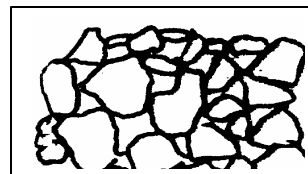


3. ESTRUCTURA DEL SUELO Y GRANULOMETRÍA

3.1 Características y estructura de las partículas minerales.

3.1.2 Relaciones fino – agregados

Agregados sin finos, ejm. Un talus.: Contacto grano a grano. Peso volumétrico variable. Permeable. No susceptible a las heladas. Alta estabilidad en estado confinado. Baja estabilidad en estado inconfinado. No afectable por condiciones hidráulicas adversas. Compactación difícil.



Agregados con finos suficientes: Para obtener una alta densidad. Contacto grano a grano con incremento en la resistencia. Resistencia a la deformación. Mayor peso volumétrico. Permeabilidad más baja. Susceptible a las heladas. Relativa alta estabilidad (confinado o no confinado). No muy afectable por condiciones hidráulicas adversas. Compactación algo difícil.



Agregado con gran cantidad de finos, ejm. un coluvión: No existe contacto grano a grano; los granos están dentro de una matriz de finos; este estado disminuye el peso volumétrico. Baja permeabilidad. Susceptible a heladas. Baja estabilidad (confinado o no). Afectable por condiciones hidráulicas adversas. No se dificulta su compactación.

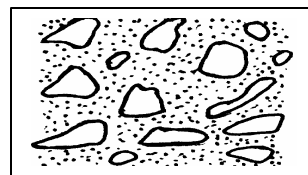


Figura 3.1 Depósitos de suelos transportados

| Componente ⇒ | ARENA | LIMO | MICA | CARBONATO | SULFATO | CAOLINITA | ILLITA | MONTMORILLO NITA | MATERIA ORGÁNICA | ALOFANO |
|-------------------------|-------|------|------|-----------|---------|-----------|--------|------------------|------------------|---------|
| Propiedad ↓ | | | | | | | | | | |
| Permeabilidad seco | ++ | - | M | m | m | - | -- | -- | ++ | m |
| Permeabilidad húmedo | ++ | + | + | m | m | - | -- | -- | ++ | ++ |
| Estabilidad volumétrica | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ | + | - | - | + | m |
| Plasticidad – cohesión | +- | -- | - | - | - | m | - | ++ | m | ++ |
| Resistencia seco | | + | + | + | + | m | + | ++ | - | m |
| Resistencia húmedo | | -- | m | + | m | - | m | -- | -- | - |
| Compactación (ω óptima) | + | m | -- | ++ | + | - | m | -- | -- | ++ |

+++ = muy alto ++ = alto m = moderado - = bajo -- = muy bajo.

Tabla 3.1 Propiedades ingenieriles de los componentes del suelo

3.1.2 Principales propiedades demandadas por el ingeniero.

1. **Estabilidad volumétrica:** Los cambios de humedad son la principal fuente: Se levantan los pavimentos, inclinan los postes y se rompen tubos y muros.
2. **Resistencia mecánica:** La humedad la reduce, la compactación o el secado la eleva. La disolución de cristales (arcillas sensitivas), baja la resistencia.
3. **Permeabilidad:** La presión de poros elevada provoca deslizamientos y el flujo de agua, a través del suelo, puede originar tubificación y arrastre de partículas sólidas.
4. **Durabilidad:** El intemperismo, la erosión y la abrasión amenazan la vida útil de un suelo, como elemento estructural o funcional.
5. **Compresibilidad:** Afecta la permeabilidad, altera la magnitud y sentido de las fuerzas interpartícula, modificando la resistencia del suelo al esfuerzo cortante y provocando desplazamientos.

Las anteriores propiedades se pueden modificar o alterar de muchas formas: por medios mecánicos, drenaje, medios eléctrico, cambios de temperatura o adición de estabilizantes (cal, cemento, asfalto, sales, etc.).

3.1.3 Estructura de los suelos – Fábrica textural y estructural del suelo.

La estructura primaria en su estado natural, es la disposición y estado de agregación de los granos, lo que depende del ambiente de meteorización en los suelos residuales, o del ambiente de deposición en los suelos transportados. Esta es la fábrica textural que hereda el suelo. Otras discontinuidades en la masa, por ejemplo, pliegues y fracturas, por tectonismo, vulcanismo, etc., o las que marcan ciclos de actividad geológica (planos de estratificación, disolución, alteración, etc.), son la estructura secundaria y constituyen aspectos estructurales a mayor escala; esta es la fábrica estructural que hereda el suelo (relictos). En el proceso de sedimentación, las partículas sólidas están sometidas a fuerzas mecánica y eléctricas. Las primeras afectan todas las partículas (ambientes turbulentos, gravedad, etc.) y las segundas a las partículas finas (atracción, repulsión y enlaces iónicos, en medios acuosos). Cuando dominan fuerzas de atracción eléctrica, se produce floculación y cuando dominan las de repulsión, y las partículas se separan, dispersión. La temperatura y concentración iónica influyen en la incidencia del medio acuoso de la sedimentación. Así, la estructura primaria puede ser:

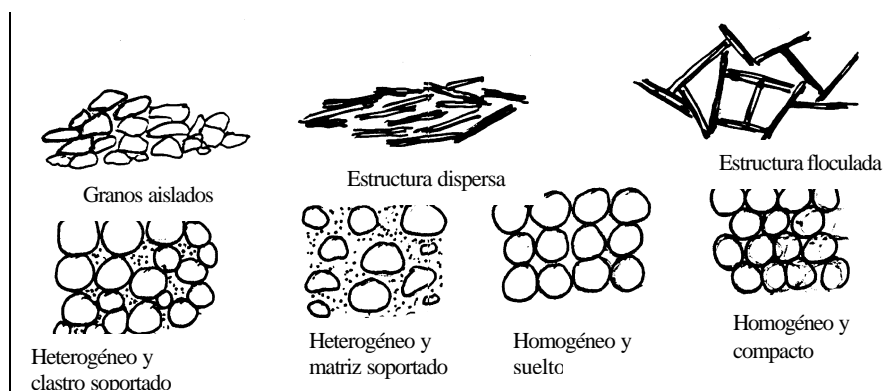


Figura 3.2 Estructura de suelos

El suelo puede fallar: Por los granos minerales, por la liga de los granos minerales (por la fábrica textural) y por la fábrica estructural.

| ORIGEN | TEXTURA | | FÁBRICA NO ORIENTADA | | | FABRICA ORIENTADA | | |
|--------------|--------------------|--------|----------------------|--|---------------------------------------|---|------------------------------------|------------------------------------|
| | Clase | Grano | Entrelazada | Cementada | Consolidada | Foliada | Cementada | Consolidada |
| IGNEO | CRISTALINA | Fino | Basalto | Toba Aglomerado | | | | |
| | | Grueso | Granito | | | | | |
| | PIROCLÁSTICA | Fino | | | | | | |
| | | Grueso | | | | | | |
| METAMORFICO | CRISTALINA | Fino | Horfels | | | Pizarra Gneis Filonita Protomilonita | | |
| | | Grueso | Mármol | | | | | |
| | CATACLÁSTICA | Fino | Milonita | | | | | |
| | | Grueso | Brecha | | | | | |
| SEDIMENTARIO | GRANO – CRISTALINA | Fino | Lidita | Limolita calcárea Conglomerado calcárea | Arcillolita Conglomerado o arenoso | | Lutita calcárea Lutita cuarzosa | Lutita arcillosa Lutita arenosa |
| | | Grueso | Caliza Oolítica | | | | | |
| | CLÁSTICA | Fino | | | | | | |
| | | Grueso | | | | | | |

Tabla 3.2 Textura y fábrica de materiales rocosos.

3.1.4 Tipos de falla por discontinuidades en roca

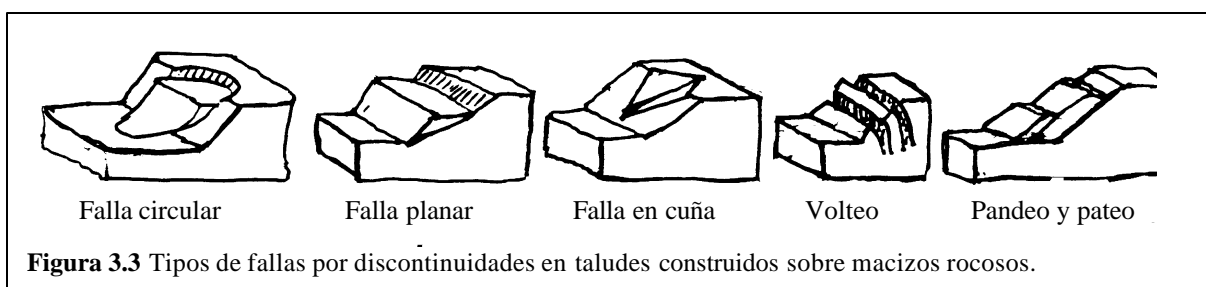


Figura 3.3 Tipos de fallas por discontinuidades en taludes construidos sobre macizos rocosos.

Es falla circular cuando la roca está intensamente fracturada, la falla es planar si el buzamiento es mayor al del talud, la de cuña cuando dos familias de discontinuidades producen cuñas, con línea de cabeceo buzando más suave que el talud. La de volteo con buzamiento casi vertical y contrario; el pandeo por fricción plástica; el pateo ocurre cuando las losas, cuasiverticales y de pendiente conforme, pierden el talón. En las fallas planar y de cuña, la fricción puede sostener las losas y las cuñas cuando las discontinuidades están poco inclinadas. Recuérdese que el suelo residual hereda las debilidades de la roca madre y estas son los relictos.

Discontinuidades en macizos rocosos que forman relictos (fábrica estructural)

| | | |
|----------------------|---------------------|---|
| • Genéticas | Rocas ígneas | Estructuras de flujo: Contacto entre coladas de lavas Estructuras de retracción: Grietas por su friccionamiento |
| | Rocas metamórficas | Foliación: Gradiente de temperatura, presión y anatexia |
| | Rocas sedimentarias | Estratificación: Contactos entre eventos deposicionales |
| • Físico químicas | Todas las rocas | Termofracturas: Ciclos de temperatura y de secado – humedecimiento. Argilifracturas: si son por arcillas Halifracturas: Expansión de sales y arcillas en fracturas. Gelifracturas: Ciclos de “congelación – fusión” de agua. |
| | Todas las rocas | Relajación: Tracción de desconfinamiento por erosión. Corte: Concentración de esfuerzos verticales en laderas. |
| • De gravedad | Todas las rocas | |
| • Tectónicas | Todas las rocas | Estructuras de placa: Bordes destructivos y constructivos. Fallas: Ruptura con separación de masas de roca. Diaclasas: Ruptura sin separación de masas de roca. Fracturas de pliegues radiales: Tracción y de corte = compresión. |
| | Todas las rocas | Acción de raíces: Expansión y penetración de la raíz. |
| | Todas las rocas | Tecnológica: Esfuerzos inducidos por el hombre. |
| | Todas las rocas | |
| | Todas las rocas | |

3.1.5 El contexto para facilitar el texto geotécnico

Las observaciones de campo deben anotarse en forma apropiada, incluyendo además de los datos de localización, fecha y ejecutor, datos tales como los que siguen (más que importantes, son fundamentales):

Profundidad a partir de la superficie.

Color. Cuando existen motas, anotar sus coloraciones.

Inclusiones. Indicar si son carbonatos, hierro, raíces, materia orgánica, etc.

Textura y consistencia.

Dispersión de agua.

Tipo de perfil.

Geología. Tipo de rocas y formaciones en la región.

Aguas superficiales. Coloración, gasto, turbidez, etc.

Erosión. Tipo de erosión. Tipo de vegetación.

Presencia de deslizamientos. Uso y manejo del suelo.

Micro relieve en los suelos.

Mineral inferido.

3.1.6 Algunas claves para inferir

Aguas turbias: Montmorillonita. Salinidad en los suelos. Illita.

Aguas claras: Calcio, magnesio, suelo con hierro, suelo ácido, arenas.

Zanjas de erosión o tubificación: Arcillas salinas; esencialmente montmorillonita.

Desprendimientos del suelo: Caolinitas y cloritas.

Micro relieve superficial: Montmorillonita.

Formaciones rocosas graníticas: Caolinita y micas.

Formaciones rocosas basálticas, mal drenadas: Montmorillonita.

Formaciones rocosas basálticas, bien drenadas: Caolinitas.

Formaciones rocosas en areniscas: Caolinita, cuarzo.

Formaciones rocosas en lutitas y pizarras: Montmorillonita e illita (si hay salinidad).

Formaciones rocosas en calizas: Montmorillonita y cloritas.

Cenizas volcánicas – piroclastos: Alófanos.

Arcilla moteada rojo, naranja y blanco: Caolinitas.

Arcilla moteada amarillo, naranja y gris: Montmorillonita.

Arcilla gris oscuro y negro: Montmorillonita.

Arcilla café o café rojizo: Illita con algo de montmorillonita.

Arcilla gris claro o blanca: Caolinita y bauxita (óxido de aluminio).

Nódulos duros café – rojizo: Hierro, lateritas.

Suelos disgregables, de textura abierta, sin arcilla: Carbonatos, limos y arenas.

3.1.7 Definiciones

Sensibilidad: O susceptibilidad de una arcilla, es la propiedad por la cual, al perder el suelo su estructura natural, cambia su resistencia, haciéndose menor, y su compresibilidad, aumenta.

Tixotropía: Propiedad que tienen las arcillas, en mayor o menor grado, por la cual, después de haber sido ablandada por manipulación o agitación, puede recuperar su resistencia y rigidez, si se le deja en reposo y sin cambiar el contenido de agua inicial.

Desagregación: Deleznamiento o desintegración del suelo, dañando su estructura, anegando el material seco y sometiéndolo a calor.

Muestra inalterada: Calificación de valor relativo, para un espécimen de suelo tomado con herramientas apropiadas, retirado del terreno con los cuidados debidos, transportado, conservado y llevado al aparato de ensayo, de manera que pueda considerarse que las propiedades del suelo natural, que se desean conocer en la muestra, no se han modificado de manera significativa.

Muestra alterada: Espécimen con su estructura disturbada.

Suelo grueso -granular: Son los de mayor tamaño: Guijarros, gravas y arenas. Su comportamiento está gobernado por las fuerzas gravitacionales.

Suelos fino - granulares: Son los limos y arcillas. Su comportamiento está regido por fuerzas eléctricas, fundamentalmente.

Suelos pulverulentos: Son los no cohesivos, o suelos gruesos, pero limpios (sin finos); es decir, los grueso - granulares limpios.

Arcillas Vs limos: En estado seco o húmedo, tiene más cohesión la arcilla. La arcilla seca es dura mientras el limo es friable o pulverizable. Húmedos, la arcilla es plástica y el limo poco plástico. Al tacto, la arcilla es más suave y a la vista el brillo más durable. Ver Tabla 4.2

3.1.8 Suelos especiales.

Suelos expansivos: La expansión se explica por absorción de agua, dada la deficiencia eléctrica del suelo, su alta superficie específica y su capacidad catiónica de cambio. Los problemas que ocasionan son altas presiones y grandes deformaciones. Son expansivos algunas veces los MH y CH con $LL \geq 50$.

Solución: Colocar una carga mayor a la presión máxima de expansión del suelo. Conservar la humedad natural (ω) constante aislando el volumen expandible. Mantener la humedad final del suelo por debajo de la

humedad natural (drenando). Disminuir la presión de expansión, bajando la capacidad catiónica, con Ca^{++} y Mg^{++} . Reemplazar el suelo, traspasar la capa problemática, o pilotear a tracción. En haloisita, la cal no es buena, pero calentándola a $60\text{ }^\circ\text{C}$ pasa a ser caolinita.

Suelos dispersivos: En estos suelos ocurre una defloculación de las arcillas. El fenómeno químico es propio de suelos salinos, cuando, por presencia de sodio se desplaza el agua recién venida y adsorbida, para romper los enlaces.

El chequeo del potencial dispersivo se hace contando iones disueltos de Na^+ , Mg^{++} , Ca^{++} y K^+ y comparando, con el total de sales, en términos de concentración, el resultado .

El efecto de la dispersión es la erosión interna (tubificación) y la pérdida de resistencia por destrucción de la estructura del suelo.

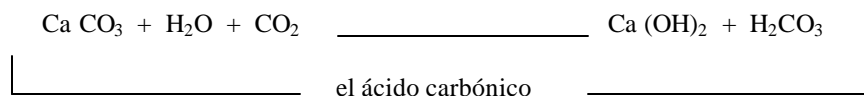
En un ensayo de erodabilidad, todos los suelos dispersivos son erodables. Los suelos dispersivos son sódico - cálcicos y el remedio es echar cal viva para sacar el Na^+ . Se presentan en el Huila y Guajira (ambiente árido y suelo marino).

Suelos colapsables: Los limos venidos de cenizas volcánicas son colapsables, en especial cuando son remoldeados; el LL de las cenizas volcánicas es muy alto y los enlaces iónicos son débiles. Los suelos de origen eólico (y las cenizas tienen algo de eso) son susceptibles, el agua (pocas veces) y el sismo, en casos de licuación, hacen colapsar el suelo.

Una arcilla metaestable es la que pierde cohesión por deslavado de bases, como ocurre en arcillas marinas de Noruega, llamadas arcillas colapsables.

Suelos orgánicos: El primer producto de estos materiales es la turba, materia orgánica en descomposición. Por su porosidad, tiene alto contenido de humedad, baja resistencia, alta compresibilidad e inestabilidad química (oxidable). Deben evitarse como material de fundación y como piso para rellenos. El humus es de utilidad económica y ambiental, por lo que debe preservarse.

Suelos solubles: La disolución se presenta en suelos calcáreos (calizas – yesos);



El ácido carbónico producido, ataca de nuevo los carbonatos del suelo, por lo que es recomendable aislar la obra del flujo de agua.

Laboratorio 1

Obtención del contenido de humedad w

Equipo: Un recipiente para humedad.

Un horno con control de temperatura adecuado

Objetivo: $w = \frac{W_w}{W_s} * 100$ (en porcentaje); este ensayo rutinario determina la cantidad de agua presente en

la muestra de suelo, en términos de su peso en seco (que es una cantidad constante).

Procedimiento: Pesar (con tapa) la cápsula de humedad. Su tamaño es $\phi = 5\text{ cm}$ y $h = 3\text{ cm}$, usualmente.

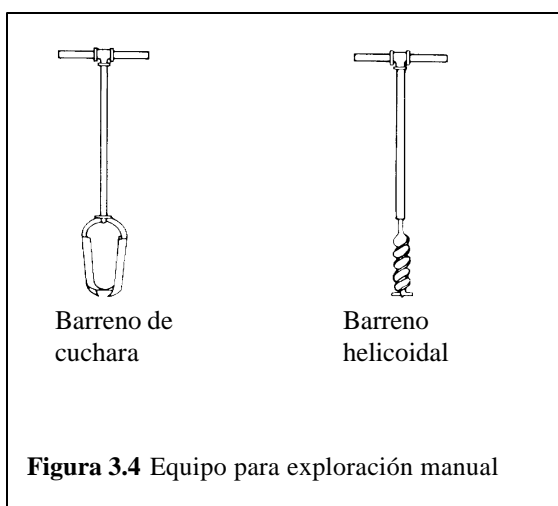
Colocar la muestra de suelo (suficiente) en la cápsula y pesarla en los primeros minutos de extraída la muestra (húmeda).

Lleve la muestra al horno y séquela hasta mostrar un peso constante. Registre el peso seco (con tapa).

NOTA: La temperatura de secado $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ y el tiempo de secado 12h – 18h.

Laboratorio 2

Recolección de muestras en el terreno



Equipo: Barreno manual, $\phi = 5\text{ cm}$ a 10 cm . (o barreno continuo motorizado).

Varillas de extensión, metro a metro, hasta 6 m.

Dos bolsas para muestras y 12 recipientes para contenido de humedad, previamente pesados en vacío.

Llave inglesa para articular las varillas de extensión del barreno.

Cinta metálica (20m) para localizar perforaciones.

Objetivo: Conseguir muestras alteradas de suelo, en un apique manual.

Construir un perfil de suelos, simple, con su descripción.

Procedimiento: Se va perforando, y se toman dos muestras para humedad, por cada metro de perforación, donde cambie el estrato, o la apariencia del suelo. No demore en tapar las muestras para que la pérdida de

humedad no sea significativa

Las dos bolsas son para guardar material, 10 Kg de suelo fino y seco al aire; las bolsas rotuladas correctamente, se almacenan para posterior práctica de suelos, excepto 5Kg, por bolsa, que se secan al aire y se utilizan en la práctica de la semana siguiente.

El segundo día, se determinan las humedades y se elabora el perfil del suelo y su localización en planta, con escala así: Escala vertical 2cm \rightarrow 1m, y Escala Horizontal 2cm \rightarrow 15 m (en hoja tamaño oficio).

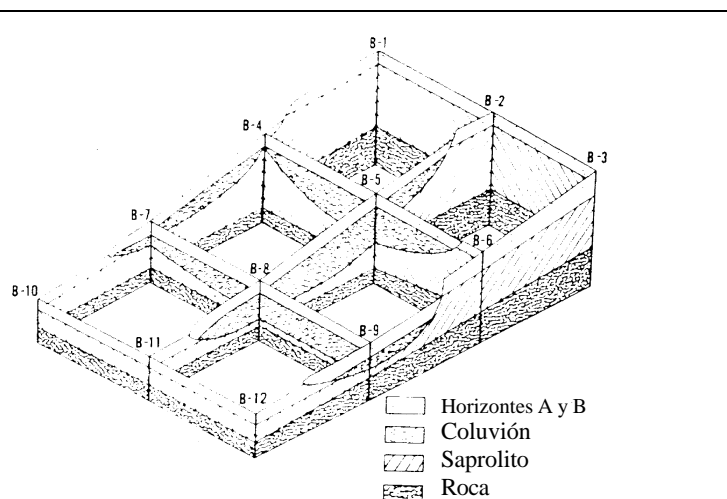


Figura 3.6 Esquema tridimensional de una exploración de suelos

Antes del trabajo de campo, y durante él, debe tenerse una visión geológica del lugar. Este es el contexto del trabajo, sin el cual el texto, que es el perfil, no merece confiabilidad en su interpretación.

Laboratorio 3 Gravedad específica de los sólidos

Equipo: Frasco volumétrico de 250 ml a 500 ml (seco al horno).

Bomba de vacío (o aspirador), para el frasco volumétrico o matraz.

Mortero y mango para morterear.

Balanza de 0,1 gr de precisión.

Agua (destilada) desaireada, con temperatura estabilizada.

Objetivo: A un agregado fino o a una arena, obtenerle su G_s (valor mayor que G_T y G_W), donde

$$G_s = \frac{g_s}{g_0} \quad g_0 = \frac{W_s}{V_s g_0}$$

Aplicar la corrección por temperatura α , que se tabula para agua a temperatura $\neq 20^\circ\text{C}$.

$$\alpha_{20} = 1,0000 \text{ y } \gamma_w = 0,99823 \quad ; \quad \alpha_{22} = 0,9990 \text{ y } \gamma_w = 0,99785$$

$$\alpha_{18} = 1,0004 \text{ y } \gamma_w = 0,99862 \quad ; \quad \alpha_{16} = 1,0007 \text{ y } \gamma_w = 0,99877$$

$$\alpha_{24} = 0,9996 \text{ y } \gamma_w = 0,99732 \quad ; \quad \alpha_{26} = 0,9986 \text{ y } \gamma_w = 0,99681$$

Procedimiento: Mezcle 100gr – 120gr de suelo secado al aire con agua en un recipiente evaporador. Si no existe mezclador eléctrico, remoje el suelo $\frac{1}{2}$ hora (secado al horno, 12 horas). El agua son 100 ml.

- Pese el frasco volumétrico vacío y llénelo luego, hasta la marca, con agua desaireada, sin agitar el agua o desaireándolo con la bomba, cuando esté al 75%. El cuello del frasco debe estar seco.
- Cuando el agua, no el menisco, esté en la marca, pese el frasco y registre W_{FW} . Registre la temperatura para utilizar la curva de calibración del frasco o MATRAZ.
- Luego de 20 minutos, transfiera el suelo saturado del plato evaporador al frasco volumétrico, sin dejar residuos en el plato.
- Añada agua con temperatura estabilizada y complete $\frac{2}{3}$ a $\frac{3}{4}$ del frasco volumétrico, solamente.
- Conecte el frasco a un ducto de vacío durante 10 minuto. Durante, agite suavemente la mezcla moviendo el frasco. La reducción en la presión del aire hará bullir el agua. Destape el frasco antes de cerrar el grifo, evitando ingreso de agua por gradiente de presión.
- Terminado el desaireamiento, sin introducir aire al frasco, añada agua hasta que el menisco alcance la marca del frasco.
- Pese el frasco y su contenido con precisión de 0,01 gr (a la estima) y registre W_{FWS} . Asegúrese que la temperatura esté dentro de 1°C con respecto a la utilizada al medir W_{FW} .

- Sin perder nada de suelo, vacíe el frasco a un plato de secado, llévelo al horno, séquelo y pese el contenido W_S .

- Calcule $G_S = \frac{a * W_S}{W_{FW} + W_S - W_{FWS}}$ (a : en tablas)

3.2 GRANULOMETRÍA

3.2.1 Análisis granulométrico.

Proceso para determinar la proporción en que participan los granos del suelo, en función de sus tamaños. Esa proporción se llama gradación del suelo.

La gradación por tamaños es diferente al término geológico en el cual se alude a los procesos de construcción (agradación) y la destrucción (degradación) del relieve, por fuerzas y procesos tales como tectonismo, vulcanismo, erosión, sedimentación, etc.

3.2.2 Métodos de análisis granulométrico.

Comprende dos clases de ensayos: El de tamizado para las partículas grueso – granulares (gravas, arenas) y el de sedimentación para la fracción fina del suelo (limos, arcillas), pues no son discriminables por tamizado.

3.2.2.1 Método del tamizado.

Una vez se pasa el suelo por la estufa y se pulverice, se hace pasar por una serie organizada de tamices, de agujeros con tamaños decrecientes y conocidos, desde arriba hacia abajo. El primer tamiz, es el de mayor tamaño y es donde inicia el tamizado. Se tapa con el fin de evitar pérdidas de finos; el último tamiz está abajo y descansa sobre un recipiente de forma igual a uno de los tamices, y recibe el material más fino no retenido por ningún tamiz.

Con sacudidas horizontales y golpes verticales, mecánicos o manuales, se hace pasar el suelo por la serie de tamices, de arriba abajo, para luego pesar por separado el suelo retenido en cada malla.

Métodos de sedimentación: Son dos, el método del hidrómetro y el método de la pipeta. Ambos basados en las características de la sedimentación de las partículas del suelo en un medio acuoso. Se aplican, tales métodos, al “suelo fino”, es decir, al que ha quedado en el fondo de los tamices y que se denomina “pasa – 200”, material constituido por limos y arcillas.

3.2.2.2 Método del hidrómetro.

Se toma una probeta con agua, se mete suelo, se agita hasta que sea uniforme la suspensión; luego se deja en reposo para ir midiendo, con hidrómetro (para distintos tiempos transcurridos), la densidad de la suspensión, la que disminuye a medida que las partículas se asientan. La profundidad del densímetro, variable con la densidad de la suspensión (ARQUÍMEDES), es la base para calcular esa distribución de tamaños de granos finos que pasa la malla o tamiz # 200, con $\phi = 0,074$ mm. El sistema se calcula con “La Ley de Sotkes”, donde:

$$v = g * D^2 \frac{r_S - r_F}{18n} \quad \left(N \approx 100,51D^2 \right) \quad (3.1)$$

mm cm/sg

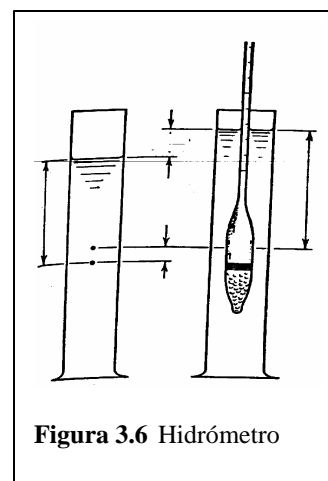


Figura 3.6 Hidrómetro

v = velocidad en cm/seg = constante
 n = viscosidad en Poises = gr/cm sg
 g = gravedad en cm/seg²
 ρ_s, ρ_F = densidades de los sólidos y la suspensión en gr/cm³
 D = diámetro de una esferita (diámetro equivalente) en cm.

De la expresión

Con la expresión 3.1 se obtiene la del diámetro equivalente D :

$$D = \sqrt{\frac{18n * v}{g(r_s - r_F)}} = \sqrt{\frac{18n * v}{g_s - g_F}} = \sqrt{B * v} = \sqrt{B \frac{H}{t}} \quad (3.2)$$

Puesto que la viscosidad n y el peso unitario del fluido ($\gamma_F = \delta_F * g$) cambian con la temperatura T , habría de calcularse B . $B = f(T, \gamma_s)$. En 3.2, la velocidad v es H sobre t ($v = H/t$).

El número N de partículas con $\phi > D$, usado en la curva granulométrica, se calcula con la profundidad H del centro del hidrómetro, la que dependerá de la densidad de la suspensión.

La fórmula 3.1 es valida sí $0,2\mu \leq D \leq 0,2\text{mm}$ (sólo limos).

$$\text{Entonces: } N = \frac{G_s (g_F - g_W)}{W_s (G_s - 1)} V * 100 \quad (\% \text{ de partículas con } f < D = \sqrt{B * v})$$

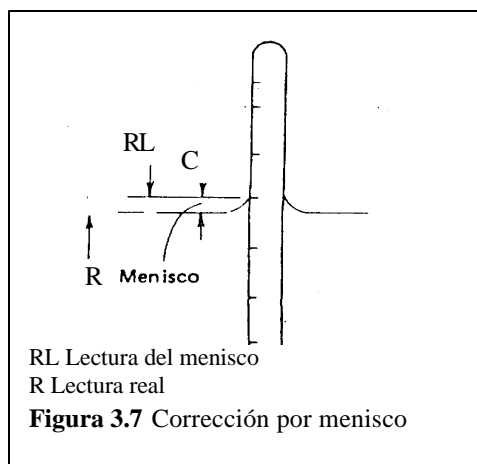
donde G_s gravedad específica de los sólidos, V volumen de la suspensión, W_s peso de los sólidos de la suspensión, γ_F peso unitario de la suspensión a la profundidad H , γ_w peso unitario del agua.

Toda esta situación alude a medidas hechas sucesivamente, después de transcurrido un tiempo t , en el que, a la profundidad H , no existen partículas con diámetro equivalente mayor que D , dado que ellas se han sedimentado (en minutos, horas y días).

3.2.2.3 Método de la pipeta.

A diferencia del anterior, aquí se deja constante el valor de H . También se parte de una suspensión agua – suelo, uniforme en el instante inicial, y que con el tiempo se modifica, dado que las partículas de mayor diámetro se precipitan a mayor velocidad, con fundamento en la Ley de Stokes. A distintos tiempos, desde el inicio, se toman muestras de la suspensión, a una misma profundidad predeterminada (H_0).

De cada muestra obtenida, se determina el peso de los sólidos, contenido por unidad de volumen de la suspensión, lo que constituye la base para el cálculo de la distribución (en proporción) de los tamaños de las partículas finas.



Menisco: El agua turbia no deja leer la base del menisco con el hidrómetro. (figuras 3.7)
 Se lee R_L y la corrección será $c = R_L - R_{REAL}$, luego $R_{REAL} = R_L - c$ (corregido).

3.3 Curva granulométrica.

Los resultados de los ensayos de tamizado y sedimentación se llevan a un gráfico llamado curva granulométrica.

La fracción gruesa tendrá denominaciones, según el sistema:

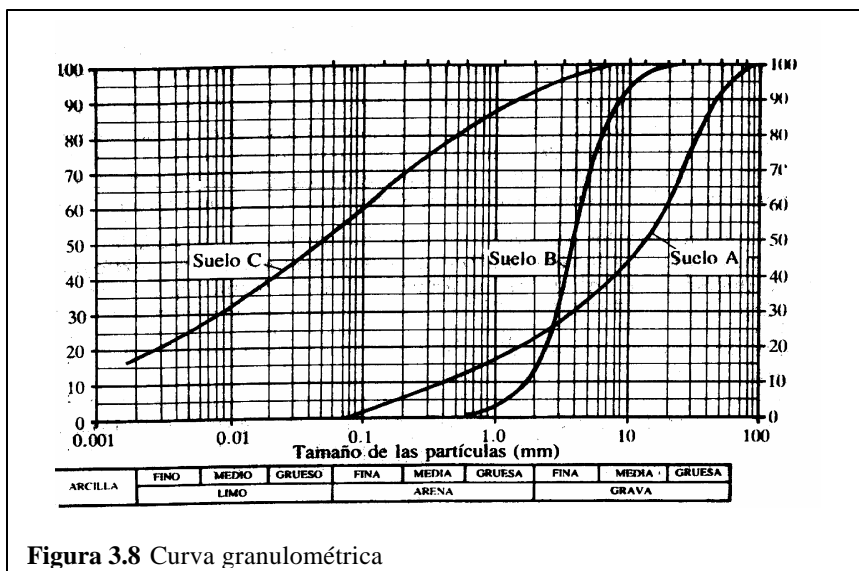
| | BRITÁNICO ₁ | AASHTO ₂ | ASTM ₃ | SUCS ₄ |
|---------|-------------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | ϕ (mm) | ϕ (mm) | ϕ (mm) | ϕ (mm) |
| Grava | 60 – 2 | 75 – 2 | > 2 | 75 – 4,75 |
| Arena | 2 – 0,06 | 2 – 0,05 | 2 – 0,075 | 4,75 – 0,075 |
| Limo | 0,06 – 0,002 | 0,05 – 0,002 | 0,075 – 0,005 | < 0,075 FINOS |
| Arcilla | < 0,002 | < 0,002 | < 0,005 | |

- 4: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos
- 3: American Society for Testing and Materials
- 2: American Association of State Highway and Transportatio Official
- 1: B S – 5930: 1981

Para los suelos grueso – granulares, el diámetro equivalente está referido al agujero cuadrado de la malla. Para los finos, al diámetro de una esfera.

La curva se dibuja en papel semilogarítmico. Con la escala aritmética (ordenadas) los porcentajes en peso de partículas con $\phi <$ que cada uno de los lados de las abscisas. En escala logarítmica (abscisas) los tamaños de los granos en milímetros. Esta escala, en razón de que los ϕ varían de cm a μ m.

Esta clasificación es necesaria en geotecnia, pero no suficiente. Se complementa siempre la granulometría con el ensayo de Límites de Atterberg, que caracterizan la plasticidad y consistencia de los finos en función del contenido de humedad.



La curva A: Suelo bien gradado y de grano grueso.
 B: mal gradado, poco uniforme (curva parada sin extensión)
 C: Suelo arcilloso o limoso (fino)
 T4 y T200 = Tamices o mallas

Figura 3.8 Curva granulométrica

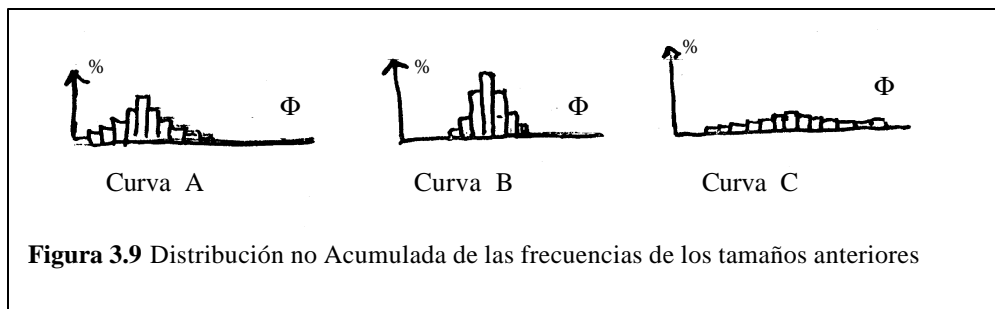


Figura 3.9 Distribución no Acumulada de las frecuencias de los tamaños anteriores

3.4 Descripción de la gradación.

La forma de la curva de distribución de tamaños de partículas, indica si los tamaños varían en un rango amplio (curva C) o estrecho (curva B); si el rango tiende a los tamaños mayores del suelo grueso (A) o a los menores del suelo fino (C). Si todos los tamaños tienen proporciones en peso relativamente iguales, el rango es amplio y la curva suave, el suelo así será bien gradado (A y C). La mala gradación puede ser por falta de extensión (B) o por discontinuidad.

En suelos granulares la gradación, expresada numéricamente, la da el coeficiente de uniformidad Cu con el coeficiente de curvatura Cc.

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}; Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}} \Rightarrow \text{bien gradado cuando } \begin{cases} Cu > 4 \text{ a } 6 \\ 1 < Cc < 3 \end{cases}$$

Cuanto más alto sea Cu, mayor será el rango de tamaños del suelo. Los Di; i = 10, 30, 60 son los tamaños φ de las partículas, para el cual el i% del material es más fino que ese tamaño.

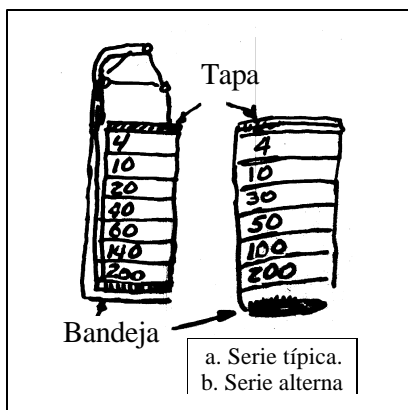
Ejercicio 3.1

Calificar las curvas anteriores, calculando los coeficientes Cu y Cc.

| CURVA | D ₁₀ | D ₆₀ | D ₃₀ | | Cu | Cc | Observación |
|-------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------|------------|-----|-------------------------|
| A | 0,4 | 20 | 4,0 | 67%>T#4 | 50,0 | 2,0 | Grava bien gradada |
| B | 1,8 | 4,4 | 2,9 | 67%<T#4 | 2,40 | 1,1 | Arena mal gradada |
| C | 0,001 | 0,14 | 0,009 | 55%>T#200 | NO PROCEDE | | Suelo fino, ver límites |
| D | 0,005 | 0,20 | 0,012 | 60%>T#200 | NO PROCEDE | | Suelo fino, ver límites |

SUCS: Gravas: Cu > 4; arenas: Cu > 6; T4 = 4,75mm; T200 = 0,075mm

Tamices. Este es el rango de tamices, según el ASTM:



| Designación | φ abertura | Designación | f abertura |
|--------------|------------|-------------|------------|
| 3 pulgadas | 75 mm | Nº 16 | 1180 μ |
| 2 pulgadas | 50 mm | Nº 20 | 850 μ |
| 1 ½ pulgadas | 37,5 mm | Nº 30 | 600 μ |
| 1 pulgada | 25 mm | Nº 40 | 425 μ |
| ¾ pulgada | 19 mm | Nº 50 | 300 μ |
| ⅜ pulgada | 9,5 mm | Nº 60 | 250 μ |
| Nº 4 | 4,75 mm | Nº 100 | 150 μ |
| Nº 8 | 2,36 mm | Nº 140 | 106 μ |
| Nº 10 | 2 mm | Nº 200 | 75 μ |

Ejercicio 3.2

Dados los pesos retenidos, dibuje la curva de la arena dada.

| TAMIZ | φ mm | W retenido | % retenido | % que pasa |
|---------|-------|------------|------------|------------|
| 4 | 4,75 | 9,7 | 1,9 | 98,1 |
| 10 | 2,00 | 39,5 | 7,9 | 90,2 |
| 20 | 0,840 | 71,6 | 14,3 | 75,9 |
| 40 | 0,425 | 129,1 | 25,8 | 50,1 |
| 60 | 0,250 | 107,4 | 21,5 | 28,6 |
| 150 | 0,150 | 105,0 | 21,0 | 7,6 |
| 200 | 0,075 | 8,5 | 1,8 | 5,9 |
| Bandeja | | 1,3 | X | |
| | | 472,1 gr | 94,1% | |

Muestra seca 500 gr; pérdida por lavado, 28 gr; total = 472 gr ≈ 472,1 ≡ 94,4%.

Porcentaje retenido en el T4 = $(9,7/500) \cdot 100 = 1,9 \%$; porcentaje que pasa = $100 - 1,9 = 91,8 \%$

Explicación

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{0,53}{0,15} = 3,5$$

$$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \cdot D_{60}} = \frac{0,26^2}{0,15 \cdot 0,53} = 0,85$$

} Pobremente gradada y es arena. (% que pasa T4 > 50 %)
 } Es fina (gran % entre T10 - T40. Es limpia (% pasa 200 < 5%).
 } Esto según SUCS

Ejercicio 3.3

Se tienen dos materiales α, β que no llenan los requerimientos del constructor. Se aprecia que, para llenarlos, el material α puede aportar los gruesos y β los finos requeridos, si se mezclan. Obtenga una solución que satisfaga las especificaciones dadas en el proyecto.

Solución.

La "fórmula básica" para mezclar dos materiales es $P = aA + bB$ I

Siendo: P = % de la mezcla que pasa por un tamiz dado.

A, B = % de α y β que pasan por un tamiz dado.

a, b = % en que α y β entran en la combinación.

Así: ----- a + b = 1,0

Luego, llevando II a I

$$P = (1-b)A + bB$$

$$P - A = b(B - A)$$

II

o sea:

de donde

$$b = \frac{P - A}{B - A}$$

Y similarmente

$$a = \frac{P - B}{A - B}$$

III

| Malla | $\frac{3}{4}''$ | $\frac{1}{2}''$ | $\frac{3}{8}''$ | T4 | T8 | T30 | T50 | T100 | T200 | |
|----------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|
| Especificación | 100 | $\frac{80}{100}$ | $\frac{70}{90}$ | $\frac{50}{70}$ | $\frac{35}{50}$ | $\frac{18}{29}$ | $\frac{13}{23}$ | $\frac{8}{16}$ | $\frac{4}{10}$ | Del constructor |
| α | 100 | 90 | 59 | 16 | 3,2 | 1,1 | 0 | 0 | 0 | } Disponible |
| β | 100 | 100 | 100 | 96 | 82 | 51 | 36 | 21 | 9,2 | |

Obsérvese que el material α aporta gruesos y el β finos.

Escogemos cualquier tamiz (por ejemplo el 8) y un valor P en el rango de las especificaciones (el promedio, $P_8 = (35+50)/2 = 42,5\%$)

Siendo $A = 3,2\%$; $B = 82\%$, con $III a = 0,5$; $b = 0,5$. Entonces:

| Malla | $\frac{3}{4}''$ | $\frac{1}{2}''$ | $\frac{3}{8}''$ | T4 | T8 | T30 | T50 | T100 | T200 | |
|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------|-----------|------------|------------|-------------|-------------|----------------|
| $0,5 * \alpha$ | 50 | 45 | 29,5 | 8 | 1,6 | 0,6 | 0 | 0 | 0 | } Para mezclar |
| $0,5 * \beta$ | 50 | 50 | 50 | 48 | 41 | 25 | 18 | 10,5 | 4,6 | |
| Total | 100 | 95 | 79,5 | 56 | 42,6 | 25,6 | 18 | 10,5 | 4,6 | } Mezclado |

Obsérvese que el nuevo material cumple con lo especificado.

**Ir a la página
principal**