



ESCUELA SUPERIOR TÉCNICA SENCICO

MONOGRAFÍA

“PROPIEDADES INDICES DE UN SUELO, OBTENER
MEDIANTE UN ENSAYO DE LABORATORIO EL CONTENIDO
DE HUMEDAD Y LA GRAVEDAD ESPECIFICA DE UNA
MUESTRA DE SUELO”

Para acceder al Título de
TÉCNICO EN EDIFICACIONES Y OBRAS CIVILES

Egresado:

LÓPEZ VIGO, Danny Yovann

Sede de Estudios:

Av. De la Poesía N° 351, San Borja

Carrera:

Edificaciones y Obras Civiles

Código:

S46885905

Fecha de egresado:

2022 – II

Lima – Perú

2023

DEDICATORIA

Este trabajo monográfico de grado técnico, quiero dedicarlo especialmente a mis abuelitos, por el apoyo incondicional que me brindaron desde niño.

“En especial a mi abuelita que está en el cielo, quién desde niño me enseñó los valores, sobre todo me enseñó a ser una mejor persona”.

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	1
2	OBJETIVOS	2
3	JUSTIFICACIÓN.....	2
4	DESARROLLO O CONTENIDO	2
4.1	¿Qué es el suelo?	2
4.2	Origen del Suelo	2
4.3	Ciclo de las rocas	3
4.4	¿Qué es mecánica de suelos?	3
4.5	Agentes generadores de suelos	4
4.5.1	Intemperismo mecánico	4
4.5.2	Intemperismo químico	5
4.6	Principales tipos de suelos según su origen.....	5
4.6.1	Suelos Residuales	5
4.6.2	Suelos Transportados.....	5
4.7	Clasificación de los depósitos sedimentarios.....	5
4.7.1	Depósitos coluviales	6
4.7.2	Depósitos aluviales.....	6
4.7.3	Depósitos eólicos.....	6
4.7.4	Depósitos fluviales	6
4.7.5	Depósitos glaciares o morrenas	6
4.8	Clasificación de los suelos según el tamaño de sus partículas.....	7
4.8.1	Granulares	7
4.8.2	Cohesivos.....	7
4.8.3	Suelos orgánicos.....	8
4.9	El comportamiento de un suelo depende de sus características y propiedades.....	8
4.9.1	Características del suelo.....	8
4.9.2	Textura o gradación.....	8
4.10	Estructura.....	9
4.11	Propiedades del suelo	9
4.11.1	Cohesión:.....	9
4.11.2	Estabilidad y fricción interna:.....	9
4.11.3	Compresibilidad:	9
4.11.4	Permeabilidad y capilaridad:.....	9
4.11.5	Capacidad de soporte:.....	10
4.11.6	Resistencia a la degradación:	10

4.12	Textura o gradación.	10
4.13	Estructura.	10
4.14	Tamaño de las partículas del suelo	10
4.15	Propiedades índice del suelo.....	12
4.16	Fases de los suelos parcialmente saturados	14
4.17	Propiedades Índice de los Suelos.	16
4.17.1	Volúmenes.....	16
4.18	Relaciones Volumétricas y Gravimétricas	16
4.18.1	Peso Específico (γ)	16
4.18.2	Densidad (ρ)	16
4.18.3	Peso específico del agua (γ_w).....	16
4.18.4	Peso específico de la masa de suelo (γ_m)	17
4.18.5	Peso específico de sólidos ($\gamma_s = G_s$)	17
4.18.6	Peso específico saturado ($\gamma_{sat.}$)	17
4.18.7	Peso específico seco (W_s)	17
4.18.8	Peso específico relativo de la masa del suelo (G_m)	18
4.18.9	Peso específico relativo de los sólidos del suelo (Gravedad Específica) (G_s).....	18
4.19	Relaciones Fundamentales.....	18
4.19.1	Contenido de humedad ($\omega\%$).....	18
4.19.2	Relación de vacíos (e).....	18
4.19.3	Porosidad ($n\%$)	19
4.19.4	Grado de saturación ($S\%$).....	19
4.20	Humedad del suelo	20
4.20.1	Métodos de ensayo normalizados para la determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de suelos y rocas por masa ASTM D2216-19	21
4.20.2	Procedimiento para realizar el ensayo de contenido de humedad en una muestra de suelos	23
4.21	Gravedad Específica los sólidos (G_s):.....	25
4.21.1	Métodos de prueba estándar para la gravedad específica de los sólidos del suelo mediante picnómetro de agua ASTM D854.....	26
4.21.2	Procedimiento para realizar el ensayo de gravedad específica de los sólidos del suelo	27
5	REFERENCIAS.....	31
6	APÉNDICES	32
7	ANEXOS	33
8	CONCLUSIONES	37

Índice de Figuras

Índice de Figuras	5
Fig. N° 1 – Ciclo de las rocas	3
Fig. N° 2 – Ubicación de suelo residual y suelo coluvial	7
Fig. N° 3 – Tamaño de partículas para la clasificación de suelos	11
Fig. N° 3 – Composición del suelo	15
Fig. N° 4 - Fases de un suelo parcialmente saturado (Yoshimi & Osterberg, 1963)	15
Fig. N° 5 - Representación de un suelo parcialmente saturado constituido por cuatro fases (Fredlund, D. G.; Rahardjo, H. & Fredlund M. D., 2012).	19
Fig. N° 6 - Clasificación de los suelos parcialmente saturados en relación con su origen (López Acosta & Auvinet Guichard, 2012)	20
Fig. N° 7 - Poros, espacio aéreo y agua del suelo en situaciones de saturación, capacidad de campo y seco.....	20
Fig. N° 12 – Colocado de las muestras en el horno.....	24
Fig. N° 14 - Ensayo de Gravedad específica del Suelo.....	26
Fig. N° 15 – Secado de la muestra de suelo en el horno.....	27
Fig. N° 16 – Muestra húmeda para realizar el ensayo de Gs	28
Fig. N° 17 – Muestra de suelo dentro de la fiola.....	28
Fig. N° 18 – Extracción de las burbujas de aire con la bomba de vacíos.....	29
Fig. N° 19 – Aforado hasta el nivel de calibración de la fiola	29
Fig. N° 20 – Registro de la masa de agua, fiola y muestra	30
Fig. N° 21 - Procedimiento del ensayo de Gravedad Específica del suelo	30
Fig. N° 22, 23 - Realización de calicatas	33
Fig. N° 24: Horno de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$	34
Fig. N° 26: Fases de un suelo.....	35

1 INTRODUCCIÓN

El suelo es el material de construcción más abundante dentro de las prácticas de la ingeniería Civil, y constituye el soporte de las estructuras como edificaciones, vías, puentes, canales, torres, entre otros, la mecánica de suelos brinda las herramientas que permiten la solución a muchos problemas de la ingeniería de suelos, la relación de fases permite conocer los pesos y volúmenes de los suelos y sus variaciones cuando cambia su humedad; la clasificación de los suelos se soporta en los laboratorios de granulometría y plasticidad, donde se identifican las propiedades de los suelos granulares, dependiendo de la cantidad y frecuencia de los tamaños de los granos que conforman el suelo o las cualidades de los suelos finos por la plasticidad que exponen sus partículas finas. El suelo presenta propiedades físicas, dentro de estas tenemos a: las propiedades índice, propiedades mecánicas y propiedades hidráulicas.

Las propiedades índices se determinan en forma siempre, rápida y económica; no se requiere de instalaciones costosas, y con pocas excepciones, se determinan en muestras alteradas. Estas propiedades sirven para encuadrar a los suelos, las cuales permiten clasificar el material y hacerlo de manera unificada para que se entienda entre todos los profesionales. El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (Clasificación SUCS), es determinada a partir de ensayos de laboratorio, estos se conocen como ensayos de clasificación. Por otro lado, la propiedad índice, establecen las relaciones de masa y volumen entre las tres fases que componen el suelo: fase sólida, fase líquida, fase gaseosa.

Las propiedades índice pueden usarse en seleccionar la ubicación más apropiada para desarrollar un proyecto

La estimación preliminar de las propiedades mecánicas de los suelos en un determinado lugar

La identificación de las zonas con condiciones más desfavorables en un lugar del proyecto

2 OBJETIVOS

Determinar las propiedades índices de un suelo

Obtener mediante ensayos de laboratorio el contenido de humedad y la gravedad específica de una muestra de suelo

3 JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo monográfico, está elaborado para ayudar a entender de forma rápida y práctica, sobre el estado y naturaleza del suelo, con propósitos de ingeniería, para elaborar perfiles estratigráficos, clasificación de suelos, propiedades y parámetros complementarios de capacidad portante, con fines de cimentación o pavimentación.

4 DESARROLLO O CONTENIDO

4.1 ¿Qué es el suelo?

Es todo tipo de material terroso, desde un relleno de desperdicios, hasta areniscas parcialmente cementadas o lutitas suaves. El agua contenida juega un papel fundamental en el comportamiento mecánico del suelo, que debe considerarse como parte integral del mismo.

4.2 Origen del Suelo

El suelo es la capa más superficial de la corteza terrestre, está compuesto por material disgregado resultado de la erosión de las rocas y además minerales, agua, aire y microorganismos. Para nuestros especialistas en mecánica de suelos, la planificación, diseño y construcción de una estructura, dependerá del tipo de suelo y sus características.

La mayoría de los suelos que cubren la tierra están formados por el intemperismo de varias rocas.

4.3 Ciclo de las rocas

El magma, se forma a una gran profundidad por debajo de la superficie de la tierra, este se enfría y se solidifica (*cristalización*), ya sea debajo de la superficie terrestre o en la superficie, originando las rocas ígneas. Cuando las rocas ígneas afloran en la superficie experimentarán un *proceso sedimentario*, dando lugar a una roca sedimentaria; si esta roca sedimentaria, además, es enterrada a profundidad y es sometida a *procesos metamórficos*, la roca reaccionará ante el ambiente cambiante y se convertirá en una metamórfica.

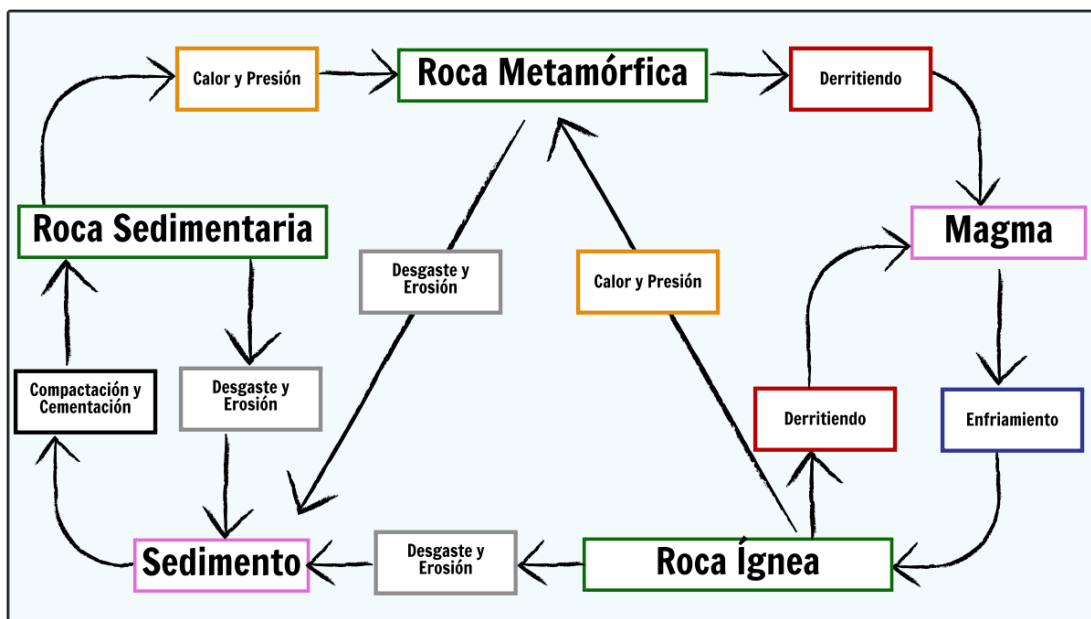


Fig. N° 1 – Ciclo de las rocas

4.4 ¿Qué es mecánica de suelos?

La mecánica de suelos es la aplicación de las leyes de la mecánica y la hidráulica a los problemas de ingeniería que tratan con sedimentos y otras acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas, producidas por la desintegración mecánica o descomposición química de las rocas, independientemente de que tengan o no contenido de materia orgánica.

La mecánica de suelos incluye, teorías sobre el comportamiento de los suelos sometidos a cargas, basadas en simplificaciones necesarias dado el actual estado de la técnica, investigación de las propiedades físicas de los suelos, aplicación del conocimiento teórico y empírico a los problemas prácticos.

4.5 Agentes generadores de suelos

La corteza terrestre es atacada principalmente por el aire y las aguas, siendo los medios de acción de estas sustancias sumamente variados. Se consideran dos grupos: Desintegración mecánica o intemperismo mecánico y descomposición química o intemperismo químico.

4.5.1 Intemperismo mecánico

Es el proceso por el cual las rocas se fracturan en piezas de menor tamaño bajo la acción de fuerzas físicas, como la corriente de agua de ríos, viento, olas oceánicas, hielo glacial, acción de congelamiento, además de expansiones y contracciones causadas por ganancia y pérdida de calor. 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	Cambios de temperatura
Erosión	Cambios de presión
Exfoliación	Actividad orgánica

La condición física de un suelo determina la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad y la retención de nutrientes

4.5.2 Intemperismo químico

Es el proceso descomposición química de la roca original. En el caso del intemperismo mecánico, la roca se fractura en piezas menores sin cambiar su composición química. Sin embargo, en el intemperismo químico, el material se cambia a otro totalmente diferente. Por ejemplo, el intemperismo químico de los feldespatos puede producir materiales arcillosos.

Químico:

Oxidación.

Lixiviación.

Soluciones.

Hidrólisis.

4.6 Principales tipos de suelos según su origen

4.6.1 Suelos Residuales

Son suelos que han sufrido transformación pero que han permanecido en el lugar de origen con escaso o nulo desplazamientos de sus partículas. En zonas tropicales los suelos residuales son muy importantes y útiles como materiales de construcción empleados en una gran variedad de proyectos ingenieriles.

4.6.2 Suelos Transportados

Son suelos que se han transformado (desintegración de las rocas) y han sido transportados a otras zonas donde forman un manto suelto y no consolidado. Los suelos que conforman este manto, son transportados por el agua, el viento o el hielo.

4.7 Clasificación de los depósitos sedimentarios

Las acumulaciones rocosas que se encuentran sobre la superficie terrestre abarcan una amplia lista de depósitos sedimentarios que son caracterizados según su origen. Asimismo, su desarrollo está condicionado a la geología de los macizos rocosos sobre las que tienen lugar y a las condiciones climáticas del área geográfica

donde afloran. Por lo que, se les clasifica de acuerdo a su litología y propiedades físicas (matriz y textura).

4.7.1 Depósitos coluviales

Están presentes tanto en climas áridos como secos, tienen apariencia de conos o pequeños abanicos los que no cuentan con un espesor importante ya que corresponden a acumulaciones locales sin mucho transporte. En algunos casos, pueden formarse en las cabeceras de terrazas aluviales dando la apariencia de ser un mismo depósito.

4.7.2 Depósitos aluviales

Suelen ubicarse en quebradas y superficies topográficas amplias. A diferencia de los coluviales, tienen un espesor más apreciable y conforman terrazas más desarrolladas especialmente en los márgenes de valles fluviales.

4.7.3 Depósitos eólicos

Están conformados exclusivamente por granos de arena cuyos diámetros de partículas varían entre 0.5mm a 1mm. Mayormente se les observa en áreas costeras bajo la influencia de climas áridos. Vistos de cerca en el registro estratigráfico, presentan laminaciones alargadas relacionadas a depósitos coluviales o aluviales

4.7.4 Depósitos fluviales

Afloran en terrazas tanto en áreas montañosas o costeras (Figs. 8 y 9). No obstante, la textura al interior de éstos es notablemente diferente a los anteriores. Debido a que sus clastos son redondeados, alargados y sobre todo imbricados en una matriz que puede ser arenosa o arcillosa según las condiciones hidrológicas y climáticas de su sedimentación.

4.7.5 Depósitos glaciares o morrenas

Son acumulaciones de gravas, arenas y arcillas que pueden localizarse en un rango amplio de sitios geográficos relacionados a la caída de nieve y climas secos. Su

formación depende directamente de la erosión de la superficie topográfica por abrasión que da lugar al transporte local y captación de sedimentos por el glaciar. Si bien estos depósitos tienen cierto parecido con los depósitos aluviales en secciones estratigráficas, se les diferencia por su morfología menos conspicua y drenaje ramificado a través de lomas alargadas presentes en las partes bajas de las cordilleras o en lagunas glaciares.

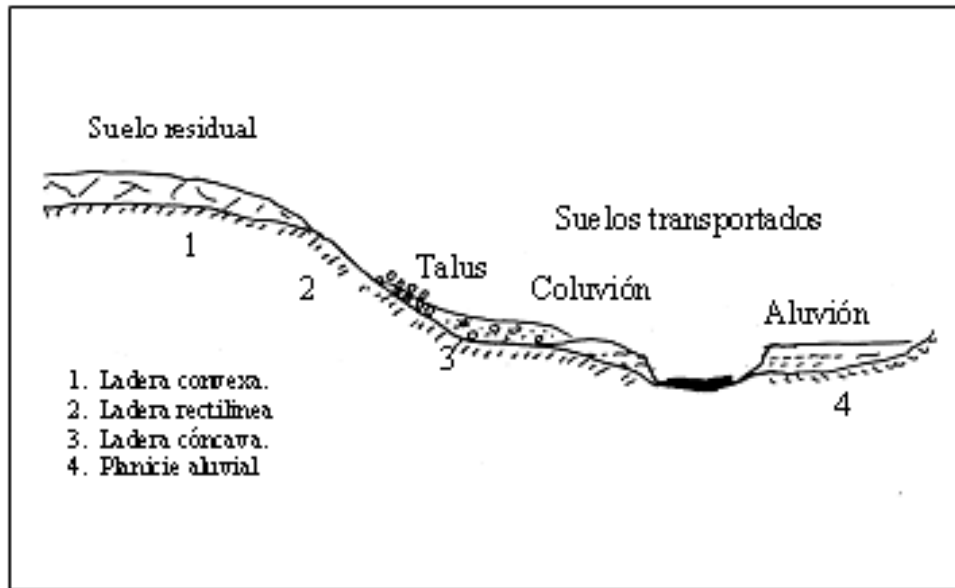


Fig. N° 2 – Ubicación de suelo residual y suelo coluvial

4.8 Clasificación de los suelos según el tamaño de sus partículas

4.8.1 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.

4.8.2 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)

4.8.3 Suelos orgánicos

Estas se encuentran generalmente en regiones de poca altura, donde el nivel freático está muy cerca o por sobre la superficie del terreno. La presencia de un alto nivel freático ayuda al crecimiento de las plantas acuáticas, que al descomponerse, forman el suelo inorgánico que se encuentra por lo general en regiones costeras y glaciares. Presentan las siguientes características.

Contenido de agua natural que puede variar entre 200 y 300%.

Son altamente compresibles

Pruebas de laboratorio muestran que, bajo cargas, tienen un gran porcentaje de asentamiento en ellos se deriva la consolidación secundaria.

4.9 El comportamiento de un suelo depende de sus características y propiedades

4.9.1 Características del suelo

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.

Principales características del suelo

4.9.2 Textura o gradación

La textura del suelo se refiere al tamaño de las partículas que lo forman, particularmente arenas, limos y arcillas. La textura del suelo es relevante ya que define el comportamiento de los suelos, principalmente su capacidad de retención de agua y de nutrimentos

4.10 Estructura

Es la forma en que se agrupan las partículas individuales de arena, limo y arcilla.

4.11 Propiedades del suelo

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

Propiedades del suelo

4.11.1 Cohesión:

Es la acción que mantiene los granos unidos entre si independientemente de las fuerzas externas actuantes. Está relacionada con las características mineralógicas y físico-químicas de las partículas que componen el suelo.

4.11.2 Estabilidad y fricción interna:

Los granos internos se oponen al deslizamiento de unos sobre otros cuando se ejerce una acción externa, debido a la fricción en los puntos de contacto entre partículas.

4.11.3 Compresibilidad:

Un suelo puede perder parte de su volumen al ser sometido a cargas. La reducción de volumen se debe al acercamiento entre las partículas, reduciendo el volumen de poros.

4.11.4 Permeabilidad y capilaridad:

Es la mayor o menor resistencia que opone un suelo al ser atravesado por un fluido. Se evalúa a través del coeficiente de permeabilidad k .

4.11.5 Capacidad de soporte:

Esfuerzo vertical al que puede ser sometida una masa de suelo, por efecto de la construcción de estructuras sobre ella, sin que presenten asentamientos que pongan en peligro la integridad o la funcionalidad de dichas estructuras.

4.11.6 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.

4.12 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 Unificado.

Sistema ASTM.

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.

4.13 Estructura.

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

4.14 Tamaño de las partículas del suelo

Los suelos en general son llamados grava, arena, limo o arcilla, dependiendo del tamaño predominante de las partículas. Para describir los suelos por el tamaño de

sus partículas, varias organizaciones han desarrollado límites de tamaño de suelo por tamizado. A continuación, se muestra los límites de tamaño de suelo separado por tamices desarrollado por el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA), la Asociación de Funcionarios de Carreteras Estatales y de Transporte (AASHTO), el Cuerpo de Ingenieros del ejército de estados Unidos, y la Oficina de Restauración de estados Unidos. Sin embargo, en la actualidad el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) es casi universalmente aceptados, este ha sido adoptado por la Sociedad Americana para Prueba de materiales (ASTM).

Nombre de la organización	Tamaño del grano (mm)			
	Grava	Arena	Limo	Arcilla
Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT)	> 2	2 a 0.06	0.06 a 0.002	< 0.002
Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA)	> 2	2 a 0.05	0.05 a 0.002	< 0.002
Asociación Americana de Funcionarios del Transporte y Carreteras Estatales (AASHTO)	76.2 a 2	2 a 0.075	0.075 a 0.002	< 0.002
Sistema unificado de clasificación de suelos (U.S. Army Corps of Engineers; U.S. Bureau of Reclamation; American Society for Testing and Materials)	76.2 a 4.75	4.75 a 0.075	Finos (es decir, limos y arcillas) < 0.075	

Fig. N° 3 – Tamaño de partículas para la clasificación de suelos

Gravas. Son fragmentos de rocas ocasionalmente con partículas de cuarzo, feldespatos y otros minerales.

Arena. Están formadas principalmente de cuarzo y feldespatos, aunque también están presentes, a veces, otros granos minerales.

Limos. Son fracciones microscópicas de suelo que consiste en granos muy finos de cuarzo y algunas partículas en formas de escamas (hojuelas) que son fragmentados de minerales micáceos.

Arcilla. Son principalmente partículas submicroscópicas en formas de escamas de micas, minerales arcillosos y otros minerales. Las arcillas se definen como partículas menores a 0.002 mm. En algunos casos, las partículas de tamaño entre 0.002 mm y 0.005 mm también se denominan arcillas. Las arcillas se definen como aquellas partículas “que desarrollan plasticidad cuando se mezclan con una cantidad limitada de agua – Grim”, 1953. Los suelos no arcillosos pueden contener partículas de cuarzo, feldespato o micas suficientemente pequeñas para caer dentro de la clasificación de las arcillas. Por consiguiente, es apropiado para las partículas de suelos menor que 2 μ o 5 μ como se definen bajo diferentes sistemas, ser llamadas partículas tamaño arcilla en vez de arcillas. Las partículas son en su mayoría de tamaño coloidal (< 1 μ) con 2 μ de límite superior.

4.15 Propiedades índice del suelo

De acuerdo al sistema de clasificación de Casagrande, las propiedades índice suficientes para clasificar un suelo son: granulometría, plasticidad, contenido de materia orgánica. Después de muchos años de experiencias en la mecánica de suelos, en la clasificación de suelos con propósitos ingenieriles, se ha establecido que para los suelos tropicales es necesario añadir a tales índices no solo la mineralogía de la fracción arcillosa, sino también la naturaleza mineralógica de los granos de limos (como óxidos ferrosos, cristales de mica o cristales de caolín).

Grado de Saturación

Contenido de poros

Contenido de humedad.

Contenido de vacíos

Densidad

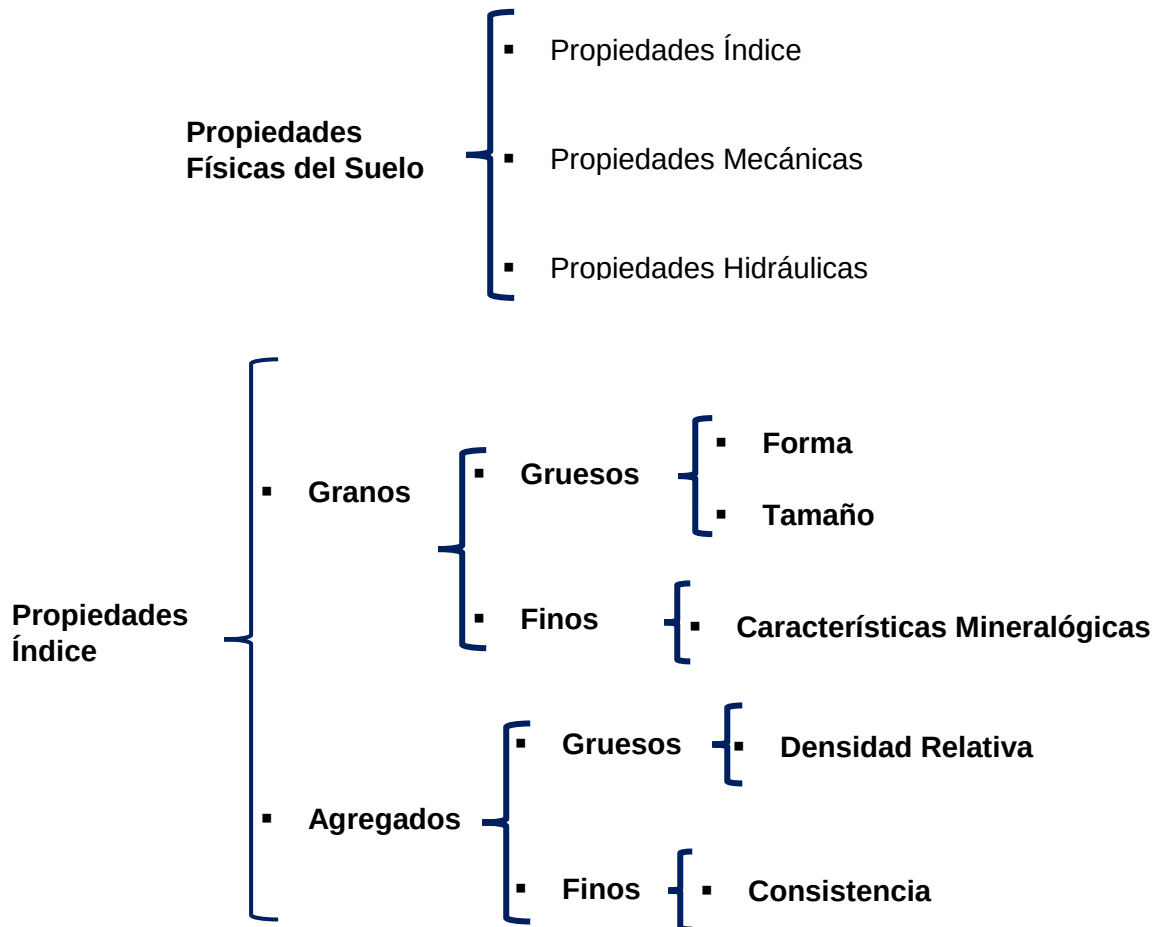
Contenido de aire

Peso específico

Las propiedades índices, son todas aquellas que se utilizan para identificar o clasificar cualitativamente un suelo, entre las cuales tenemos:

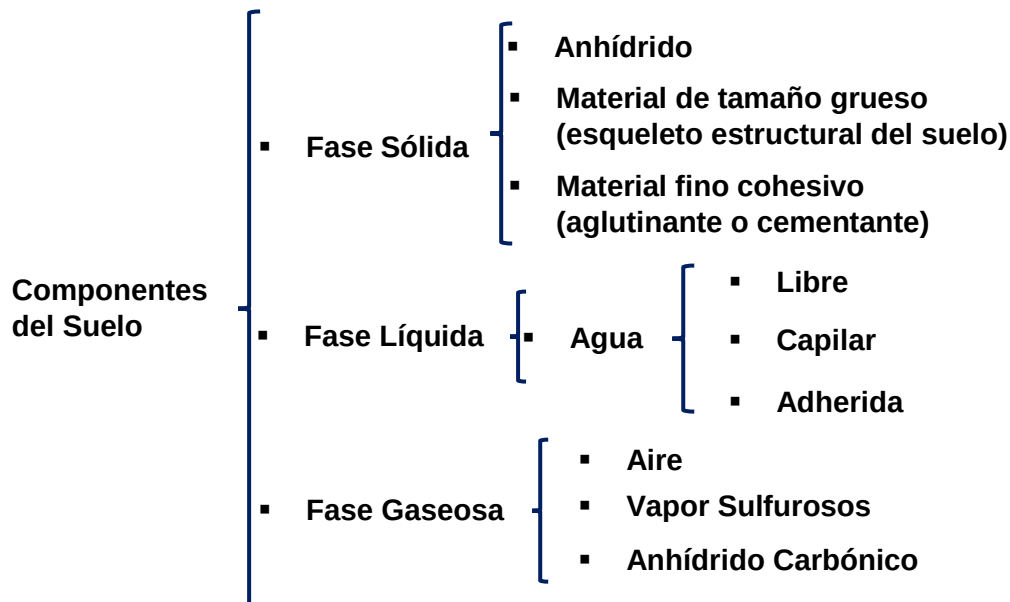
Contenido de humedad (ω)	Relación de vacíos (e)
Distribución granulométrica	Peso unitario (γ_m)
Consistencia del suelo	Grado de saturación (S)
Gravedad específica (G_s)	Porosidad (n)

Estas propiedades nos permiten diferenciar, distintos tipos de suelos de una misma categoría, por lo que, dos suelos de idéntico origen con diferentes propiedades índice, pueden presentar diferentes comportamientos en cuanto sus propiedades mecánicas y/o hidráulicas, afectando su desempeño como terreno de cimentación o fundación, o material de construcción en las diferentes obras que se vayan a ejecutar.



4.16 Fases de los suelos parcialmente saturados

El suelo en estado natural, lo encontramos en tres fases fundamentales. La fase solida está constituida por las partículas minerales del suelo y/o materia orgánica. La fase líquida está compuesta por agua, aunque pueden existir otros líquidos. La fase gaseosa está compuesta esencialmente por aire, a su vez, pueden estar presentes otros gases. 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:



Fase sólida: Está formada por partículas minerales del suelo (incluyendo la fase sólida adsorbida).

Fase líquida: Está formada por el agua (libre, específicamente), en el suelo pueden existir otros líquidos de menor significación.

Fase gaseosa: Comprende sobre todo el aire, pueden estar presentes otros gases (vapores sulfurosos, anhídrido carbónico, etc)

La fase líquida y gaseosa del suelo, suelen comprenderse en el volumen de vacíos, mientras que la fase sólida, lo constituye el volumen de sólidos. Actualmente, en los laboratorios de mecánica de suelos puede determinarse fácilmente las masas

de las muestras húmedas, las masas de las muestras secadas en el horno y el peso específico relativo de los suelos. Es preciso obtener relaciones prácticas, a fin de medir ciertas magnitudes como el volumen y masa.

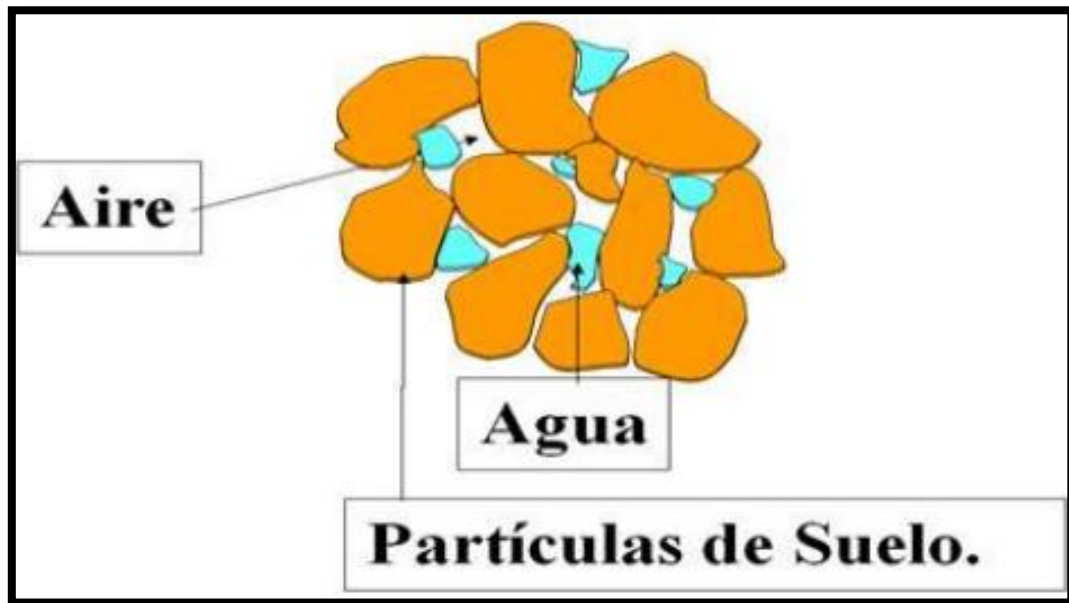


Fig. N° 3 – Composición del suelo

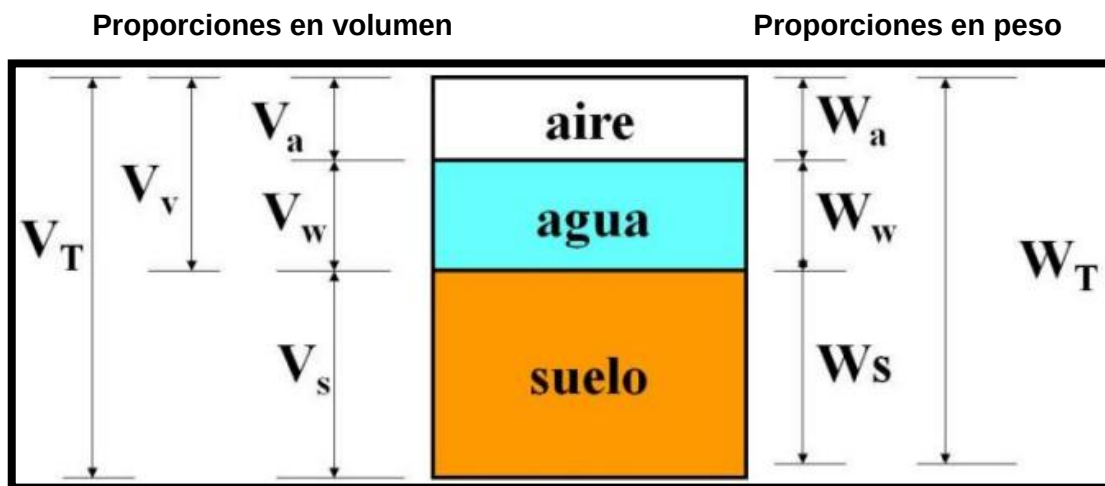


Fig. N° 4 - Fases de un suelo parcialmente saturado (Yoshimi & Osterberg, 1963)

4.17 Propiedades Índice de los Suelos.

4.17.1 Volúmenes

Va = Volumen de aire

Vw = Volumen de agua

Vv = Volumen de vacíos

Vs = Volumen de sólidos

Vm = Volumen de la masa o de la muestra de suelo

Pesos

Ww = Peso del agua

Ws = Peso de los sólidos
o Peso seco

Wm = Peso de la masa o de la muestra de suelo

4.18 Relaciones Volumétricas y Gravimétricas

4.18.1 Peso Específico (γ)

Peso que tiene un volumen determinado de suelo. Depende del peso de los granos individuales del suelo, la cantidad de vacíos y la cantidad de agua que contenga.

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

4.18.2 Densidad (ρ)

Se define como la masa que tiene un volumen determinado de suelo.

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

4.18.3 Peso específico del agua (γ_w)

Es el peso por unidad de volumen a una temperatura de 4°C, donde el agua pesa 1 kgf/cm³ o 1000 kgf/m³.

$$\gamma_w = \frac{W_w}{V_w}$$

4.18.4 Peso específico de la masa de suelo (γ_m)

Es la relación entre el peso del suelo y el volumen que este ocupa.

$$\gamma_m = \frac{W_m}{V_m}$$

4.18.5 Peso específico de sólidos ($\gamma_s = G_s$)

Es un factor auxiliar que se emplea para determinar otras propiedades del suelo como son: porosidad, relación de vacíos, la velocidad de una partícula en el seno de un fluido viscoso (método del hidrómetro basado en la ley de Stoke).

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s}$$

4.18.6 Peso específico saturado ($\gamma_{sat.}$)

Es la relación porcentual entre el volumen de agua en una masa de suelo o roca, y el volumen total de espacios vacíos.

$$\gamma_{sat.} = \frac{W_m}{V_m} = \frac{W_w + W_s}{V_m}$$

4.18.7 Peso específico seco (W_s)

Es el que se obtiene después de un proceso de evaporación en un horno a temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, durante un periodo suficiente (normalmente de 16 a 24 horas), para lograr una masa constante. Luego de este proceso, se puede considerar el suelo constituido por dos fases: Fase sólida y fase gaseosa.

$$\gamma_d = \frac{W_m}{V_m} = \frac{W_s}{V_m}$$

4.18.8 Peso específico relativo de la masa del suelo (G_m)

El cociente entre el peso específico del suelo y el peso específico del agua a una temperatura determinada.

$$G_m = \frac{\gamma_m}{\gamma_w}$$

4.18.9 Peso específico relativo de los sólidos del suelo (Gravedad Específica) (G_s)

Es la relación entre el peso unitario de las partículas sólidas del suelo « γ_s » y el peso unitario del agua destilada. $\gamma_w = 1,00 \text{ gr / cm}^3$.

El peso específico de los sólidos varía comúnmente entre los valores de 2,5 a 2,8. Los suelos orgánicos tienen valores bajos (**Humus: $G_s = 1,37$**).

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} = \frac{W_s}{V_s \times \gamma_w}$$

4.19 Relaciones Fundamentales**4.19.1 Contenido de humedad ($\omega\%$)**

El contenido de agua del suelo es expresado como una relación entre la masa de agua contenida en una muestra de suelo y la masa seca de la muestra de suelo o el volumen original de la muestra. Estas dos expresiones están linealmente relacionadas por un coeficiente conocido como la densidad aparente del suelo muestreado.

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

4.19.2 Relación de vacíos (e)

Es una relación entre: El volumen de espacios vacíos, y el volumen de las partículas sólidas en una masa de suelo.

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

4.19.3 Porosidad ($\eta\%$)

Es una relación, expresada como un porcentaje, entre el volumen de espacios vacíos de un suelo, y el volumen total de la muestra. O sea, es la probabilidad de encontrar vacíos en el volumen total. Por eso $0 < \eta < 100\%$ (se expresa en %). En un sólido perfecto $\eta = 0$; en el suelo $\eta \neq 0$ y $\eta \neq 100\%$.

$$\eta\% = \frac{V_v}{V_m} \times 100$$

4.19.4 Grado de saturación ($S\%$)

Es el volumen de agua que se encuentra en los espacios vacíos del suelo.

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

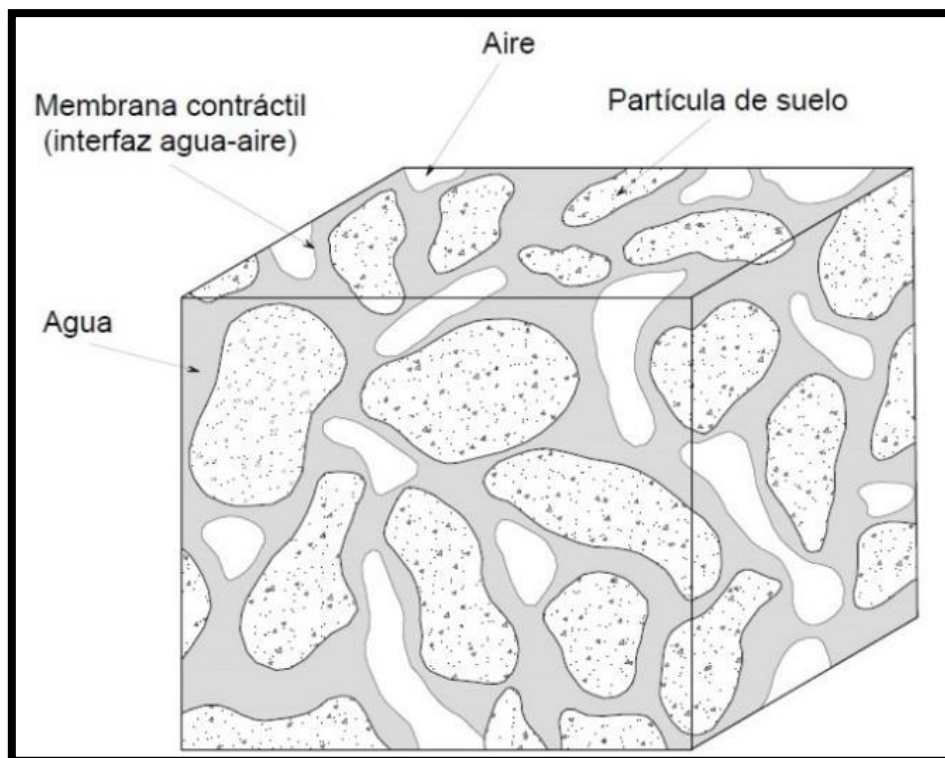


Fig. N° 5 - Representación de un suelo parcialmente saturado constituido por cuatro fases (Fredlund, D. G.; Rahardjo, H. & Fredlund M. D., 2012).

4.20 Humedad del suelo

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.

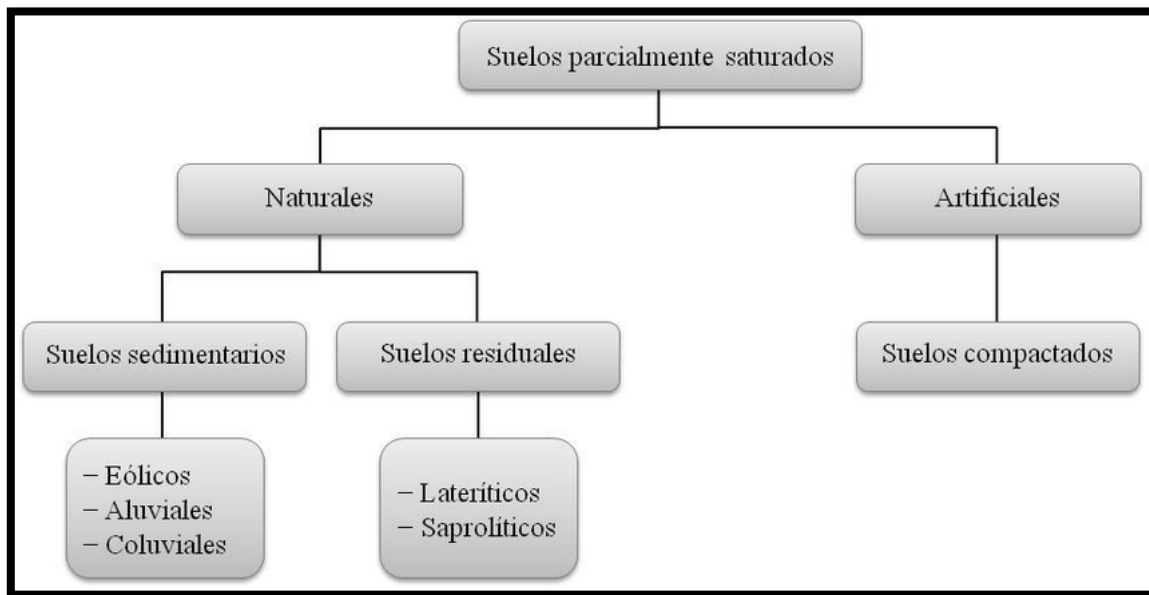


Fig. N° 6 - Clasificación de los suelos parcialmente saturados en relación con su origen (López Acosta & Auvinet Guichard, 2012)

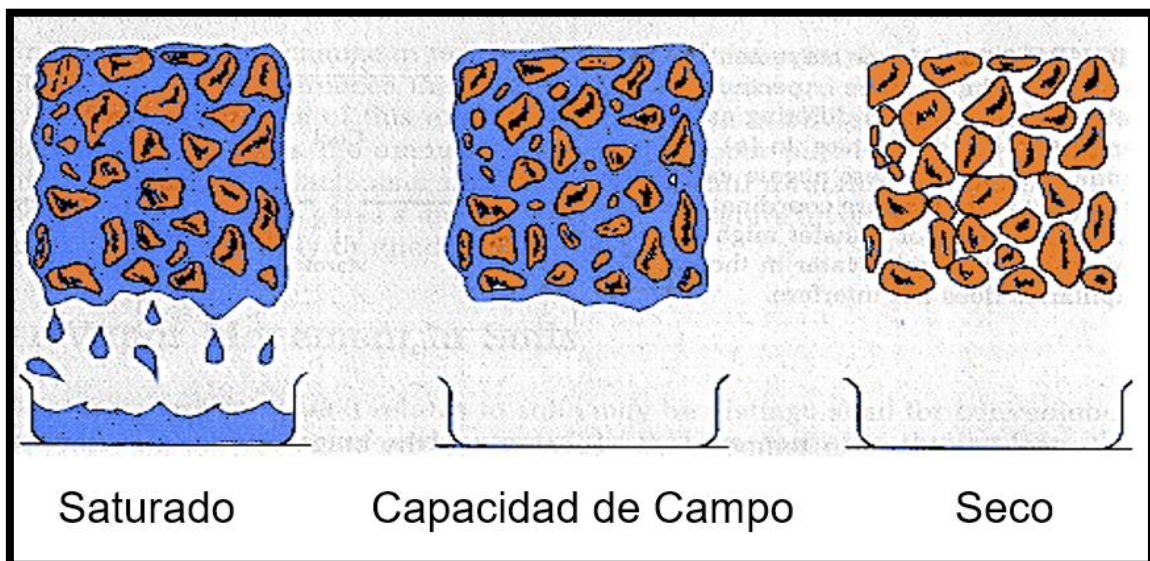


Fig. N° 7 - Poros, espacio aéreo y agua del suelo en situaciones de saturación, capacidad de campo y seco.

4.20.1 Métodos de ensayo normalizados para la determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de suelos y rocas por masa ASTM D2216-19

El contenido de agua de un material es la relación entre la masa de agua contenida en los espacios porosos del suelo o material rocoso, a la masa sólida de partículas, expresada en porcentaje.

El término "material sólido" utilizado en ingeniería geotécnica, se refiere normalmente a partículas minerales de suelo y roca que no son fácilmente solubles en agua. Por lo tanto, el contenido de agua de los materiales que contienen materias extrañas (como cemento, etc.) puede requerir un tratamiento o una definición cualificada del contenido de agua. Además, algunos materiales orgánicos pueden descomponerse por secado en estufa a la temperatura de secado estándar para este método ($110 \pm 5^{\circ}\text{C}$).

Materiales que contengan yeso (sulfato cálcico dihidratado) u otros compuestos con cantidades significativas de agua hidratada, pueden presentar un problema especial ya que este material se deshidrata lentamente a la temperatura de secado estándar ($110 \pm 5^{\circ}\text{C}$) y a una humedad relativa muy baja, formando un compuesto (como el sulfato de calcio hemihidratado) que normalmente no está presente en materiales naturales, excepto en algunos suelos desérticos. Para reducir el grado de deshidratación del yeso en aquellos materiales que lo contengan o para reducir la descomposición en suelos orgánicos muy/fibrosos, puede ser conveniente secar los materiales a 60°C o en un desecador a temperatura ambiente. Cuando se utiliza una temperatura de secado diferente de la temperatura de secado estándar definida en este método de prueba, el contenido de agua resultante puede ser diferente del contenido de agua estándar determinado a la temperatura de secado estándar de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Materiales que contienen agua con cantidades sustanciales de sólidos solubles (como la sal en el caso de los sedimentos marinos) cuando se analicen por este método darán una masa de sólidos que incluye los sólidos disueltos previamente solubles. Estos materiales requieren un tratamiento especial para eliminar presencia de sólidos precipitados en la masa seca de la muestra, o debe utilizarse una definición cualificada del contenido de agua. Ver el método de ensayo D4542 para información sobre sedimentos marinos.

La presente norma incluye dos métodos de ensayo para determinar el contenido de humedad en una muestra de suelo. Los métodos difieren en las cifras significativas indicadas y en el tamaño de la muestra (masa) requerida. El método a utilizar puede ser especificado por la autoridad solicitante; de lo contrario, el método realizarse

Método A: El contenido de agua por masa se registra al 1 % más cercano. En caso de litigio, el método A es el método de arbitraje.

Método B: El contenido de agua en masa se registrará con una precisión al 0,1 % más cercano.

La presente norma de ensayo, exige el secado del material en un horno. Si el material que se está secando está contaminado con determinados químicos que pueden reaccionar violentamente o emitir gases peligrosos cuando se calienta, pueden existir riesgos para la salud y la seguridad. Por lo tanto, esta norma no debe utilizarse para determinar el contenido de agua de suelos contaminados, a menos que se tomen precauciones de seguridad.

Masa seca constante (de un material sólido): Es el estado que ha alcanzado una muestra con contenido de agua, cuando el calentamiento adicional da lugar a una pérdida adicional de masa inferior al 1 % o al 0,1 % para el método A o B respectivamente. El tiempo necesario para obtener una masa seca constante variará en función de numerosos factores, como el tipo de material sometido a ensayo, el tamaño de la muestra y el tipo de horno utilizado (de tiro forzado o de gravedad). La

influencia de estos factores puede determinarse generalmente por la experiencia con los materiales y los aparatos utilizados.

4.20.2 Procedimiento para realizar el ensayo de contenido de humedad en una muestra de suelos

- Excavación de calicatas con maquinaria y toma de muestras



Fig. N° 8 – Realización de calicatas

- Toma de muestras para ser enviadas al laboratorio para realizar los ensayos.



Fig. N° 9 – Recolección de muestras del suelo

- Reducir la muestra a tamaño de ensayo



Fig. N° 10 – Cuarteo de las muestras de suelo

- Registrar la masa del recipiente (tara) + la masa del suelo húmedo



Fig. N° 11 – Determinar la masa del recipiente más masa de la muestra húmeda

- Introducir el recipiente con la muestra en el horno



Fig. N° 12 – Colocado de las muestras en el horno

- Después de un determinado tiempo transcurrido retirar el recipiente con la muestra y dejarlo enfriar



Fig. N° 13 – Secado de muestras de suelos en el horno

4.21 Gravedad Específica los sólidos (G_s):

El valor de la gravedad específica depende de la composición mineralógica de las partículas que constituyen el suelo. Para gravas, arenas y limos, su valor está en el orden de 2,65 mientras que para arcillas varía entre 2,6 y 2,7.

Densidad de los sólidos (G_s). La densidad de los sólidos de suelos se usa en varios cálculos de la mecánica de suelos. La densidad de los sólidos se determina exactamente en el laboratorio. A continuación, se muestra la densidad de sólidos de algunos minerales comunes encontrados en los suelos. La mayoría de los minerales tienen una densidad de sólidos que cae dentro de un rango general de 2.6 a 2.9. la densidad de los sólidos de arena formada principalmente de cuarzo, se estima principalmente igual a 2.65, para suelos arcillosos y limosos, varía entre 2.6 y 2.9.

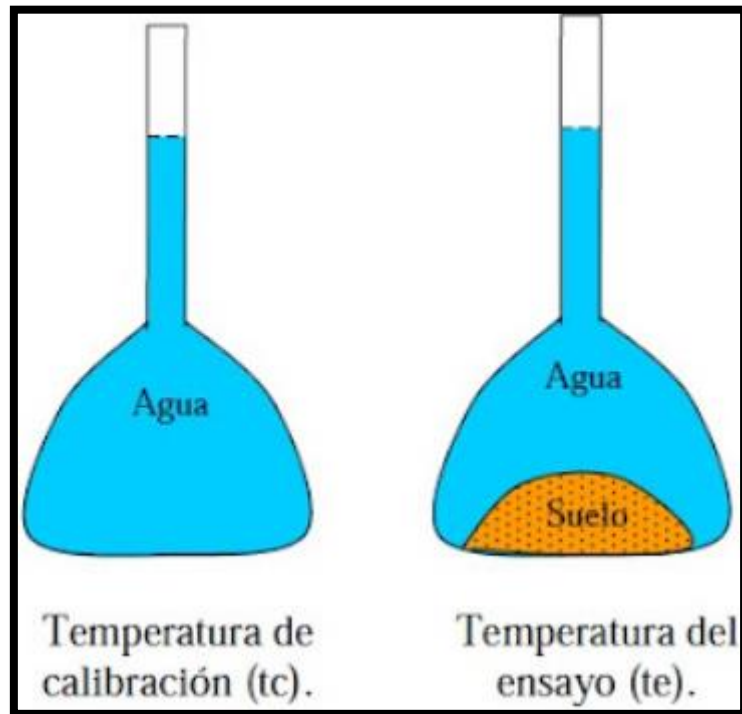


Fig. N° 14 - Ensayo de Gravedad específica del Suelo

4.21.1 Métodos de prueba estándar para la gravedad específica de los sólidos del suelo mediante picnómetro de agua ASTM D854

Estos métodos de ensayo cubren la determinación de la gravedad específica de los sólidos del suelo que pasan el tamiz de 4,75 mm (n.º 4) por medio de un picnómetro de agua. Cuando el suelo contiene partículas mayores que el tamiz de 4,75 mm, se utilizará el método de ensayo C127 para los sólidos del suelo retenidos en el tamiz de 4,75 mm. y estos métodos de ensayo se utilizarán para los sólidos del suelo que pasen el tamiz de 4,75 mm.

La gravedad específica de los sólidos de un suelo se utiliza para calcular las relaciones de fase de los suelos, como la relación de vacíos y el grado de saturación.

La gravedad específica de los sólidos del suelo se utiliza para calcular su densidad. Esto se hace multiplicando su gravedad específica por la densidad del agua (a la temperatura adecuada).

El término sólidos del suelo se refiere normalmente a partículas minerales naturales o partículas similares al suelo que no son fácilmente solubles en agua. Por lo tanto, la gravedad específica de los sólidos del suelo que contienen materias extrañas, como cemento, cal y similares, materia soluble en agua, como cloruro sódico, y suelos que contengan materia no soluble en agua. cloruro sódico, y los suelos que contienen materias con una gravedad inferior a uno, suelen requerir un tratamiento especial o una definición cualificada de su peso específico.

Método del picnómetro (limos y arcillas)

En este procedimiento el volumen de las partículas se determina por diferencia entre la masa de un recipiente lleno de agua hasta el nivel de enrase o hasta en nivel de calibración, se registra la masa de la muestra sumergida en el recipiente más masa de recipiente más masa del agua lleno hasta el nivel de enrase o hasta el nivel de calibración.

4.21.2 Procedimiento para realizar el ensayo de gravedad específica de los sólidos del suelo

- La muestra se seca en horno y se determina su peso seco.



Fig. N° 15 – Secado de la muestra de suelo en el horno

- Se puede colocar la muestra también con su humedad natural, determinando al final del ensayo su peso seco por evaporación del agua.



Fig. N° 16 – Muestra húmeda para realizar el ensayo de Gs

- Se vierte el agua en el picnómetro hasta completar aproximadamente la mitad de su volumen y se agrega la muestra mezclando bien el suelo con el agua.



Fig. N° 17 – Muestra de suelo dentro de la fiola

- Para eliminar las burbujas de aire que se puedan incorporar al agregar la muestra, se conecta el picnómetro a una bomba de vacío.



Fig. N° 18 – Extracción de las burbujas de aire con la bomba de vacíos

- También se pueden eliminar las burbujas colocando el picnómetro en un baño de agua hirviendo.
- Luego se agrega agua hasta enrasar ó hasta el nivel de calibración del picnómetro.



Fig. N° 19 – Aforado hasta el nivel de calibración de la fiola

- Se coloca el mismo en el baño termométrico para estabilizar la temperatura del agua, la cual se toma colocando el termómetro en el interior del picnómetro.
- Se retira, se seca exteriormente y se registra la masa.

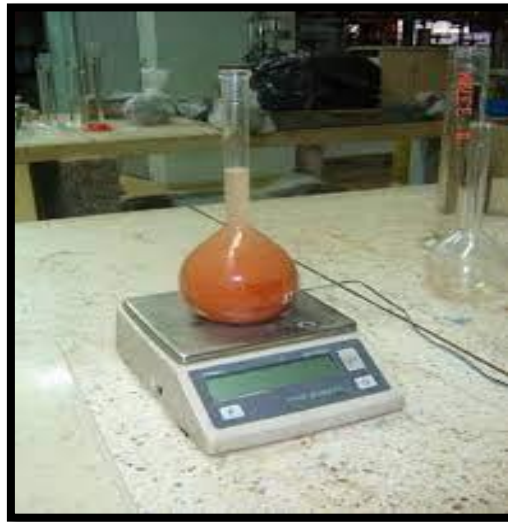


Fig. N° 20 – Registro de la masa de agua, fiola y muestra

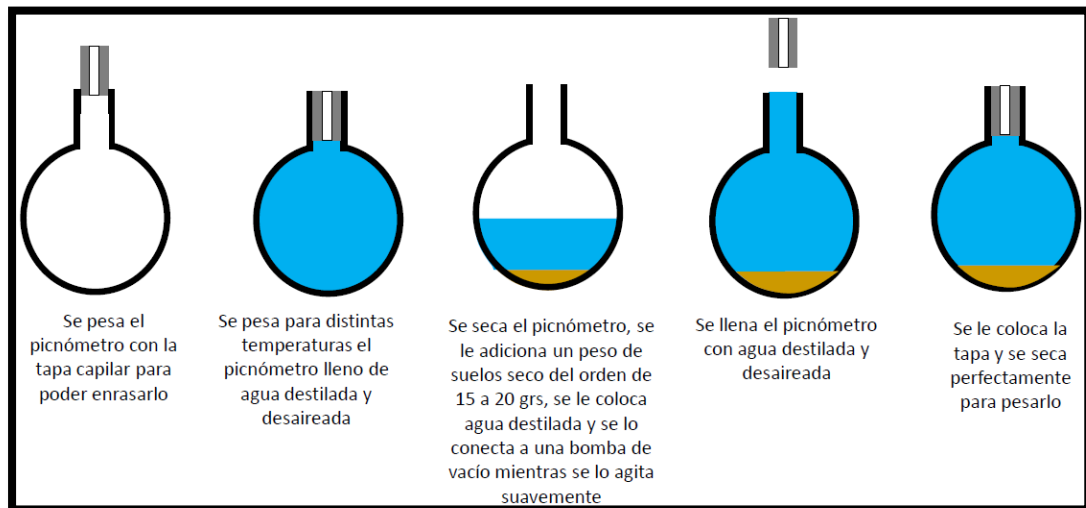


Fig. N° 21 - Procedimiento del ensayo de Gravedad Específica del suelo

5 REFERENCIAS

- ASTM D2216-19 - *Métodos de ensayo normalizados para la determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de suelos y rocas por masa*
- ASTM D854-14 - *Métodos de prueba estándar para la gravedad específica de los sólidos del suelo mediante picnómetro de agua*
- Brajas M., Das. (1983) – *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. p. 7.
- Brajas M., Das. (2001) – *Principios de ingeniería de cimentaciones*. p. 79.
- Instituto Mexicano de transportes (1996) – *Identificación, comportamiento y utilización de suelos residuales*. p. 14.
- Juárez Badillo, E. (2005) – *Mecánica de Suelos – Tomo I*. p 34.
- Terzaghi. C. (s/f) – *Theoretical Soil Mechanics*).

6 APÉNDICES

A. Es importante conocer la cantidad de humedad o agua del suelo porque, el comportamiento y la resistencia de suelo en construcción están regidos por la cantidad de agua que contienen, ya que la humedad que proviene del suelo daña las construcciones debido a que el suelo suele erosionarse y puede llegar a ocasionar fallas colapsos en las edificaciones. El hecho de que los suelos retengan agua (humedad) se debe a sus propiedades coloidales y cualidades de agregación. El agua se mantiene en la superficie de coloides, en otras partículas y en otros poros. Las fuerzas responsables de la retención de agua del suelo después de que se ha detenido el drenaje se deben a la tensión superficial y la atracción de la superficie, y se denominan tensión de humedad superficial. Esto se refiere al concepto de energía en las relaciones de retención de humedad. La fuerza con la que se retiene el agua también se denomina succión.

B. La gravedad específica de los sólidos de un suelo se usa en casi toda ecuación que exprese relaciones de fases de aire, agua y sólidos en un volumen dado de material. El término partículas sólidas, como se usa en ingeniería geotécnica, hace relación a las partículas minerales que aparecen naturalmente y que prácticamente no son solubles en agua. Por lo tanto, la gravedad específica de materiales que contengan sustancias extrañas (como cemento, cal, etc.), materiales solubles en agua (como cloruro de sodio) y suelos que contengan sustancias con gravedad específica menor de uno, requieren un tratamiento especial (nota 1) o una definición diferente de la gravedad específica.

Gravedad específica de las partículas sólidas del suelo, G_s – Es la relación entre la masa de un cierto volumen de sólidos a una temperatura dada y la masa del mismo volumen de agua destilada y libre de gas a igual temperatura. La temperatura generalmente usada como referencia es 20° C.

7 ANEXOS

Métodos de ensayo normalizados para la determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de suelos y rocas por masa ASTM D2216-19				
Método A				
Ensayo n°.	---	1	2	Promedio
Número de recipiente	---	R - 25	R - 61	
Masa del recipiente	g	216.24	208.89	
Masa del recipiente más muestra de suelo húmedo	g	2,687.21	2,755.92	
Masa del recipiente más muestra de suelo seco	g	2,479.97	2,547.03	
Masa constante	g	2,478.21	2,545.49	
Variación de masas secas	%	0.07	0.06	
Masa de la muestra de suelo húmedo	g	2,470.97	2,547.03	
Masa de la muestra de suelo seco	g	2,261.97	2,335.60	
Masa del agua en la muestra de suelo	g	209	211.43	
Contenido de humedad	%	9.2	9.0	9

Tabla N°. 1 – Ensayo de Contenido de Humedad – Método A



Fig. N° 22, 23 - Realización de calicatas y recolección de muestras de suelo

Métodos de ensayo normalizados para la determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de suelos y rocas por masa ASTM D2216-19				
Método B				
Ensayo n°.	---	1	2	Promedio
Número de recipiente	---	R - 11	R - 39	
Masa del recipiente	g	211.36	220.54	
Masa del recipiente más muestra de suelo húmedo	g	2,749.58	2,635.78	
Masa del recipiente más muestra de suelo seco	g	2,671.95	2,563.52	
Masa constante	g	2,670.47	2,561.49	
Variación de masas secas	%	0.06	0.08	
Masa de la muestra de suelo húmedo	g	2,538.22	2,415.24	
Masa de la muestra de suelo seco	g	2,459.11	2,340.95	
Masa del agua en la muestra de suelo	g	79.11	74.29	
Contenido de humedad	%	3.2	3.2	3.2

Tabla N°. 2 – Ensayo de Contenido de Humedad – Método B

Fig. N° 24: Horno de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 

Fig. N° 25: Balanza electrónica

Mineral	Densidad de sólidos (G_s)
Cuarzo	2.65
Caolinita	2.6
Ilita	2.8
Arenas	2.7
Arena de cuarzo	2.64 – 2.66
Arcillas	2.6 – 2.9
Limo	2.67 – 2.73
Loes	2.65 – 2.73
Yeso	2.60 – 2.75
Turba	1.30 -
Monmorilonita	2.65 – 2.80
Haloisita	2.0 – 2.55
Feldespatos de potasio	2.57
Feldespatos de sodio y calcio	2.62 – 2.76
Clorita	2.6 – 2.9
Biotita	2.8 – 3.2
Moscovita	2.76 – 3.1
Hornablenda	3.0 – 3.47
Limonita	3.6 – 4.0
Olivina	3.27 – 3.37

Tabla N°. 3 – Gravedad específica de algunos minerales

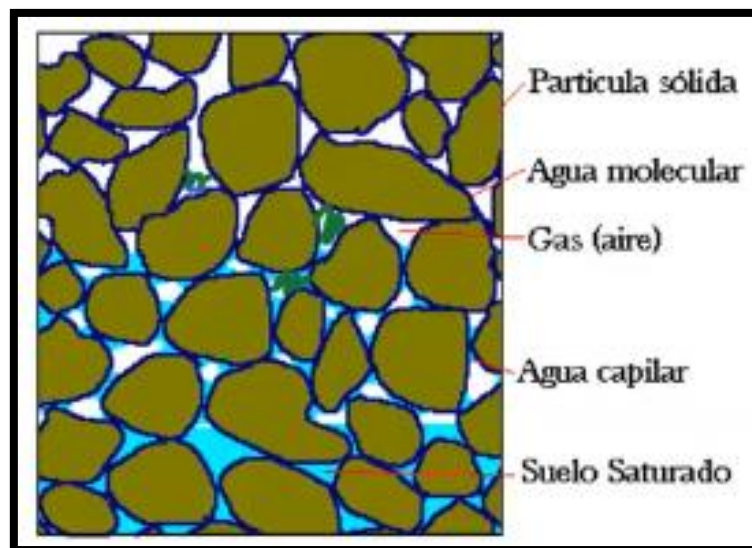


Fig. N° 26: Fases de un suelo

Métodos de prueba estándar para la gravedad específica de los sólidos del suelo mediante picnómetro de agua ASTM D854-14		
Tipo de suelo	CL	CL
Ensayo N°.	1	2
Método	A	A
Temperatura (°C)	20.1	19.3
Densidad del agua a temperatura T (g/ml)	0.99818	0.99835
Fiola No.	F-01	F-02
Masa promedio de Fiola calibrada (g)	165.77	173.38
Volumen promedio de Fiola calibrada (ml)	499.47	499.51
Masa de fiola + agua a temperatura T (g)	664.34	672.07
Masa de la fiola + agua + suelo (g)	706.42	714
Masa seca (g)	66.18	66.08
Gravedad específica de sólidos, G_t	2.746	2.736
Coeficiente de temperatura, K	0.99998	1.00014
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SOLIDOS A 20 °C	2.746	2.737
Rango aceptable de variación	0.02	
Evaluación	Se Acepta	
Promedio	2.741	

Tabla N°. 4 – Ensayo de Gravedad específica del suelo

8 CONCLUSIONES

En síntesis, el contenido de humedad que se presenta en los suelos, es de suma importancia para determinar las propiedades índice propias de cada suelo, es importante mencionar que para algunos procesos de laboratorio es necesario conocer el porcentaje de humedad de las muestras, debido a que la cantidad de agua que contienen puede acelerar o disminuir la velocidad de reacción requerida en ciertos ensayos.

La gravedad específica es un tipo particular de densidad relativa, particularmente en mecánica de suelos es la densidad del suelo entre la densidad del agua. Este cociente nos da un valor dimensional que nos sirve para clasificar en un tipo específico nuestra muestra de suelo.