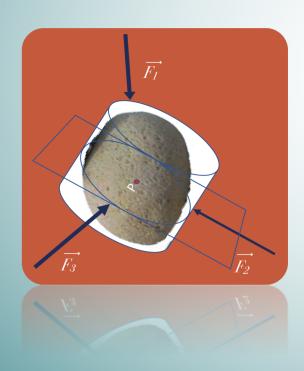




Caracterización geomecánica de suelos y rocas

Tema 8 Los materiales terrestres blandos



Alberto González Díez Patricio Martínez Cedrún

DPTO. DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y FÍSICA DE LA MATERIA CONDENSADA (CITIMAC)

Este tema se publica bajo Licencia:

Creative Commons BY-NC-SA 4.0



Suelos y rocas

Los suelos están constituidos por partículas sueltas formadas por alteración de rocas preexistentes (ígneas, metamórficas, sedimentarias).

En las rocas los granos están cementados o soldados.

En general se consideran suelos a los terrenos que se pueden excavar sin necesidad de recurrir a explosivos.

En la naturaleza muchas veces no hay una clara diferenciación entre suelo y roca ya que depende del poder cohesivo entre las partículas, dejando la Mecánica de Suelos para el estudio de los elementos que son fácilmente disgregables.

Mecánica de suelos

Estudia las propiedades, comportamiento y utilización del suelo como material estructural de tal modo que las deformaciones y resistencia del suelo ofrezcan seguridad, durabilidad y estabilidad de las estructuras cuando se construyen obras civiles sobre el mismo.

Si se sobrepasan los límites de capacidad resistente del suelo o si las deformaciones son considerables, se pueden producir colapsos, deformaciones, grietas o fisuras.

Origen y formación de los suelos

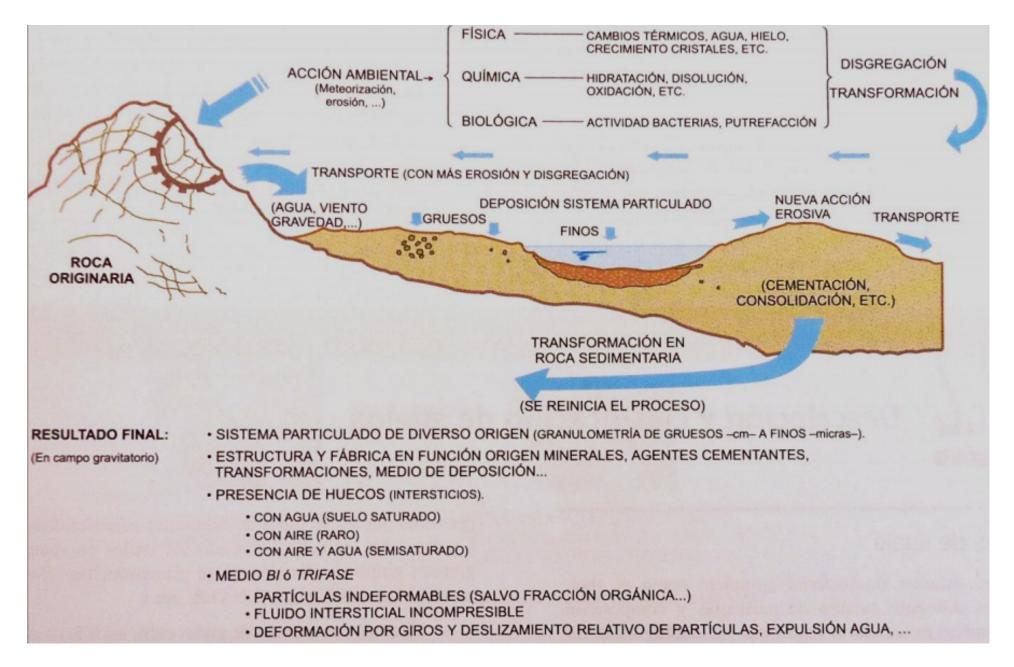
Los suelos se originan por procesos de meteorización de rocas existentes. Meteorización es la alteración física y/o química de la roca. Los principales tipos son:

- -Física: Reducción de la roca en fragmentos más pequeños por acciones mecánicas del agua, cambios de térmicos u otros factores. Los productos serán gravas, arenas y limos.
- -Química: transformación química de los minerales constituyentes de la roca madre por procesos de hidratación, disolución, oxidación, hidrólisis. Principalmente formación de arcillas.
- -Biológica: actividad bacteriana.

Origen y formación de los suelos

Características de los suelos:

- -Sistema particulado de sólido de diverso origen, que se considera indeformable.
- -Tener una granulometría de gruesos a finos. Las partículas más finas (<2 ó 5 micras) necesitan procesos físico-químicos para su constitución; las de mayor tamaño solo necesitan procesos físicos.
- -Una estructura y fábrica en función del origen de los minerales, agentes cementantes, medio de deposición, etc.
- -Presencia importante de huecos con agua o solo aire.
- -Las deformaciones del conjunto del suelo se producen por giros y deslizamientos relativos de las partículas y por expulsión de agua; solo en raras ocasiones se producen por rotura de granos.



Suelos residuales y transportados

Suelos residuales o eluviales: son aquellos que no han sufrido transporte por lo que pueden conservar restos de la estructura de la roca madre.

Suelos transportados: el transporte puede ser por acción de las aguas fluviales (suelos aluviales), mar, viento, lagos, glaciares, o por gravedad en laderas (suelos coluviales).

El tipo de transporte tiene gran influencia en las propiedades del suelo a que da lugar: forma y textura de las partículas, distribución de tamaños de partículas.

En fases posteriores, el suelo puede consolidarse por el propio peso de los sedimentos. En principio el suelo tiene una consistencia floja que se vuelve más compacta y consistente con el depósito nuevos sedimentos encima. Las partículas del suelo pueden cementarse por sulfatos, carbonatos......

Depósitos coluviales: son producto de la alteración y desprendimiento in situ de las rocas ubicadas en las laderas superiores adyacentes y a la acción de la gravedad.

Están conformados por masas inestables de gravas (guijarros, cantos y bloques) angulosas a subangulosas, sin selección ni estratificación aparente.

La matriz es limo-arcillosa y su espesor es escaso.

Están caracterizados por su gran porosidad y permeabilidad.

Se depositan inicialmente sobre la ladera y a largo plazo se mueven hasta el pie de los taludes desarrollando una topografía ondulada más suave que la original.

Depósitos aluviales: depósitos de material detrítico, transportado por un río y depositado en la llanura de inundación.

Están normalmente compuestos por arenas y gravas que se distribuyen en morfologías estratiformes.

Por su cercanía a las corrientes fluviales poseen un nivel freático alto.

Las propiedades geotécnicas son muy variables y están relacionadas con la distribución granulométrica.

Conos de derrubios o canchales: acumulaciones al pie de una vertiente de fragmentos de roca desprendidos de un talud.

Los derrubios de gravedad implican la caída libre de los fragmentos sueltos de la pared. Sin embargo, los derrubios ordenados los clastos están dispuestos en lechos diferenciados.

El perfil típico está constituido por un escarpe o cornisa en la parte alta, de una inclinación acusada, siempre superior a los 45°, un talud de menor pendiente y finalmente el enlace suave con la base.

Depósitos lacustres: están constituidos por sedimentos de grano fino, arcillas y limos, finamente laminados que pueden contener materia orgánica.

Generalmente su plasticidad es alta y sus propiedades índice suelen presentar dispersiones

Presentan problemas para soportar construcciones o infraestructuras por su baja resistencia ya que son muy blandos.

Depósitos desérticos: poseen desecación profunda con un bajo contenido en humedad y en materia orgánica. Son arenas bien seleccionadas y limos muy anisótropos. Las propiedades de estos suelos están condicionadas por la acumulación de sales y su alta movilidad con el viento.

Depósitos glaciares: los glaciares recogen y transportan grandes volúmenes de sedimentos que los deposita en mezcla desordenada con tamaños que oscilan entre arcillas y bloques.

El agua procedente de la fusión de los glaciares transporta y deposita algunos sedimentos glaciares creando acumulaciones ordenadas.

Su composición es muy heterométrica y su distribución es altamente errática.

Muestran gran heterogeneidad y anisotropía, con elevada sensibilidad a la alta presión intersticial.

Depósitos litorales: están constituidos principalmente por arenas y limos con elevado contenido en materia orgánica.

Las dunas son bastante inestables por su movilidad. Las arenas presentan una clasificación muy buena. El contenido en carbonatos es inferior al de las arenas de playa por disolución por acción del agua de lluvia y freática.

Tienen un comportamiento anisotrópico.

Depósitos volcánicos: por su origen se alteran fácilmente en condiciones subaéreas transformándose en arcillas y productos de alteración.

Depósito de material, residual o transportado, con una baja cohesión, que se encuentran sobre el sustrato rocoso de la superficie terrestre. Generalmente los depósitos superficiales no están estratificados y constituyen los depósitos geológicos más recientes.

Suelo edáfico

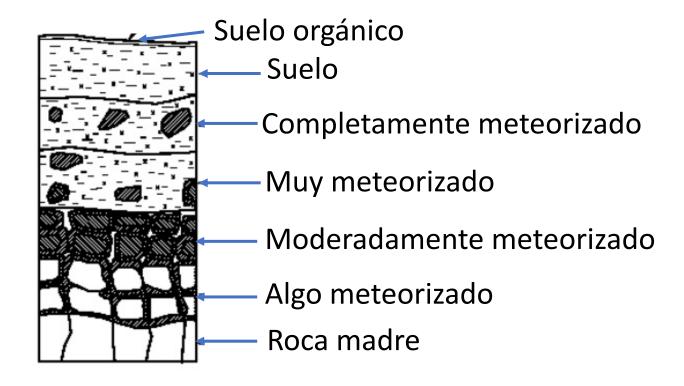
Es el material suelto no consolidado que resulta de la meteorización por acción del clima o de la disgregación física de las rocas que evoluciona hasta formar un sistema complejo y estructurado con intervención de organismos vivos.

Suelo ingenieril

Todo agregado natural de partículas minerales separables por medios mecánicos de poca intensidad, como agitación en agua.

Perfil de meteorización

Estos procesos generan en el suelo un perfil de meteorización en cuyo nivel inferior está la roca, siendo la parte menos expuesta mientras que en el nivel superior del perfil está la roca alterada y/o suelo residual. El suelo formado puede ser transportado por acción del agua, el viento o la gravedad y, posteriormente, sedimentado.



OCDCII	LOVE (1951) LITTLE (1961)	VARGAS (1951)	SOWERS (1954, 1963)	CHANDLER (1969)		GEOLOGICAL SOC. ENG. GROUP (1970)	DEERE Y PATTON (1971)	
PERFIL ESQUEMÁTICO	ROCAS IGNEAS	ÍGNEAS, BASÁLTICAS Y ARENISCAS	ÍGNEAS Y METAMÓRFICAS	MARGAS Y LIMOLITAS		ROCAS IGNEAS	ÍGNEAS Y METAMÓRFICAS	
	VI SUELO	SUELO RESIDUAL	ZONA SUPERIOR	COMPLETAMENTE ALTERADA		VI	HORIZONTE IA	
					IV	SUELO RESIDUAL	RESIDUAL	HORIZONTE IB
	V COMPLETAMENTE ALTERADA	SUELO RESIDUAL JOVEN	ZONA INTERMEDIA	PARCIALMENTE ALTERADA		COMPLETAMENTE ALTERADA	SUELO RE	HORIZONTE IC (SAPROLITO)
	IV ALTAMENTE ALTERADA III MODERADAMENTE ALTERADA II ALGO ALTERADA	CAPAS DE ROCA DESINTEGRADA	ZONA PARCIALMENTE ALTERADA			ALTAMENTE ALTERADA	NA DE TR	IA TRANSICIÓN CON ROCA METEORIZADA SAPROLITO
					п	III MODERADAMENTE ALTERADA		
						II DEBILMENTE ALTERADA		IB PARCIALMENTE
						IB MUY POCO ALTERADA		METEORIZADA
	ROCA SANA	ROCA SANA	ROCA INALTERADA	ROCA INALTERADA		ROCA SANA	ROCA SANA	

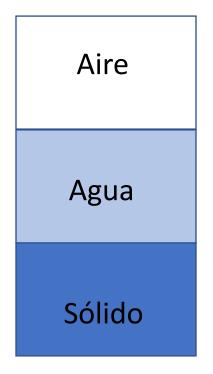
(González de Vallejo, 2002)

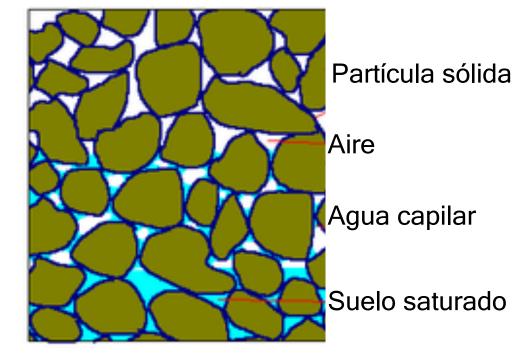
Perfiles de meteorización de un suelo según diferentes autores

Partes del suelo

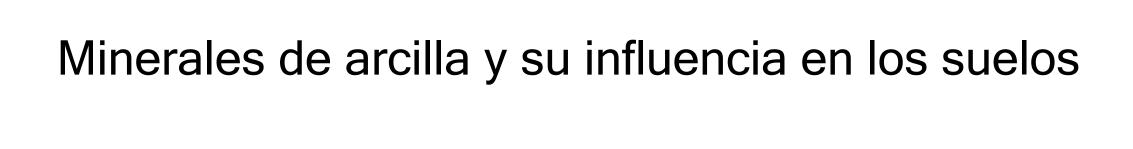
Entre las partículas sólidas no cementadas de los suelos quedan huecos (poros, intersticios), que pueden estar llenos de agua (suelos saturados), parcialmente cubiertos (suelos semisaturados) o sin agua

(secos)





Tomada de: http://elsuelolasalle.blogspot.com/



Propiedades físico-químicas de las arcillas

Derivan de su extremadamente pequeño tamaño de las partículas (<2 µm), morfología laminar y sustituciones isomórficas.

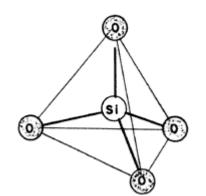
Debido a estos factores tienen un área superficial elevada y una gran cantidad de superficie activa.

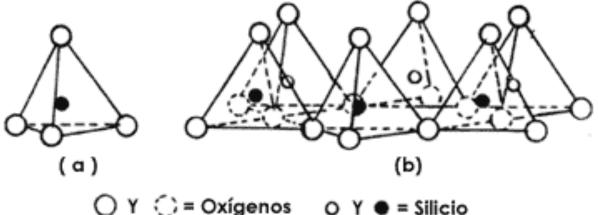
Interaccionan con compuestos polares con comportamiento plástico cuando se mezcla arcilla y agua con elevada proporción sólido-líquido.

Una característica importante de las arcillas es la gran capacidad de intercambio iónico. Iones diferentes pueden completar las capas y unirlas. Además, las cargas eléctricas libres pueden ser equilibradas por iones intercambiables.

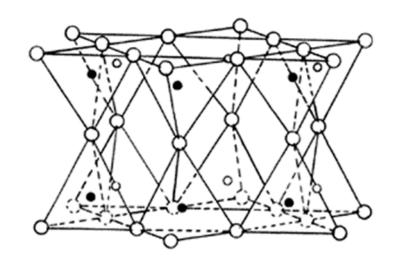
Estructura de las arcillas

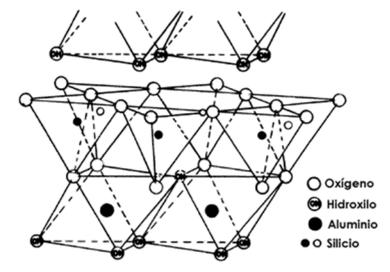
- La unidad básica de los filosilicatos son tetraedros de silicio y oxígeno (SiO)₄⁴
- Los tetraedros se unen compartiendo tres de sus cuatro oxígenos con otros vecinos formando capas, de extensión infinita y de fórmula $(Si_2O_5)^{2-}$ que constituyen la unidad básica de los filosilicatos. Dos hojas de tetraedros se unen compartiendo un oxígeno formando una lámina tetraédrica.





Estructura de las arcillas





También otros cuerpos poligonales, como los octaedros, pueden formar cadenas. Es el caso de los octaedros con formación típica de los compuestos de aluminio o de magnesio.

La lámina T-O-T es la más completa y no permite añadir más.

Caolinitas: Es el principal grupo de las arcillas caracterizado por la baja capacidad de intercambio con dos capas de cationes. La unidad fundamental de la estructura del caolín es la lámina T-O, es decir, la lámina 1:1.

No admite agua en los retículos por lo que su estructura no es expansiva.

Entre una hoja y otra hay un enlace muy débil del tipo de Wan Der Waals que origina un espacio interlaminar.

Esmectitas: Muestran una estructura en sándwich, eléctricamente neutra, constituida por dos hojas tipo T y una de tipo O (T-O-T).

El Al puede sustituir parcialmente al Si en la capa T, aunque también el Mg o el Fe pueden sustituir al Al en la capa O. Estas diferencias en la composición química afecta a sus propiedades.

En este grupo de arcillas destacan las di-octaédricas por sus propiedades que derivan de su estructura laminar, espacio interlaminar y carga residual. La esmectita que más destacable es la montmorillonita.

K+ _______

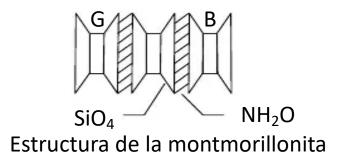
Estructura de la illita

Montmorillonita: su capacidad de intercambio es muy alta lo que les hace ser muy expansivas.

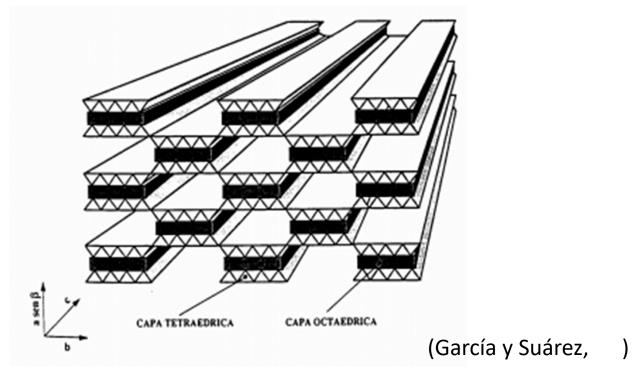
Entre las dos láminas de Si puede haber brucita o gibsita. La unión entre minerales individuales es débil, introduciéndose moléculas de agua que generan el hinchamiento.

Además, es muy plástica y se contrae al secarse, con lo que su resistencia mejora y se vuelve impermeable.

Las bentonitas son suelos montmorilloníticos de grano muy fino que destacan por su elevada plasticidad y expansividad.



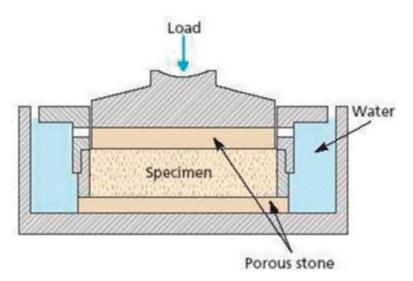
• La sepiolita y la paligorskita son un grupo de minerales de hábito fibroso ya que la capa basal de oxígenos es continua y los oxígenos apicales tienen una inversión periódica que da lugar a la interrupción de la capa octaédrica.



http://campus.usal.es/~delcien/doc/GA.PDF

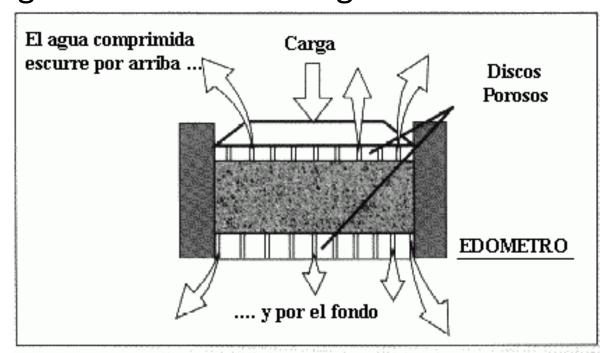
Ensayos de identificación de suelos

Su finalidad es determinar la velocidad y grado de asentamiento que experimentará una muestra de suelo arcilloso saturado al someterla a una serie de incrementos de presión o carga



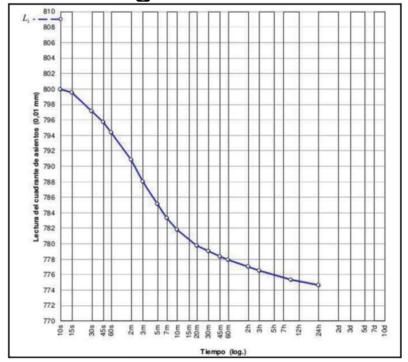
Esquema de un edómetro (González de Vallejo y Ferrer, 2011) https://geoquantics.com/2017/12/21/el-ensayo-edometrico/

En suelos granulares, la reducción de volumen de vacíos se produce casi instantáneamente cuando se aplica la carga; sin embargo, en suelos arcillosos tomará mayor tiempo, dependiendo de factores como el grado de saturación, el coeficiente de permeabilidad, la longitud de la trayectoria que tenga que recorrer el fluido expulsado, las condiciones de drenaje y la magnitud de la sobrecarga.



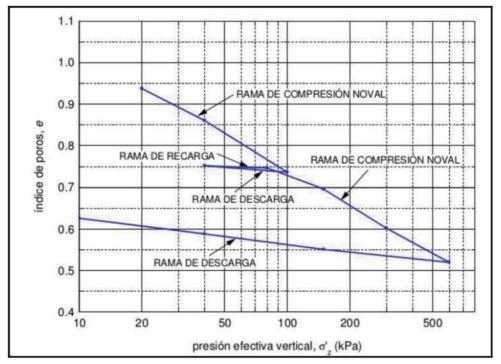
http://suelos2oocc.blogspot.com/2013/07/guia-ensayo-edometrico-o-de.html

El ensayo se realiza aplicando distintas cargas y midiendo la deformación producida en cada uno de los escalones de carga hasta que la deformación se estabilice. De esta manera se dibuja un gráfico deformación-tiempo. La curva obtenida para cada escalón de carga se llama *curva de consolidación* donde el tiempo se representa en escala logarítmica.



. (En: http://es.slideshare.net/fabiola232820/ capitulo4-55852646)

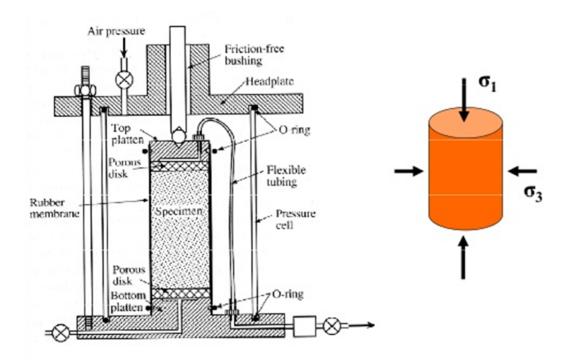
Una vez determinados los escalones de carga, normalmente 0,1 / 0,3 / 0,5 / 1,0 / 3,0 / 5,0 / 10,0 kg/cm², se procede a descargar según otros escalones, obteniéndose así la rama de descarga que representa la capacidad de recuperación del terreno. De este modo se mide la deformación que ha experimentado el suelo, dado que la partículas sólidas no se deforman.



- Ventaja: es un dispositivo tradicional y de uso normalizado que se encuentra en casi todos los laboratorios de mecánica de suelos. Es sencillo de operar.
- Desventaja: es una técnica que requiere una supervisión permanente hasta la finalización del ensayo, que puede durar días o semanas, dependiendo del espesor y actividad de la muestra.

Ensayo triaxial

La resistencia de un suelo, a diferencia de otros materiales, no es una propiedad invariable de este, sino que su valor oscila dentro de unos amplios límites, dependiendo de las condiciones particulares



https://es.slideshare.net/matucana64/05a-resistencia-al-corte

Ensayo triaxial

En el ensayo triaxial se somete una probeta cilíndrica, preparada con una relación altura-diámetro de dos y que se encuentra confinada por medio de una presión hidráulica constante, a una carga vertical creciente y constante hasta producir su rotura.

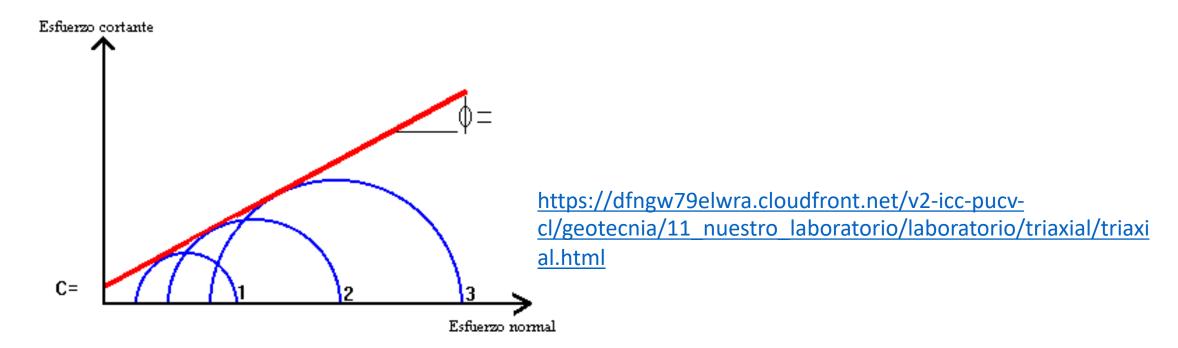
Con este tipo de ensayo se puede controlar las tensiones principales, el drenaje y la presión intersticial, y así conocer el comportamiento básico del suelo y sus características.

Durante todo el proceso de carga, hasta la rotura, se miden las deformaciones producidas en la probeta por las cargas correspondientes, de manera que se pueden obtener los datos necesarios para dibujar relación Tensiones-Deformaciones a lo largo de todo el proceso.

Ensayo triaxial

El proceso se repite con tres probetas iguales, cambiando únicamente en cada caso la presión de confinamiento.

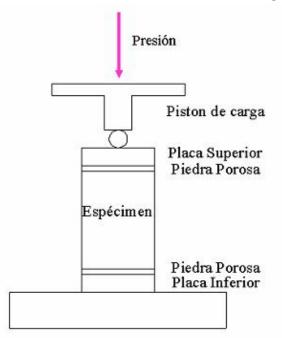
Con los resultados así obtenidos, se efectúa la construcción gráfica de los correspondientes círculos de Mohr para determinar los valores de la cohesión "e" y del ángulo de rozamiento interno" t



Ensayo de compresión simple

Es un ensayo relativamente sencillo que nos permite medir la carga última a la que un suelo sometido a una carga compresión falla.

<u>Consideraciones</u>: Es un ensayo muy solicitado por su bajo costo (sencillez de equipo y método) en relación a otros de equipo más especializado. Por otra parte, no es un método exacto por las simplificaciones que conlleva este ensayo.



Esquema del ensayo de compresión simple (Juárez y Rico, 2013)

Ensayo de compresión simple

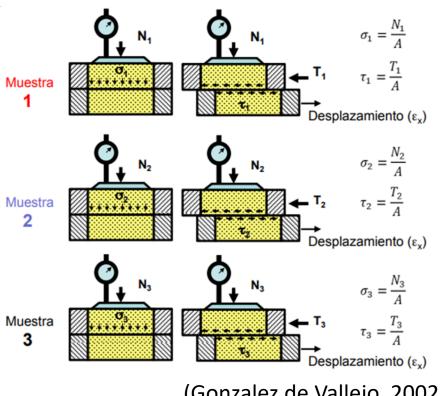
Puede considerarse que el ensayo de compresión simple es un caso particular del ensayo triaxial en el que la presión lateral es igual a cero.

El resultado que se obtiene es más conservador que en el triaxial ya que la presión lateral de confinamiento ayuda al suelo a resistir la carga, y al no existir ésta el valor obtenido sería inferior al real.

En el ensayo de compresión simple la deformación se mantiene constante, lo que se controla por medio del dial o deformímetro solidario a la muestra de suelo y el cronómetro, siendo la carga aplicada, o resistida, lo que varía y produce la forma de la curva esfuerzo-deformación.

Ensayo de corte directo

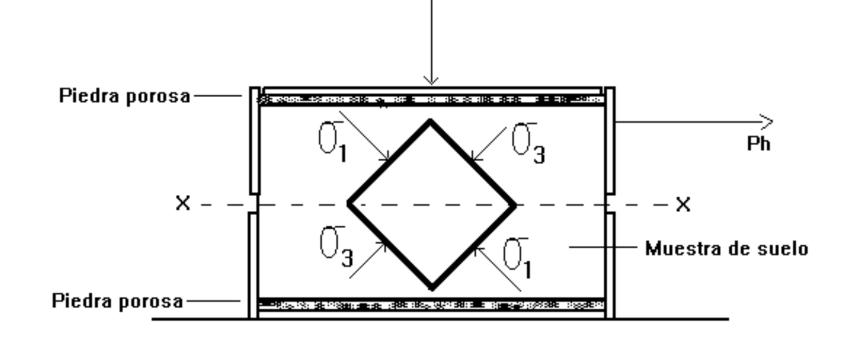
Consiste en hacer deslizar una porción de suelo, respecto a otra a lo largo de un plano de falla predeterminado mediante la acción de una fuerza de corte horizontal incrementada, mientras se aplica una carga normal al plano del movimiento. Simultáneamente se miden los desplazamientos horizontales.



(Gonzalez de Vallejo, 2002)

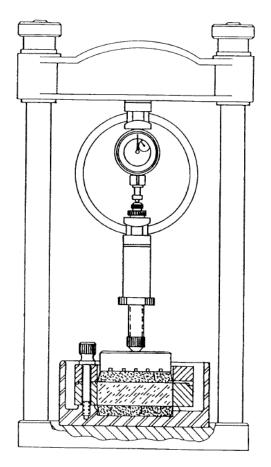
Ensayo de corte directo

El ensayo se suele realizar con tres probetas del mismo suelo a diferentes tensiones normales (σ_1 , σ_2 y σ_3), obteniendo los respectivos valores de resistencia al corte (τ_1 , τ_2 y τ_3) que nos permiten calcular el ángulo de rozamiento v la cohesión no drena



Ensayo de Lambe

Este ensayo sirve para determinar la presión máxima de hinchamiento de un suelo



Esquema del aparato de Lambe (ANEOR, norma UNE 103.600/93)

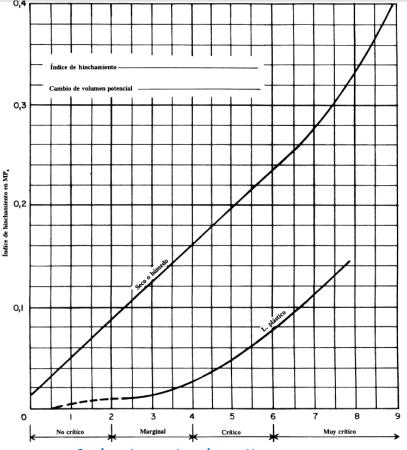
Ensayo de Lambe

- Se requiere la preparación de una probeta de suelo recompactada en unas condiciones estandarizadas de humedad inicial. A la probeta se la impide una expansión lateral.
- Una vez que se procede a la inundación de la célula se determina la tensión máxima de expansión mediante un anillo dinamométrico.
- El valor de esta tensión máxima de hinchamiento permite una clasificación cualitativa del material en función de unos ciertos grados de expansividad potencial.
- Como se parte de muestras disgregadas que se recompactan, el valor de la tensión máxima de hinchamiento no puede ser utilizado para predecir cuantitativamente la tensión máxima real.

Gráfica de Lambe

Se obtiene la clasificación del suelo (No crítico, Marginal, Crítico o Muy Crítico) en función de la tensión de hinchamiento obtenida (en ordenadas), trasladando el resultado a la gráfica que corresponda. (ANEOR, norma

UNE 103.600/93)



http://geotecnia.info/index.php/arcillas-expansivas-para-que-vale-y-para-que-no-vale-el-ensayo-de-lambe/

Materiales geológicos blandos

Suelos expansivos

Son suelos arcillosos cuya estructura mineralógica y fábrica les permite contraerse o expandirse debido a cambios de humedad.

Se corresponden con arcillas muy plásticas y con elevada presencia de montmorillonita.

El cambio de volumen está condicionado por factores: geológicos, variaciones climáticas, vegetación y cambios hidrológicos.

El comportamiento de estos suelos se caracteriza, además de por la expansión y contracción, por el desarrollo de presiones de expansión cuando está confinado.

Suelos expansivos

Son suelos con bajo grado de saturación que aumentan de volumen al humedecerse o saturarse. El potencial expansivo de un suelo generalmente está relacionado con su índice de plasticidad.

La expansividad de una arcilla puede incrementarse por el paso de agua a través del terreno con iones sodio, que aumentan la separación de la red cristalina de los minerales.

La expansividad de suelos puede derivar de la congelación del agua en el terreno o del hinchamiento por hidratación de anhidrita.

Causas de daños de suelos expansivos

Aunque son muy variadas, algunas de las más comunes son:

- Hinchamiento del suelo por aumento de la humedad debajo de edificios.
- Variaciones del nivel freático.
- Construcción a poca profundidad. Dentro de la zona activa.
- Rotura de conducciones de agua.
- Desecación de las arcillas por eliminación de raíces de árboles.

Posibles alternativas de solución

En caso de que los suelos expansivos sean poco profundos serán retirados antes de iniciar las obras y serán reemplazados por rellenos controlados compactados.

Otras posibles actuaciones:

Barreras de humedad flotantes, cimentación flotante, pilotes excavados, etc.

Geomembranas

Estabilización química con cemento, cal, cenizas volátiles, resinas.

Suelos licuefactables

Son suelos con un contenido predominante arenoso-limoso que, en estado saturado, al experimentar esfuerzos cortantes anómalos y rápidos, permiten un aumento de las presiones intersticiales (por falta de drenaje), hasta valores del orden de la presión total existente.

En este caso la presión efectiva se anula prácticamente, con lo que los granos dejan de estar en contacto, la resistencia al corte desaparece y el material se comporta como un líquido, dando lugar a movimientos verticales y horizontales de su masa, que se traducen en deslizamientos o en grandes asientos

Suelos dispersivos

El proceso de la dispersión tiene lugar cuando el suelo contiene agua y deflocula espontáneamente.

Están constituidos por arcillas dispersivas. Es decir, arcillas que por la naturaleza de su mineralogía y la química del agua en la masa del suelo, son susceptibles a la separación de las partículas individuales y a la posterior erosión a través de grietas en el suelo bajo la filtración de flujos.

La dispersión generalmente es causada por la repulsión electrostática entre las partículas de la arcilla.

Los flóculos están constituidos por partículas arcillosas y sales disueltas (>12%)

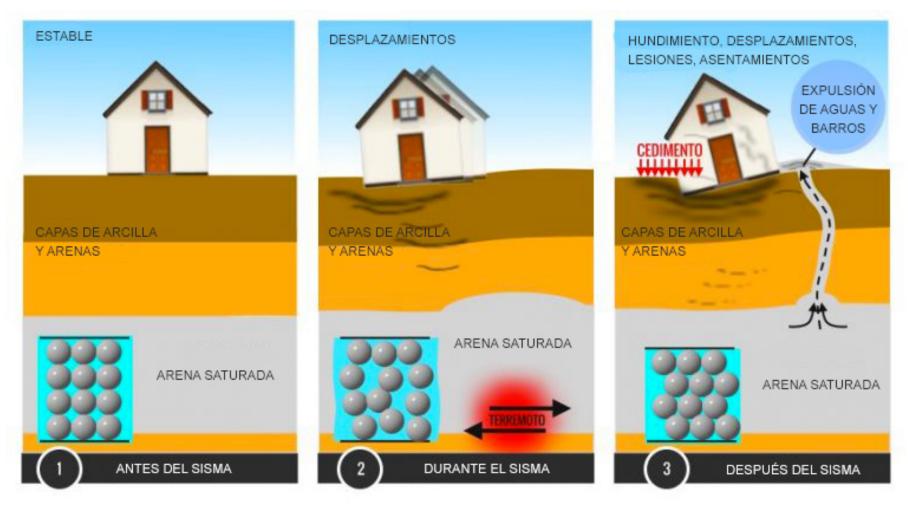
Suelos licuefactables

El tamaño de los granos, su uniformidad y la baja velocidad de sedimentación en aguas tranquilas, son factores que se conjugan para formar estructuras muy sueltas favoreciendo la licuefacción.

La resistencia a los esfuerzos cortantes del suelo se produce de forma rápida por una solicitación brusca sobre el suelo, tal como un seismo, un impacto, etc.

Los materiales en los que se puede dar este fenómeno son las arcillas saturadas muy sensibles, las arenas secas sueltas y las arenas limosas saturadas, sobre todo las de baja compacidad.

Proceso de licuefacción



https://www.geosec.es/mejora-de-terreno/licuefaccion-terrenos/planificacion-y-control/

Problemática de los suelos licuefactables

Según el tipo de suelo al que está asociado podemos diferenciar:

Arcillas saturadas: en estas arcillas se ha producido el proceso de sustitución de agua salada inicialmente presente por agua dulce con disminución de la resistencia al esfuerzo cortante y aumento de la sensibilidad.

La arcilla se comporta como un líquido ya que la falta de iones sódicos en el agua impide la reestructuración.

Arenas secas sueltas: el proceso de licuefacción tiene el mismo mecanismo que en el caso anterior con la diferencia de que la presión de poro se genera en el aire de los vacíos y no en el agua.

Arenas limosas saturadas: la licuefacción se produce por el desarrollo de elevadas presiones intersticiales de forma rápida (sin drenaje) en suelos afectados por terremotos.

Suelos colapsables

Son aquellos que cambian violentamente de volumen por acción combinada o individual al ser sometido a un incremento de carga o al humedecerse o saturarse.

La estructura de estos suelos es abierta y floja con partículas de mayor tamaño separadas por espacios abiertos, y unidas entre sí por puentes de material arcilloso.

La granulometría presenta predominio de limos y arcillas.

El colapso suele manifestarse por un asiento brusco del terreno.

Condiciones para el colapso

Para que una estructura colapse se tienen que dar unas condiciones:

- Que no se haya identificado inicialmente la potencialidad de colapso del suelo.
- Que se desarrollen unas condiciones que favorezcan el potencial colapso: fugas de agua, riego de jardines,.....
- Implantación de infraestructuras inadecuadas con el tipo de suelo: saneamiento, drenaje,......
- Concentración de tensiones.

Técnicas de densificación

Densificación

El suelo como material ingenieril puede ser modificado para darle las características deseadas a través de métodos aplicados in situ o mediante la construcción de rellenos artificiales.

La densificación es la compactación in situ de los suelos, principalmente de tipo granular, con el objeto de aumentar su densidad.

Los objetivos son dotar al suelo de una mayor capacidad de carga y la prevención de asentamientos, para lo cual se han desarrollado diferentes técnicas: densificación, sobrecarga, nivelación y construcción de rellenos.

Densificación

- Los diferentes métodos para mejorar los terrenos, deben ser, ante todo, económicos. Las ventajas de estas técnicas en comparación con otros métodos de cimentación, como las cimentaciones profundas (pilotes «in situ», módulos portantes, etc.), son las siguientes:
 - No precisan excavaciones.
 - Condiciones de cimentación similares a los suelos naturales con suficiente capacidad de carga.

Métodos de densificación de suelos

Físicos:

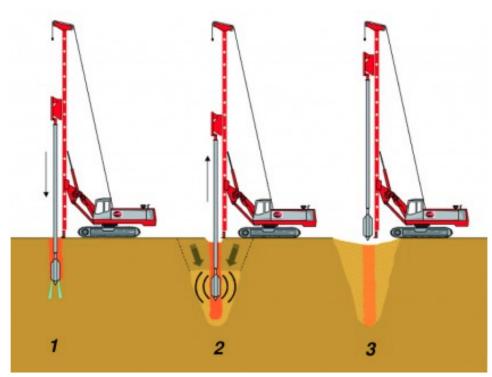
- Confinamiento
- Consolidación previa
- Vibroflotación
- Mezcla de suelos

Químicos:

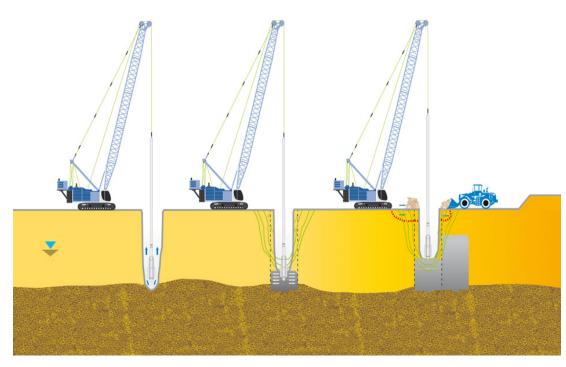
Estabilización del suelo mediante cal, cemento, asfalto.

Compactación mecánica: aplicación de técnicas que aumentan la densidad seca para incrementar la resistencia y disminuir la capacidad de deformación del suelo.

Técnicas de densificación



Vibrocompactación



Vibroflotación

http://tecnosuelo.com.mx/tecnosuelo/vibrocompactacion/

https://www.trevispa.com/es/Tecnolog%C3%ADas/vibroflotaci%C3%B3n

Drenajes

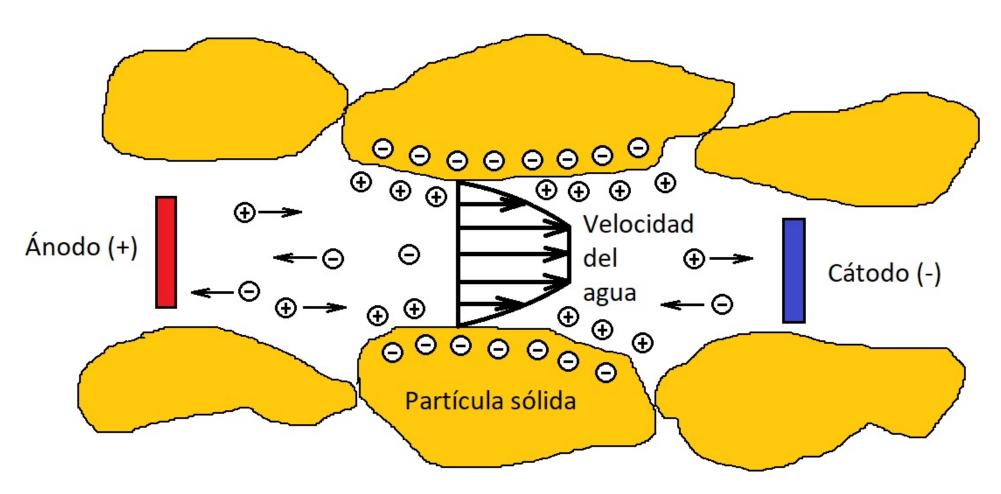
Drenajes

El drenaje se aplica para disminuir la resistencia de los suelos sometidos a un aumento de la cantidad y presión del agua de los poros.

En los suelos granulares, la capa de agua freática se puede profundizar mediante el uso de bombas y pozos verticales.

En los limos el drenaje resulta más difícil por lo que se puede recurrir al drenaje eléctrico. En este método el agua fluye hacia el cátodo cuando se hace pasar una corriente directa a través de suelos saturados. A continuación, el agua es expulsada por bombeo.

Drenaje eléctrico



Proceso de electroósmosis (Terrancorp.com, 2014)

https://victoryepes.blogs.upv.es/2019/06/28/electroosmosis-como-tecnica-de-drenaje-del-terreno/

Bibliografía

- "Ingeniería Geológica". González Vallejo et al. Prentice Hall. Madrid. 2002
- "Mecánica de Suelos, Tomo I. Fundamentos de la Mecánica de Suelos".
 Juárez, E y Rico, A. Limusa. México. 2013.

Enlaces online

- https://www.academia.edu/43106291/LIBRO_MECANICA_DE_SUELOS_ UNINACIONAL_120200519_4880_1flcrwb?email_work_card=view-paper
- file:///C:/Users/Administrador/Downloads/INTRODUCCION_A_LA_GEOTE CNIA_TIPOS_Y_PROP%20(3).pdf
- file:///C:/Users/Administrador/Downloads/coluviones%20completo%201.pd
- http://petercach.blogspot.com/2012/05/depositos-recientes-formaciony.html

- https://www.slideshare.net/mariaeugeniagilhernandez/iii-ingenierageolgica-procesos-exgenos
- https://biologiadelsuelo2015.wordpress.com/fase-gaseosa/
- http://es.slideshare.net/fabiola232820/capitulo4-55852646
- http://campus.usal.es/~delcien/doc/GA.PDF
- http://suelos2oocc.blogspot.com/2013/07/guia-ensayo-edometrico-ode.html
- http://es.slideshare.net/fabiola232820/ capitulo4-55852646)
- http://www.estudiosgeotecnicos.info/index.php/ensayos-de-laboratorioresistencia-de-los-suelos-1/
- http://www.estudiosgeotecnicos.info/index.php/ensayos-de-laboratorioresistencia-de-los-suelos-2-ensayo-de-corte-directo
- https://dfngw79elwra.cloudfront.net/v2-icc-pucvcl/geotecnia/11_nuestro_laboratorio/laboratorio/triaxial/triaxial.html

- http://geotecnia.info/index.php/arcillas-expansivas-para-que-vale-y-para-que-novale-el-ensayo-de-lambe/
- https://www.geosec.es/mejora-de-terreno/licuefaccion-terrenos/planificacion-ycontrol/
- https://geoquantics.com/2020/05/27/problemas-geotecnicos-suelos-licuefaccionsifonamiento/
- http://tecnosuelo.com.mx/tecnosuelo/vibrocompactacion/
- https://www.trevispa.com/es/Tecnolog%C3%ADas/vibroflotaci%C3%B3n
- https://victoryepes.blogs.upv.es/2019/06/28/electroosmosis-como-tecnica-dedrenaje-del-terreno/
- http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/109/html/sec_6.
 html