

Unidad de Aprendizaje N°2:

Propiedades Índices de los Suelos.

Aprendizajes Esperados

1. *Evalúa las propiedades índices de los suelos, de acuerdo a su composición.*

1. Objetivos.

El objetivo de este taller consiste en determinar las propiedades índices de los suelos

2. ANTECEDENTES GENERALES

Los Suelos.

Suelo: Es el conjunto de partículas de diferentes tamaños, forma y composición formados por la meteorización de la roca basal.

La meteorización consiste en el proceso de desintegración de las rocas de la corteza terrestre a través de 4500 millones de años.

El proceso de meteorización incluye la desintegración física y química mediante los procesos de:

Físico:

- Abrasión.
- Erosión.
- Exfoliación.
- Cambios de temperatura.
- Cambios de presión.
- Actividad orgánica.

Químico:

- Oxidación.
- Soluciones.
- Lixiviación.
- Hidrólisis.

De acuerdo a su origen, formación, tamaño de las partículas o comportamiento los suelos se pueden clasificar, pero su conocimiento solo se puede determinar a través de los estudios de forma que su comportamiento no se puede predecir a través de esquemas analíticos.

Desde el punto de vista de su origen los suelos se clasifican en:

- **Residuales.** Son suelos que han sufrido transformación pero que han permanecido en el lugar de origen.
- **Transportados:** Son suelos que se han transformado y han sido transportados a otras zonas.

De acuerdo al tamaño de las partículas los suelos se clasifican en:

- **Granulares:** Están compuestos de partículas de grava y arena, son suelos estables cuando se encuentran confinados, no presentan cohesión debido al gran tamaño de las partículas, son suelos permeables y entre las partículas actúan fuerzas gravitacionales producto del peso.
- **Cohesivos:** Compuestos en su mayoría por partículas de limo y arcillas, que son partículas extremadamente finas, sujetas a fuerzas de tipo eléctrico y molecular(arcillas), fundamentalmente superficiales, tienen una mayor resistencia al corte debido a la atracción mutua de sus partículas(cohesión).

El comportamiento de un suelo esta en dependencia de sus características y propiedades:

Características:

Son aquellos atributos que permiten identificar y describir un suelo y que contribuyen a un mejor conocimiento de él, pero que no dan una medida directa de su comportamiento.

Propiedades:

Son los atributos que permiten predecir de que forma reaccionará el suelo bajo determinadas solicitaciones.

Entre las características del suelo encontramos.

- Textura o gradación.
- Estructura.
- Propiedades índices.
- Superficie específica.
- Composición química.

Entre las propiedades del suelo encontramos.

- Cohesión.
- Estabilidad y fricción interna.
- Compresibilidad.
- Permeabilidad y capilaridad.
- Capacidad de soporte.
- Resistencia a la degradación.

Textura o gradación.

Es una característica que dice relación al tamaño de las partículas que componen una masa de suelo, de acuerdo al tamaño de las partículas podemos clasificar los suelos.

Existen diferentes sistemas de clasificación de suelos de acuerdo al tamaño de las partículas:

- Sistema AASHTO.
- Sistema ASTM.
- Sistema Unificado.
- Sistema Británico.

La textura o tamaño de las partículas se determinan a través del ensayo de granulometría para partículas mayores a 0,075 mm los limos y las arcillas se determinan por ensayo de sedimentación.

Estructura.

Se refiere a la forma en que están dispuestas las partículas en una masa de suelo.

- Estructura de adobe. Masa de suelo que presenta grietas de contracción grandes y profundas, formando bloques aproximadamente cúbicos.
- Estructura de panal. Masa de suelo con grietas finas que forman figuras reticulares de cinco o seis lados.

- Estructura vesicular. Suelo fino que contiene cavidades redondeadas y suaves en su pared interior.
- Estructura de migajón. Masa de suelo poroso formado por partículas de forma irregular.
- Estructura densa. Suelo con escasos poros o ausencia de grietas.
- Estructura laminar o estratificada. Masa de suelo formada por capas en horizontes de pequeño espesor.
- Estructura toscosa. Suelos que presenta un alto grado de cementación.
- Estructura columnar. Arreglo natural de la masa de suelo formando columnas más o menos regulares, más altas que anchas, separadas por grietas verticales y horizontales.
- Estructura simple granular. Suelo granular, sin cohesión ni arreglo especial de sus partículas, generalmente de textura gruesa.
- Estructura conglomerada. Suelo granular con finos cohesivos, generalmente de textura integral. (Grava, arena y finos).

Propiedades índices.

Establecen las relaciones de peso y volumen entre las tres fases que componen el suelo: sólido, agua y aire.

- Saturación.
- Contenido de humedad.
- Densidad.
- Peso específico.
- Contenido de poros.
- Contenido de vacíos.
- Contenido de aire.

Superficie específica.

Establece la relación entre el área superficial o envolvente de las partículas de suelo y el volumen de las partículas de suelo.

Composición química. Esta en dependencia del proceso de formación y transformación de las partículas de suelo.

Propiedades:

Cohesión: Es la propiedad básica de un suelo fino de ofrecer resistencia a cambiar de forma, debido a la ligazón de las partículas, la cohesión determina la resistencia al corte de las masas de suelo.

Estabilidad interna. Es la propiedad básica de los suelos de ofrecer resistencia al desplazamiento debido al soporte mutuo de sus partículas. Su grado se mide a través del ángulo de transmisión de presiones y se determina a través del ensayo triaxial o de pruebas de carga.

Fricción interna. Se define como la resistencia al desplazamiento producida por la interferencia de las partículas en un plano de falla, en la cual la resistencia al corte es directamente proporcional a la presión normal.

Compresibilidad: Disminución de volumen que experimenta el suelo al aplicar una presión sobre él.

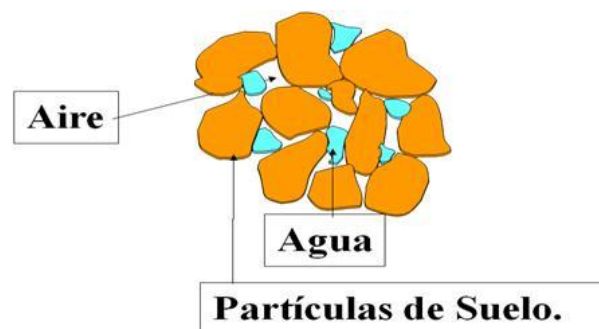
Permeabilidad. Es la propiedad de un suelo de permitir el paso de un fluido a través de él.

Capacidad de soporte: establece el comportamiento de una masa de suelo ante determinadas sollicitaciones, lo cual no depende solo del tipo de suelo sino de su estado.

Resistencia a la degradación. Resistencia del suelo ante los procesos de desintegración y descomposición que sufren las partículas por la acción del clima, la compactación, el tráfico etc.

PROPIEDADES ÍNDICES

El suelo en estado natural, es un material en 3 fases. Para describir sus características, es necesario analizar sus propiedades físicas, las cuales permiten diferenciar suelos de una misma categoría, condiciones de su estado y su comportamiento físico. Estas relaciones son:





Volumen total del elemento	V_T	Masa total del elemento.	M_T
Volumen de sólidos.	V_s	Masa de sólidos.	M_s
Volumen de vacíos.	V_v	Masa de vacíos.	M_v
Volumen de agua intersticial.	V_w	Masa de agua intersticial.	M_w
Volumen de aire en los poros.	V_a	La masa de aire en los poros se supone igual a cero.	$M_a=0$

1. **Peso Unitario.**
2. **Peso Específico de los Sólidos.**
3. **Gravedad Específica:** El valor de ella depende de la composición mineralógica de las partículas que constituyen el suelo. Para gravas, arenas y limos, su valor es del orden de 2,65 mientras que para arcillas varía entre 2,6 y 2,7.
4. **Humedad:** el valor para el contenido de humedad cuando la saturación es 100%, puede variar entre 15% y 30% para suelos granulares, 60% y 70% para arcillas y superar el 100% para suelos en presencia de materia orgánica, como la *turba*.
5. **Saturación.**
6. **Porosidad:** en suelos granulares, la porosidad varía entre 36% y 48%, mientras que en las arcillas, es entre 35% y 83%.
7. **Índice de vacíos:** en suelos granulares, el índice de vacíos depende de la estructura del material, variando entre 0,35 y 0,91; el sólo conocimiento de la relación de vacíos, no entrega información suficiente para determinar si el suelo está en estado denso o suelto, lo cual se puede saber a través de la densidad relativa. En suelos cohesivos, la proporción de vacíos varía entre 0,55 y 5.
8. **Densidad Relativa:** valores bajos, indican que el suelo se encuentra en estado suelto (bajo el 60%), mientras que valores altos indican un suelo denso (sobre el 80%).

ESTRUCTURA DE LOS MINERALES DE ARCILLA

Los minerales de arcilla son producto de la erosión química, y están compuestos en su mayor parte por silicatos hidratados de aluminio, presentando gran afinidad por el agua.

Los minerales arcillosos se dividen en tres grupos principales:

1. **Caolinitas:** presentan baja absorción de agua, baja susceptibilidad a la retracción y a la expansividad al ser sometidas a variaciones de humedad.
2. **Illitas:** presentan mayor susceptibilidad a la retracción y a la expansividad producto de su mayor poder de absorción de agua.
3. **Monmorilonitas:** al tener una alta absorción de agua, presentan altas características de expansividad y retracción.

Cohesión y plasticidad de los suelos arcillosos

La **plasticidad**, es la *capacidad de experimentar deformaciones irreversibles sin romperse*, y se presenta en la mayor parte de suelos arcillosos con humedad media. Si un bloque de arcilla plástica se seca, pierde su plasticidad y se convierte en un sólido frágil con una resistencia que resulta de la cohesión (fuerzas electroquímicas presentes). Sin embargo, si el bloque se descompone en las partículas que lo constituyen, la cohesión se pierde y el material se vuelve polvo, pero si se mezcla con agua suficiente, la plasticidad y cohesión aparecen nuevamente.

La **cohesión** se debe principalmente a las *fuerzas electroquímicas que actúan entre las partículas*, mientras que la plasticidad se atribuye a la deformación de las capas de agua.

CARACTERÍSTICAS DE LAS PARTÍCULAS DE SUELO

1. Forma

Es una característica de los suelos granulares, la cual influye en la compacidad y estabilidad de la masa de suelo. Las formas pueden ser:

- (a) **Angular:** de poca o nula abrasión. Poseen bordes afilados y caras planas (arena residual, arena volcánica, arena marina)
- (b) **Subangular:** de abrasión moderada, cuyos vértices y aristas están redondeadas por el rodado y la abrasión mecánica.
- (c) **Subredondeadas:** de abrasión moderada, y de forma redondeada.

- (d) **Redondeada:** de abrasión intensa, son prácticamente esféricas (arena de río, formación de playa y arena eólica).

2. Tamaño

Esta característica es resultado de los procesos de meteorización (física o química) y de los efectos del transporte y posterior depositación de las partículas.

Las partículas se dividen en:

- (a) **Gravas:** agregado sin cohesión, no retienen agua por la inactividad de su superficie y los grandes vacíos entre las partículas.
- (b) **Arenas:** cuando se mezclan con agua, no se forman agregados continuos, sino que se separan de ella con facilidad.
- (c) **Limos:** partículas no plásticas. Retienen el agua mejor que los anteriores, y si se forma una pasta limo-agua y se coloca sobre la palma de la mano, se observa como ella exuda con facilidad al darle golpes.
- (d) **Arcillas:** grano plástico, cohesivo y de menor tamaño que los limos. Se trata de partículas tamaño gel, y se necesita que haya habido una transformación química para llegar a estos tamaños. Están formadas por minerales silicatados, constituidos por cadenas unidas por enlaces covalentes débiles, pudiendo entrar las moléculas de agua entre ellas, produciendo aumentos de volúmenes recuperables cuando el agua se evapora. Todo ello, hace que la capacidad de retención del agua sea grande, por lo que son generalmente los materiales más problemáticos (tiempos muy elevados de consolidación o de expulsión de agua bajo esfuerzos).

Los suelos granulares en general, son producidos por erosión física y a menudo, tienen la misma composición mineralógica que la roca madre, siendo su propiedad más importante, la distribución granulométrica.

Dentro de los suelos de grano fino, hay diferencias:

Factor	Limos	Arcillas
Origen	Erosión física (igual composición que la roca madre)	Erosión química (distinta composición que la roca madre)
Forma	Sólido tridimensional	Placas planas
Resistencia en estado seco	Baja a media	Alta o muy alta
Permeabilidad	Alta	Baja
Plasticidad	No presentan	En estado húmedo solamente
Dispersión	Menor tiempo	Mayor tiempo

(e) Composición mineralógica

En las arcillas, la gravedad es insignificante comparada con las fuerzas eléctricas. En este tipo de partículas, predomina el estado coloidal.

De este modo, su comportamiento está dominado por la actividad electroquímica, en la cual existe una carga negativa neta y son susceptibles a la acción del agua.

CARACTERÍSTICAS DE LA MASA DE SUELO

1. Textura

Se define como el grado de finura y uniformidad detectada con el tacto. Los limos son más ásperos que las arcillas.

2. Estructura

Es la disposición que adopta cada partícula dentro de la masa de suelo. Se distinguen 3 tipos de estructuras:

- (a) **Simple:** típica de suelos de grano grueso, en la cual la gravedad predomina sobre la disposición de las partículas.
- (b) **Floculada:** Típica de las arcillas. En este tipo de estructura predominan las fuerzas eléctricas, presentando gran estabilidad mientras exista atracción por los signos opuestos.
- (c) **Dispersa:** Típica de las arcillas. En esta estructura, se producen fuerzas de repulsión, formándose un estado más denso.

3. Consistencia

Tiene relación con el grado de adherencia y resistencia frente a cargas. En suelos cohesivos se expresa como **blanda, media, firme o dura**. En términos cuantitativos, la consistencia de un suelo cohesivo inalterado se puede expresar en función de su resistencia a la **compresión simple**. Una medida subjetiva es a través de los **Límites de Atterberg**.

4. Compacidad

Se define como el grado de densificación o compactación del suelo, variando de suelto a compacto.

5. Humedad

Es el contenido de agua presente en una masa de suelo.

Obtención de las Propiedades Índices.

- Gravedad específica de las partículas de suelo.
- Relación de vacíos.
- Relación de poros.
- Contenido de humedad.
- Grado de saturación.
- Contenido de aire.
- Densidad.
- Peso específico.
- Densidad relativa.

Gravedad Específica de las Partículas de Suelo (G_s).

- Se define como la relación entre la densidad de las partículas de arcilla y la densidad del agua.
- La densidad del agua a 4 °C es de 1 Kg/L.
- El valor de la gravedad específica depende de la composición mineralógica de las partículas que constituyen el suelo.

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

Valores Típicos de la Gravedad Específica de las Partículas Sólidas. (G_s)

TIPO DE SUELO	G_s
Grava, arena, limo	2,65
Arcilla inorgánica	2,70
Arcilla orgánica	2,60
Turba fibrosa	1,50

Relación o Índice de Vacíos (e).

- Representa la proporción de vacíos de un suelo.
- Se define como la relación entre el volumen de sólidos y el volumen de vacíos de un suelo.

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

Relación o Índice de Poros (n).

- Se define como la relación entre el volumen de las partículas sólidas y el volumen total del suelo.
- El índice de poros y de vacíos son adimensionales, y con frecuencia n se expresa en porcentaje, su valor no puede exceder del 100 %.

$$n = \frac{V_V}{V_T}$$

Contenido de Humedad (w).

- La proporción de agua presente en un elemento de suelo se expresa en términos del contenido de humedad, w.
- Se define como la relación entre la masa de agua del elemento y la masa de las partículas sólidas.

$$W = \frac{m_w}{m_s} \cdot 100\% = \frac{(m_H - m_s)}{m_s} \cdot 100\%$$

Grado de Saturación (Sr).

- Permite expresar la relación de vacíos ocupada por el agua.
- Se define como la relación porcentual del volumen de agua del elemento y el volumen de espacios vacíos.
- Su valor si el elemento está saturado de agua es 100 % y si el suelo está seco es 0 %.

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \cdot 100\%$$

Contenido de Aire (Ar).

- Expresa la proporción de aire presente en un elemento de suelo y ,
- Se define como la relación entre el volumen de aire y el volumen total del elemento de suelo.

$$A_r = \frac{V_A}{V_T} \cdot 100\%$$

Densidad aparente de un elemento de Suelo (ρ).

- Se define como la relación entre la masa del suelo y el volumen que ocupa.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Peso Específico o Peso Unitario (γ).

- El peso unitario puede expresarse como una alternativa al uso de la densidad.
- Se define como el peso por unidad de volumen, y puede obtenerse multiplicando la densidad por la aceleración de la gravedad.
- La aceleración de la gravedad es igual a $9,81 \text{ m/s}^2$.
- $1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$

$$\gamma = \frac{W}{V} = \rho \cdot g$$

Densidad Relativa (DR).

- Cuando el conocimiento de la relación de vacíos de un suelo en su estado natural no proporciona en sí misma una información suficiente para establecer si el suelo se encuentra en su estado suelto o denso, esta información se puede obtener sólo si la relación e de vacíos in situ se compara con la relación de vacíos máxima y mínima que puedan obtenerse con ese suelo.
- Esta relación puede expresarse como Densidad Relativa.

$$DR = \frac{e_{\text{máx}} - e}{e_{\text{máx}} - e_{\text{mín}}}$$

3. EJERCICIO RESUELTO

En un ensayo de una muestra de suelo se obtuvieron los siguientes resultados:

- Masa húmeda 1385 gr.
- Masa seca 1142 gr.
- Volumen total de la muestra de suelo 763 cm³.
- La gravedad específica de las partículas de suelo es 2,73.
- Determinar las propiedades índices de la muestra de suelo.

Densidad Húmeda.

- Como tenemos de dato la masa húmeda de la muestra de suelo y el volumen total de la misma podemos calcular directamente la densidad húmeda de la muestra de suelo.

$$\rho_H = \frac{m_H}{V_T} = \frac{1385 \text{ gr}}{763 \text{ cm}^3} = 1,82 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} = 1,82 \frac{\text{Kg}}{\text{L}}$$

Densidad Seca.

- Como tenemos de dato la masa seca de la muestra de suelo y su volumen total, podemos calcular directamente la densidad seca de la muestra de suelo.

$$\rho_S = \frac{m_S}{V_T} = \frac{1142 \text{ gr}}{763 \text{ cm}^3} = 1,5 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} = 1,5 \frac{\text{Kg}}{\text{L}}$$

Densidad de las Partículas Sólidas.

- La densidad de las partículas sólidas es la relación entre la masa de las partículas sólidas y el volumen de las partículas sólidas, que corresponden, a la masa seca de la muestra de suelo y al volumen seco de la muestra de suelo.
- Como no conocemos el volumen seco de la muestra de suelo, no podemos calcular la densidad de las partículas sólidas.

- Pero conocemos que la gravedad específica de las partículas de suelo, es la relación entre la densidad de las partículas sólidas y la densidad del agua.

$$G_S = \frac{\rho_{sol}}{\rho_w} \longrightarrow \rho_{sol} = G_S \cdot \rho_w$$

$$\rho_{sol} = G_S \cdot \rho_w = 2,73 \cdot 1 \frac{gr}{cm^3} = 2,73 \frac{gr}{cm^3}$$

Densidad de las Partículas Sólidas.

- Ahora podemos calcular el volumen de las partículas sólidas ya que conocemos la densidad de las partículas sólidas y su masa.

$$\rho_{sol} = \frac{m_s}{V_s} \longrightarrow V_s = \frac{m_s}{\rho_{sol}} = \frac{1142 gr}{2,73 \frac{gr}{cm^3}} = 418 cm^3$$

Índice de vacíos y de Poros.

- Como ya conocemos el volumen seco y húmedo del suelo, y además podemos calcular el volumen de agua, podemos determinar el índice de poros y de vacíos.

$$V_T = V_H = 763 cm^3$$

$$\rho_w = \frac{m_w}{V_w}$$

$$V_S = 418 cm^3$$

$$V_w = \frac{m_w}{\rho_w} = \frac{243 gr}{1 \frac{gr}{cm^3}}$$

$$m_w = m_H - m_S$$

$$m_w = 1385 gr - 1142 gr$$

$$V_w = 243 cm^3$$

$$m_w = 243 gr$$

Índice de Poros y de Vacíos.

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

$$n = \frac{V_V}{V_T}$$

$$e = \frac{V_T - V_S}{V_S} = \frac{763\text{cm}^3 - 418\text{cm}^3}{418\text{cm}^3}$$

$$n = \frac{345\text{cm}^3}{763\text{cm}^3}$$

$$e = 0,83$$

$$n = 0,45$$

Contenido de Humedad.

$$W = \frac{m_w}{m_s} \cdot 100\% = \frac{243\text{gr}}{1142\text{gr}} \cdot 100\%$$

$$W = 21,3\%$$

Grado de Saturación.

$$S_r = \frac{V_w}{V_V} \cdot 100\%$$

$$S_r = \frac{243\text{cm}^3}{345\text{cm}^3} \cdot 100\%$$

$$S_r = 70,4\%$$

Contenido de Aire.

$$A_r = \frac{V_A}{V_T} \cdot 100\%$$

$$A_r = \frac{V_v - V_w}{V_T} \cdot 100\%$$

$$A_r = \frac{345\text{cm}^3 - 243\text{cm}^3}{763\text{cm}^3} \cdot 100\%$$

$$A_r = 13,4\%$$

4. EJERCICIOS PROPUESTOS.

a) Una muestra de suelo pesa en estado húmedo 1385 gr, y en estado seco 1112 gr. Si su volumen es de 751 cm³ y la gravedad específica de las partículas sólidas es 2,69, calcule las propiedades índices del suelo.

b) Una muestra de arcilla de longitud 122 mm y diámetro de 95 mm. La muestra tiene una masa en estado húmedo de 1487 gr y 1210 gr en estado seco.

Si la gravedad específica de las partículas de suelo es de 2,75.

Determine las propiedades índices del suelo.

5. INSUMOS.

Materiales.	Unidad.	Cantidad.	# Alumnos.
Papel Carta.	resma	0,25	20

6. EQUIPAMIENTO.

Equipos.	CANTIDAD	N° MAX ALUMNOS
Data Show.	1	20
Computador	1	20

7. BIBLIOGRAFÍA.

- Delgado V, Manuel Ingeniería de Cimentaciones México, Alfa Omega Editorial, 1998
- Bowles E, Joseph Manual de Laboratorio de Suelos e Ingeniería Civil México, Editorial Mc Graw-hill ,1985
- Guzmán Euclides Manual de edificación Santiago, Editorial Universitaria , 1995
- Berry, Peter. Y Reid, David Mecánica de Suelos. Colombia, Editorial Mc Graw-Hill, 1993.
- Terzaghi, Karl. Mecánica de suelos en la Ingeniería Práctica. Barcelona, Editorial “El Ateneo”, 1980.
- M.O.P. Especificaciones y métodos de muestreo y ensayo de la dirección de vialidad.