
AASHTO (1970)	Grava	Arena	Limo				
	75	2	0.05	0.002			
Unificado (1953)	Grava	Arena	Finos (limo+arcilla)				
	75	4.75	0.075				

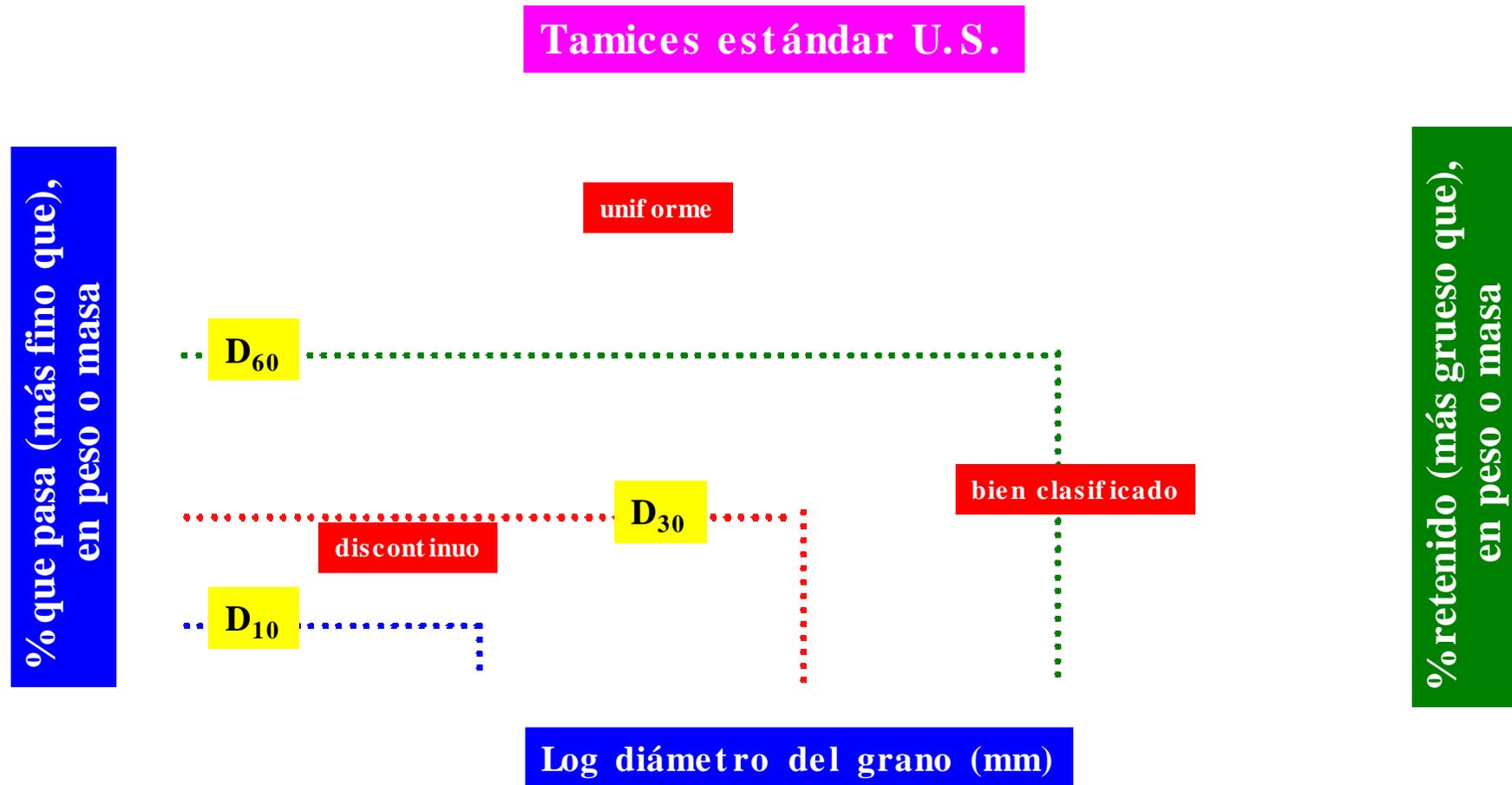
 **Arcilla**
 **Coloides**

Curva Granulométrica

UNE 7060-1/1997: Representación de resultados obtenidos por análisis granulométrico. Parte 1: Representación gráfica



Curva Granulométrica



Holtz y Kovacs (1981)

Distribución Granulométrica

- Diámetro Efectivo (D_{10})
- Coeficiente de Uniformidad (C_U)
- Coeficiente de Curvatura (C_c)

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

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

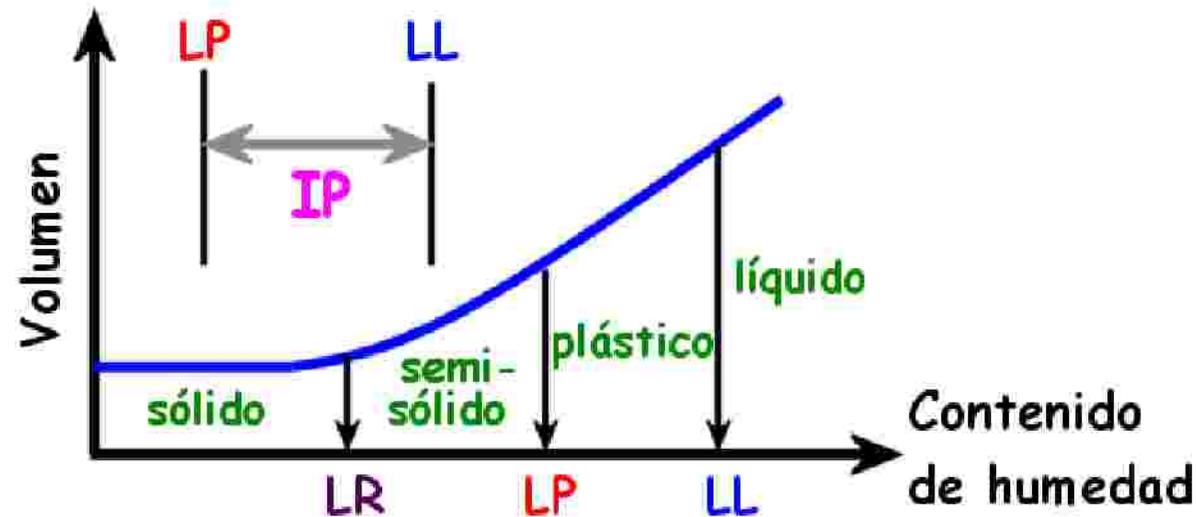
Un suelo se considera bien clasificado si ...



$1 < C_c < 3$ y $C_U \geq 4$
(para gravas)
 $1 < C_c < 3$ y $C_U \geq 6$
(para arenas)

Límites de Atterberg

- La presencia de agua en suelos de grano fino afecta significativamente su comportamiento geotécnico. Para describir esos efectos es precisa una escala de referencia



ASTM D4318/93

Índices de Consistencia

Índice de Plasticidad, IP

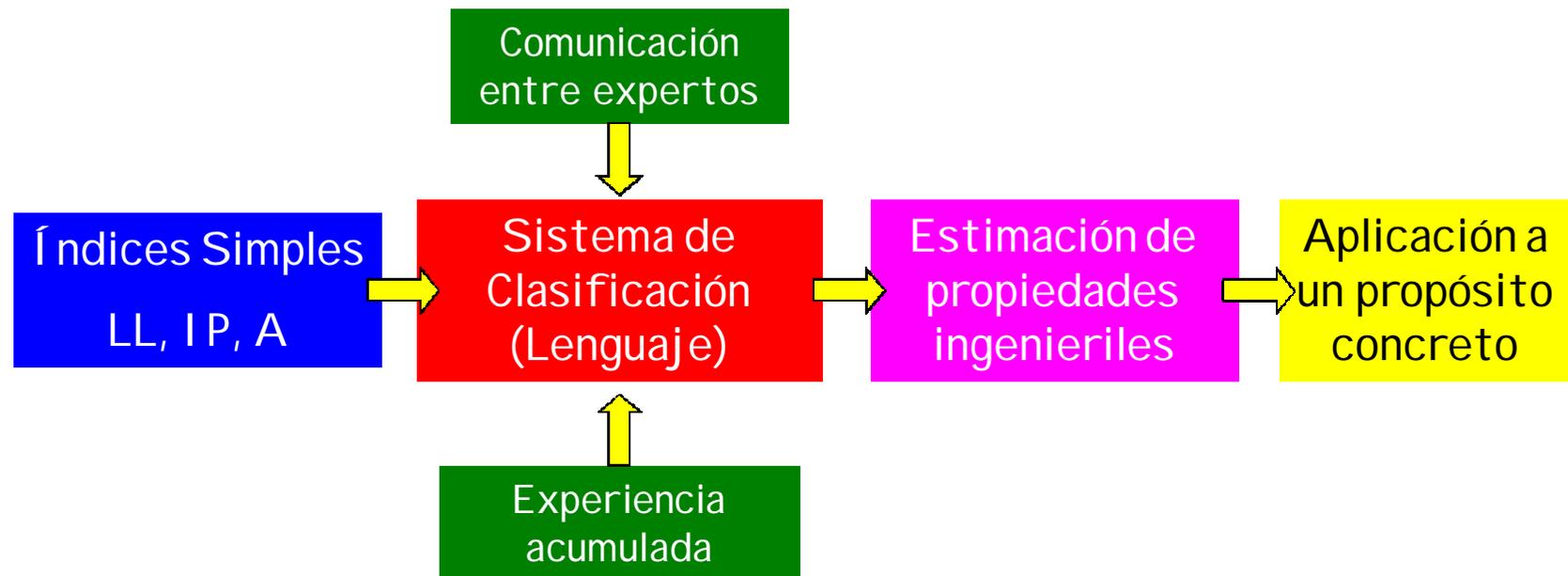
- Permite describir el rango de contenidos de agua bajo los cuales un suelo tiene comportamiento plástico
- $IP = LL - LP$



Clasificación de los Suelos

Propósito

- La clasificación de los suelos en grupos de comportamiento análogo a partir de índices simples, proporciona a los ingenieros una guía general para entender las propiedades ingenieriles de los suelos.
- La clasificación de los suelos es el resultado de la experiencia acumulada a lo largo de muchos años.



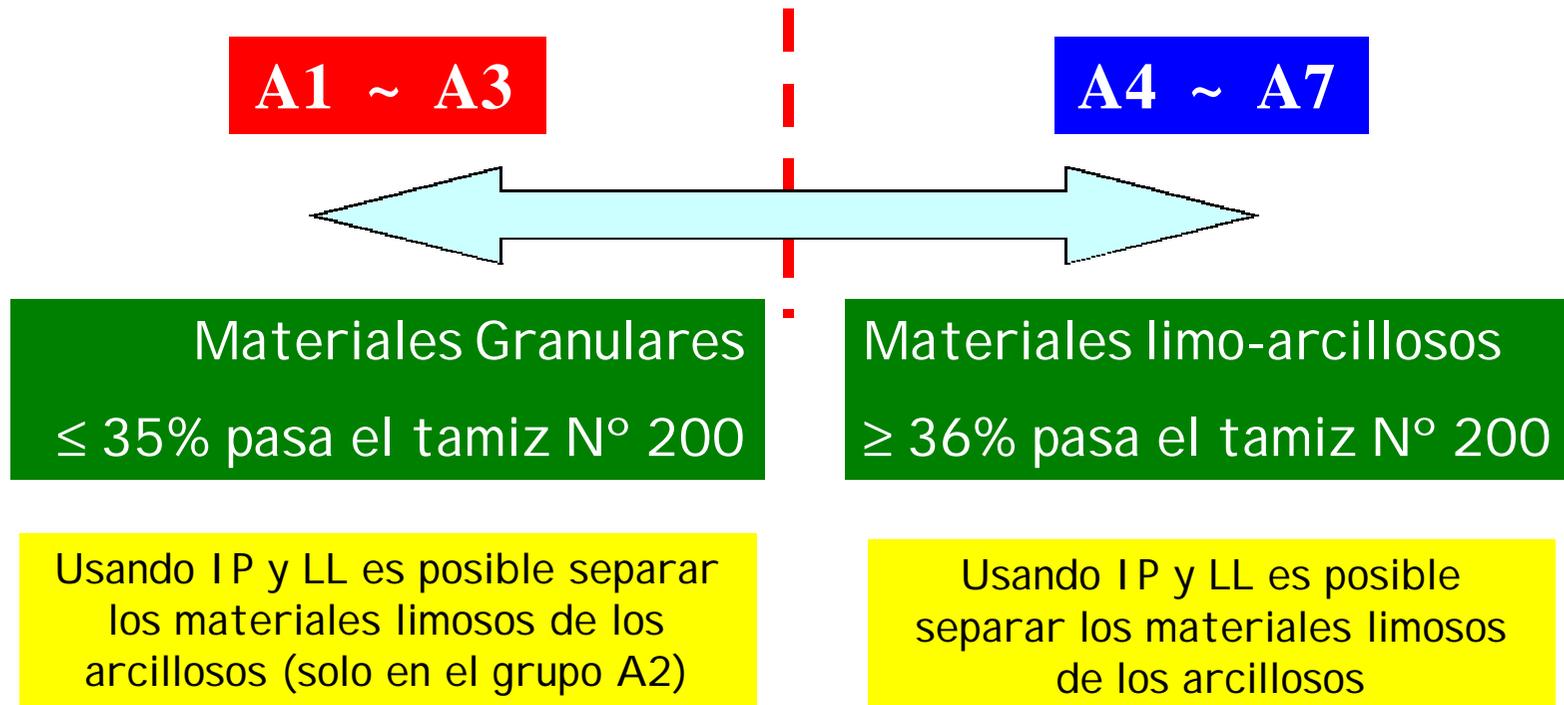
Sistemas de Clasificación

- **Los más utilizados en geotecnia son dos:**
 - Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (Unified Soil Classification System, **USCS**).
 - Sistema de la Asociación Americana de Transporte y Autopistas Estatales (American Association of State Highway and Transportation Officials, **AASHTO**)
 - Ambos se basan en dos propiedades-índice:
 - ◆ Granulometría
 - ◆ Límites de Atterberg

Tipos de Suelo - USCS

- **GW** (Gravas bien clasificadas, mezclas de grava/arena, sin o con pocos finos)
- **GP** (Gravas mal clasificadas, mezclas de grava/arena, sin o con pocos finos)
- **GM** (Gravas carbonatadas grises,mezclas de limo/arena)
- **GC** (Mezcla de gravas carbonatadas grises/arena/arcilla)
- **SW** (Arenas bien clasificadas, arenas con grava, sin o con pocos finos)
- **SP** (Arenas mal clasificadas, arenas con grava, sin o con pocos finos)
- **SM** (Arenas limosas, mezclas limo/arena)
- **SC** (Arenas arcillosas, mezclas arena/arcilla)
- **ML** (Limos inorgánicos y arenas muy finas, arena fina limo-arcillosa)
- **CL** (Arcillas inorg. de plast. baja a media, arcillas arenosas, limosas o sueltas)
- **OL** (Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad)
- **MH** (Limos inorgánicos, arenas micáceos o de diatomeas finas, limos elásticos)
- **CH** (Arcillas grasas)
- **OH** (Arcillas orgánicas grasas)
- **PT** (Turba, humus, y otros suelos orgánicos pantanosos)
- **SP- SM** (Mezclas de limo/arena/grava)
- **L** (Calizas)
- **S** (Areniscas)

Criterio General - AASHTO



Ejemplo de Aplicación

Grupo de Suelo	Granulometría % que pasa tamiz N° 200	LL*	IP*	Tipo de Material	Calidad de la subbase
A4	Mín. 36	Máx. 40	Máx. 10	Suelo limoso	Aceptable a mala
A5	Mín. 36	Mín. 41	Máx. 10		
A6	Mín. 36	Máx. 40	Mín 11	Suelo arcilloso	
A7	A-7-5	Mín. 36	Mín. 41 Mín 11 IP ≤ LL-30		
	A-7-6	Mín. 36	Mín. 41 Mín 11 IP > LL-30		

LL=70

LL-30=40 > IP=32

Pasa N° 200 =86 %

$$GI = (F_{200} - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F_{200} - 15)(IP - 10) = 33.47 \cong 33$$

A-7-5(33)

Descripción de los Suelos

- Generalidades (color, textura, origen, mineralogía, olor, etc.)
- Tamaño de las partículas
- Plasticidad
- Contenido en materia orgánica
- Discontinuidades y estratificación
- Dilatancia
- Resistencia en Seco
- Consistencia
- Contenido en carbonatos

Estructura de los Suelos

- Homogéneo: Propiedades uniformes.
- Heterogéneo: Propiedades disimilares.
- En panal de abeja (Honeycombed): Con muchos huecos o coqueras.
- Fisurado: Con grietas de retracción, a menudo rellenas con arena fina o limo.
- Estratificado: Suelos dispuestos según capas subhorizontales.
- Laminado: Suelo estratificado con capas delgadas.
- Bandeado: Suelo estratificado evidenciando cambios de coloración.
- Foliado: Presenta fisibilidad.
- Estriado: Cortado por planos de rotura que le dan un aspecto brillante, acanalado o estriado.
- Lenticular: Capas o estratos estrechos y discontinuos.
- Costras: Rellenos de fracturas o recubrimiento de las partículas.
- Margoso: Suelos carbonatados de tamaño de grano muy fino.
- Caliche: Con una zona u horizonte de carbonato cálcico secundario.