

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA - FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO			
DNC	ESTRUCTURAS – NIVEL 2 - PLAN DE ESTUDIOS 6		
GE5	Taller: VERTICAL III – DELALOYE - NICO - CLIVIO		
	Guía de estudio nro. 5: INTRODUCCION A LA MECANICA DE SUELOS		
2014	Elaboró: Ing. Alejandro Nico	Revisión: 0	Fecha junio de 2014

Algunas de las imágenes de esta guía han sido tomadas de Apuntes y Clases de la cátedra de la facultad de Ingeniería del Ingeniero Augusto Leoni,

1.-INTRODUCCION

Se denomina **suelo** a la capa superficial de la corteza terrestre, que resulta de la descomposición de las rocas por los cambios bruscos de temperatura y por la acción del agua, del viento y de los seres vivos y desde el punto de vista de las estructuras resistentes tiene una fundamental importancia por dos aspectos principales:

1.- Es el material encargado de “soportar” o resistir las cargas que transmite la estructura a través de sus fundaciones y de acuerdo a su granulometría, compacidad y composición química, un suelo puede ofrecer dos tipos de resistencia: **de punta o fuste**

2.- En los casos de estructuras de contención, el suelo “**empuja**” a las mismas debiéndose adoptar las previsiones para “**tomar**” los esfuerzos que ese empuje provoca.

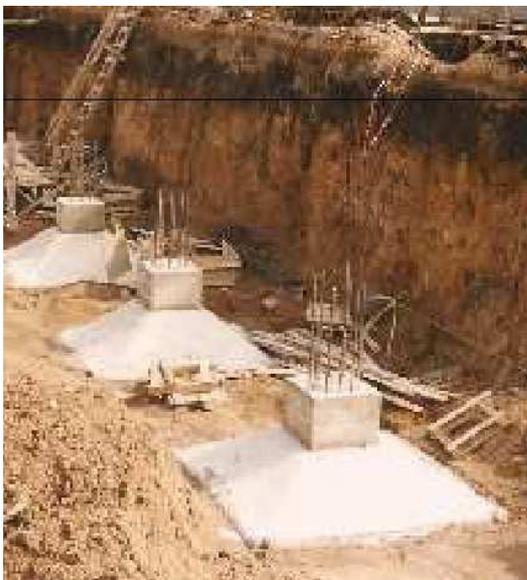


Figura 1. Bases Aisladas



Figura 2 Muro de contención de una excavación

El estudio del suelo desde el punto de vista de su comportamiento estructural es una materia en si mismo (**Mecánica de suelos**) y su conocimiento completo escapa a los alcances de esta guía. Sin embargo se detallan a continuación algunos aspectos básicos necesarios que permitan entender los causas y efectos sobre los 2 puntos anteriores.

2.- SUELOS

El **suelo** está compuesto por un conjunto de partículas de diferentes formas y tamaños y que de acuerdo a su granulometría van a formar mantos de distintas características. La figura siguiente muestra los denominados tamices de distintos tamaños de paso, que permiten separar los distintos tamaños de partículas y conocer su granulometría. En la foto de la derecha el resultado de esa separación:



Fig. 3 Tamices para realizar una Granulometría de un suelo

El comportamiento de cada suelo frente a diferentes esfuerzos depende entre otras cosas, de la cantidad y tamaño de las partículas que conforman ese suelo.

Así y de acuerdo a lo anterior se distinguen distintos tipos de suelos, que en general se agrupan en:

SUELOS FINOS: Son suelos formados por partículas de tamaños muy pequeños (menores a 74 micrones (0,074 mm) y que justamente por la pequeñez de sus partículas, tienen mucha fuerza de atracción interna y junto con el agua forman suelos **muy cohesivos** ("pegajosos"). Dentro de los suelos finos, a los más finos se los conoce como **ARCILLAS** (menores a 2 micrones) y a los más gruesos **LIMOS** (de 2 a 74 micrones)

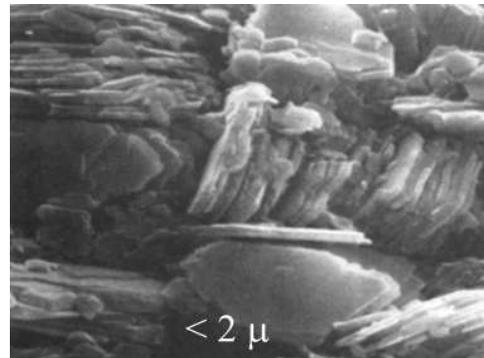


Fig. 4 Foto microscópica de una arcilla



SUELOS GRUESOS: Son suelos con partículas mayores a 74 micrones. Con granos mucho más importantes, estos suelos no presentan cohesión pero si tienen, en general una **alta resistencia friccional**,

Fig. 5. Distintas granulometrías de suelos gruesos

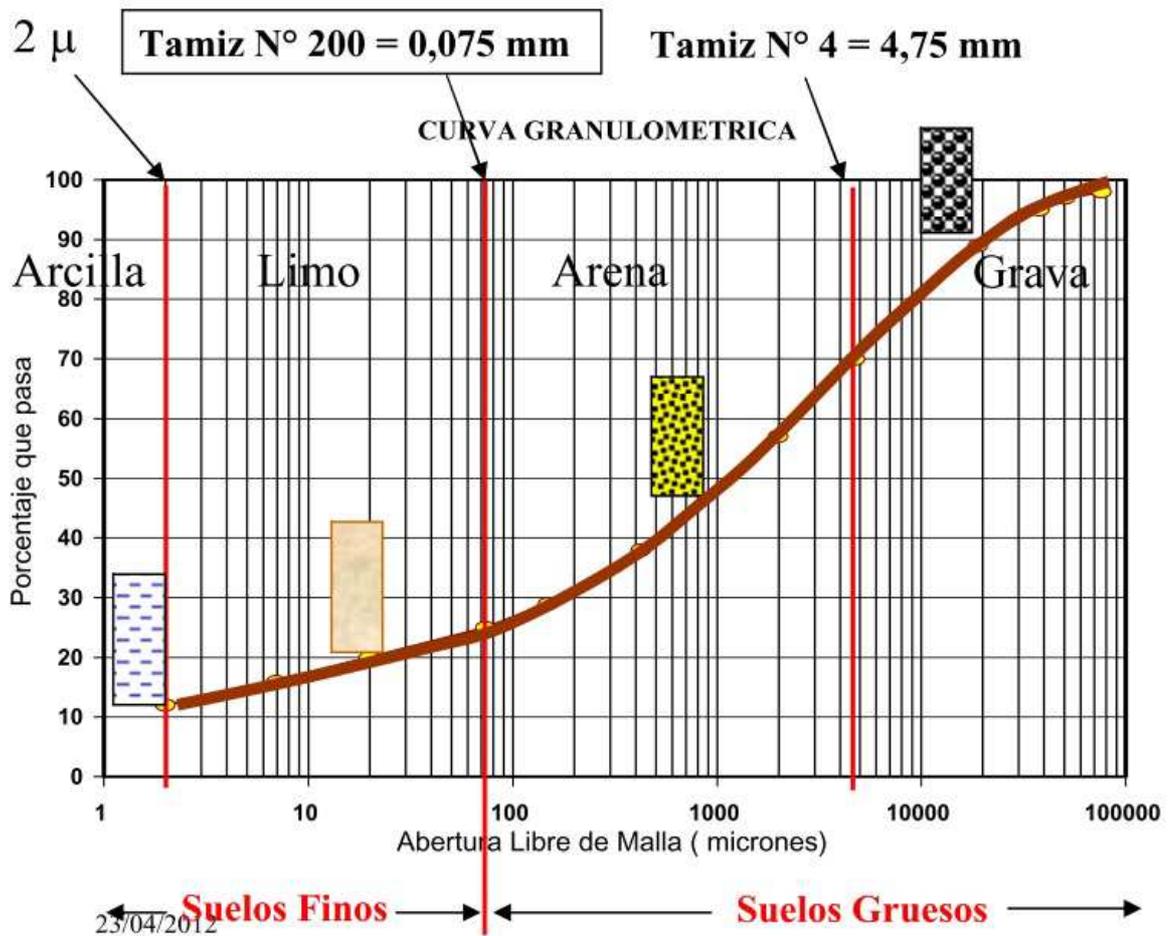


Figura 6: CURVA GRANULOMETRICA SEGÚN LOS PORCENTAJES RETENIDOS ACUMULADOS EN TAMICES DE DISTINTA ABERTURA

Las propiedades resistentes de un suelo también se verán influenciadas no solo por su tamaño, sino por la distribución y la cantidad de cada uno de los tamaños en cada tipo de suelo. La figura siguiente muestra dos casos extremos de distribución: Por un lado la denominada **granulometría continua**, donde cada uno de los distintos tamaños menores van ocupando los espacios dejados por los mayores. Este tipo de granulometría es óptima en cuanto a su capacidad resistente. En el otro extremo tenemos la granulometría denominada **uniforme** donde quedan grandes espacios sin cubrir y sobrepresiones en los puntos de contacto entre cada partícula haciendo el suelo menos resistente

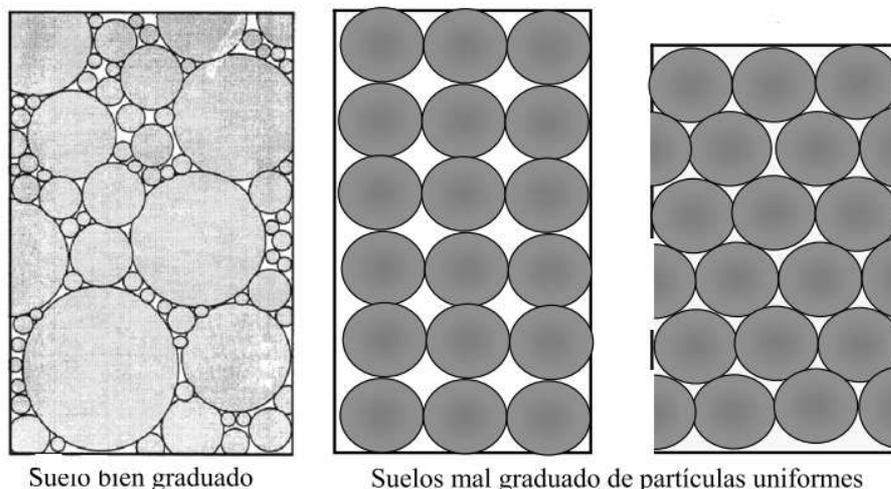
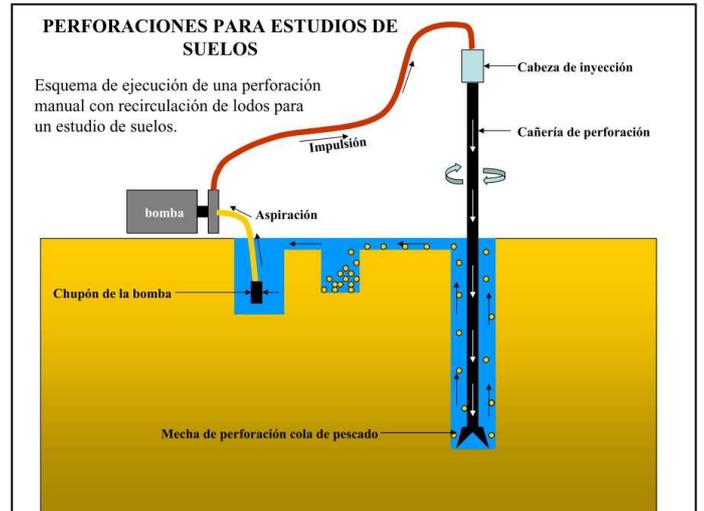


Figura 7: POSIBLES TIPOS DE GRANULOMETRIA DE SUELOS

3.- ESTUDIO DE SUELOS

El conocimiento de todas las propiedades del suelo, es entonces, necesario para el correcto dimensionado de las fundaciones de una estructura. Esto se consigue a través del denominado "**estudio de suelos**", realizado por consultoras especialistas en el tema, y basado en la investigación del comportamiento y muestreo de una perforación realizada hasta profundidades relativamente importantes



Es común, sobre todo en estructuras de poca importancia, "evitar" el estudio de suelos buscando una "falsa" economía de obra. Efectivamente, si uno proyecta las fundaciones sin el conocimiento exacto del manto resistente, seguramente estimara la resistencia del mismo de la manera que mejor pueda (intuición, conocimiento de los vecinos, "experiencia" de los poceros, etc.). Esto llevara seguramente a dos posibles errores:

- Si la resistencia estimada es mayor que la que realmente tiene el suelo, la estructura "se hundirá" con las consecuencias que se verán más adelante.
- Si la resistencia estimada es menor que la real, entonces se habrá "desperdiciado" material al proyectar fundaciones mayores que las que realmente hubiesen hecho falta.

Además, no debe perderse de vista, que el "falso ahorro" que se intenta realizar al no hacer el estudio de suelo, seguramente reeditara en el bolsillo del propietario, mientras que si algún problema se suscita la responsabilidad será del profesional actuante.



12.- ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS Y CONCLUSIONES

12.1- Fundación directa con bases aisladas:

Teniendo en cuenta las características de resistencia y de deformación de los distintos mantos que conforman la estratigrafía del área estudiada, consideramos factible que las fundaciones se materialicen con una fundación directa, mediante bases aisladas apoyadas a los siguientes niveles:

Nivel de fundación	Tensión admisible
-2,00 m	1,50 kg/cm ²
-3,00 m	2,00 kg/cm ²
-4,00 m	2,50 kg/cm ²

12.2.- Fundación indirecta con cilindros de fundación

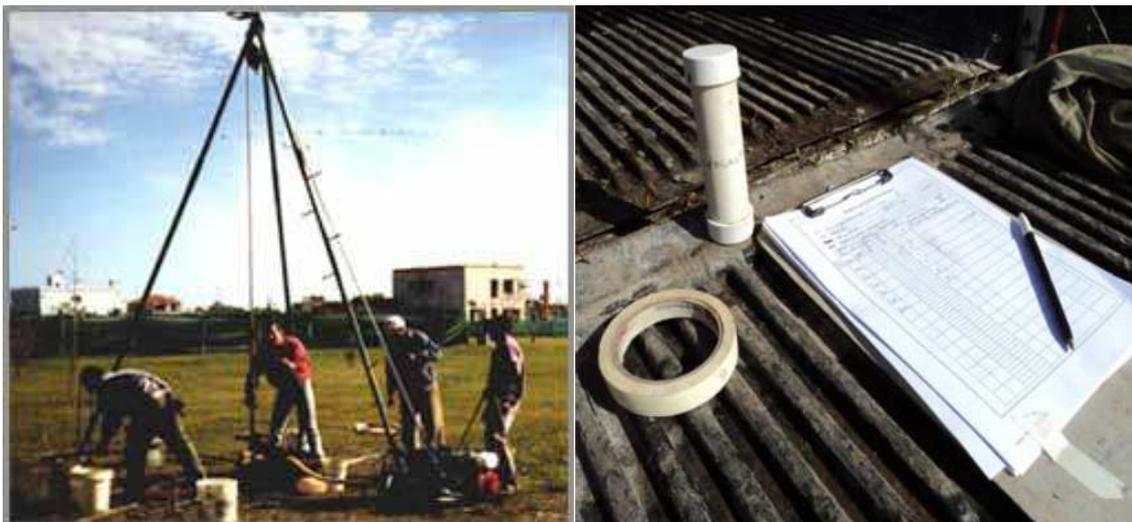
Teniendo en cuenta las características de resistencia y de deformación de los distintos mantos que conforman la estratigrafía del área estudiada, consideramos factible que las fundaciones se materialicen con cilindros de fundación, pre-perforados y hormigonados in situ, calculados teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

Diámetro:	0,90 m
Profundidad de la Punta:	-6,00 m
Tensión Admisible de Punta:	147 tn/m ²
Tensiones Admisibles de Fuste:	
Entre T.N. y -5,00 m	1,50 tn/m ²
Entre -5,00 m y -6,00 m	4,20 tn/m ²
Carga admisible total:	126 tn

Figura 9: RECOMENDACIONES FUNDACIONALES DE UN ESTUDIO DE SUELO

3.1.- INFORMACION DE UN ESTUDIO DE SUELOS

De la perforación realizada se sacan muestras a distintas perforaciones que permitirán conocer las propiedades de los suelos de los distintos estratos.



PERFORACION

TUBO SACAMUESTRAS

Figura 10: EJECUCION DE UN ESTUDIO DE SUELOS

Esta información se vuelca en las distintas columnas del estudio de suelo mostrado en la página anterior, a saber:

A.- DESCRIPCION:

Donde se indica el tipo de suelo, color y si tiene alguna característica particular.

B.-CLASIFICACION:

Es una clasificación mediante el denominado SISTEMA UNIFICADO DE CASAGRANDE, que contempla distintas clasificaciones: CL – CH – ML – MH, donde C significa arcilla (Clay), M limo (Mud), L baja compresibilidad (Low) y H alta compresibilidad (High) etc etc.

C.- PROPIEDADES INDICES DEL SUELO. HUMEDAD NATURAL - LIMITE PLASTICO - LIMITE LIQUIDO - INDICE DE PLASTICIDAD

Los suelos, especialmente los finos, tienen diferentes comportamientos de acuerdo a la humedad que posean. Por un lado, cada suelo en su estado in situ, tendrá lo que se denomina humedad natural. Pero para poder predecir cómo se comportará cada suelo frente a cambios del contenido de humedad se utilizan los LÍMITES DE ATTERBERG o límites de consistencia. Estos límites se basan en el concepto de que, en un suelo de grano fino, pueden existir cuatro estados de consistencia según su humedad. Así, un suelo se encuentra en estado sólido, cuando está seco. Al agregársele agua poco a poco va pasando sucesivamente a los estados de semisólido, plástico, y finalmente líquido. Los contenidos de humedad en los puntos de transición de un estado al otro son los denominados límites de Atterberg.

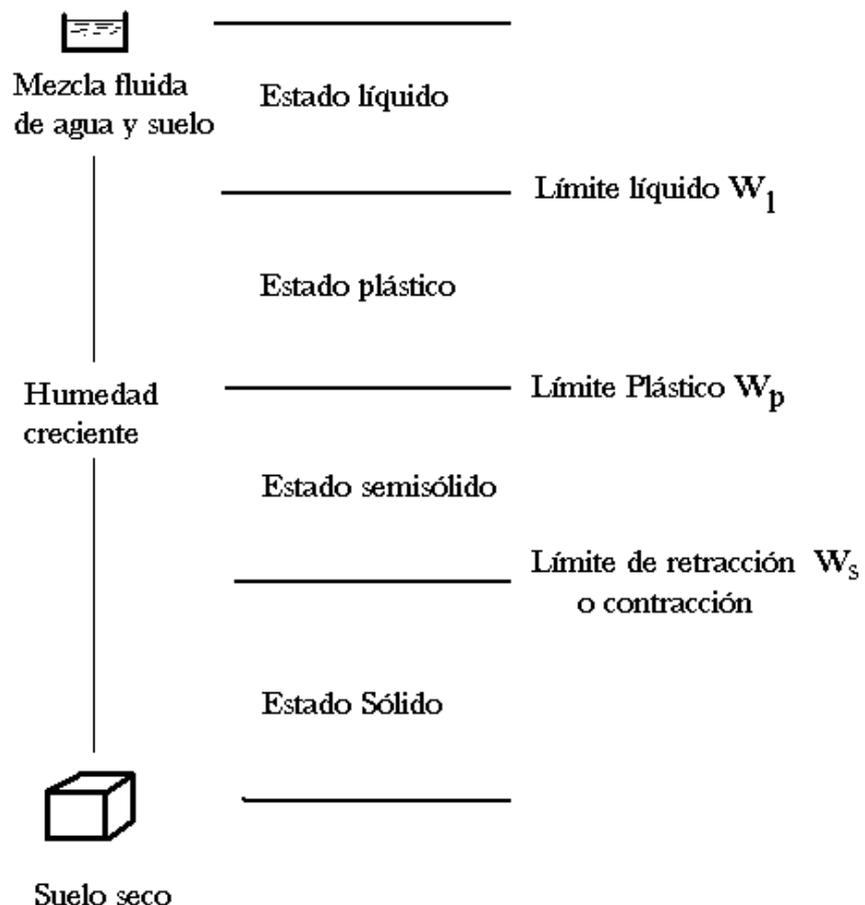


Figura 11: DISTINTAS HUMEDADES DE UN SUELO

Los ensayos para determinarlos se realizan en el laboratorio y miden la cohesión del terreno y su contenido de humedad,

1. LÍMITE LÍQUIDO: Cuando el suelo pasa de un estado líquido a un estado plástico. Para la determinación de este límite se utiliza la cuchara de Casagrande y se determina la humedad necesaria en el suelo para cerrar la caladura en una determinada cantidad de golpes



2. LÍMITE PLÁSTICO: Cuando el suelo pasa de un estado plástico a un estado semisólido y se rompe. Se moldean cilindros de 3 mm de diámetro y se determina la humedad para la cual se observan fisuras transversales



3. ÍNDICE DE PLASTICIDAD es la diferencia de humedades necesarias para cada uno de los límites anteriores y define el campo plástico de un suelo. Este valor permite determinar los parámetros de asentamiento de un suelo y su expansividad potencial. Suelos con bajo IP y bajo Límite líquido, son de baja compresibilidad e inversamente altos IP (> a 20%) son de alta compresibilidad

Un Índice de plasticidad bajo, como por ejemplo del 5%, significa que un pequeño incremento en el con tenor de humedad del suelo, lo transforma de semisólido a la condición de líquido, es decir resulta muy sensible a los cambios de humedad. Por el contrario, un índice de plasticidad alto, como por ejemplo del 20%, indica que para que un suelo pase del estado semisólido al líquido, se le debe agregar gran cantidad de agua.

D.- ENSAYO NORMAL DE PENETRACION (ENP)

Este ensayo de campo se va realizando a distintos niveles a medida que progresa la perforación y consiste en medir la cantidad de golpes que hay que provocarle al sacamuestra normalizado de Terzaghi, ubicado en la punta de la camisa de perforación, para hincarla en el suelo 30 cm. La energía de cada golpe se da soltando un peso 63.5 kg desde 75 cm altura. Este número, junto con otras propiedades del suelo (índices de plasticidad, Angulo de fricción, cohesión) dan una idea de la resistencia y deformabilidad del mismo a esfuerzos de compresión

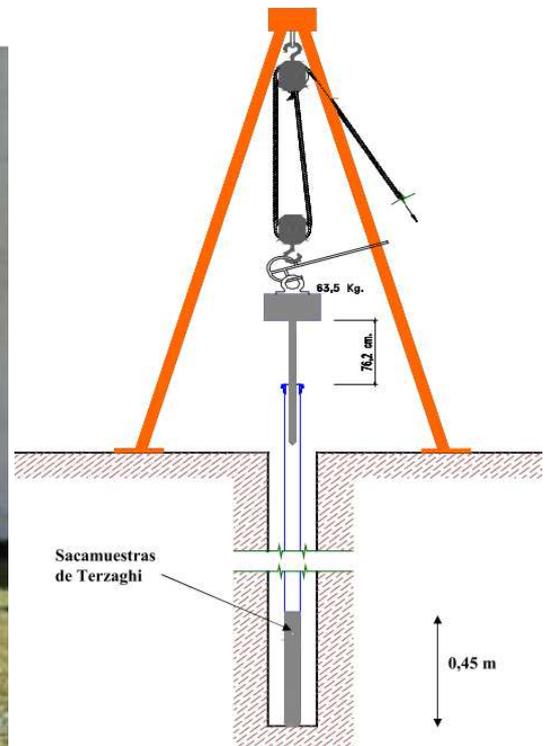


Figura 12: ENSAYO NORMAL DE PENETRACION (ENP o SPT)

E.-ANGULO DE FRICCION O CORTE Y COHESION (Φ y c),

En las siguientes columnas del estudio de suelos, aparecen indicados dos parámetros Φ , Angulo de fricción interna del suelo, y c cohesión del suelo en kg/cm^2 . Ambos parámetros aparte de incidir sobre la resistencia que aporta el suelo a esfuerzos de compresión o corte, también inciden sobre la capacidad del suelo de empujar o desmoronarse frente a una eventual excavación.

El Angulo de fricción es principalmente propio de los suelos gruesos y es el Angulo de "reposo" que tomaría una pila del suelo en cuestión cuando se lo deja caer naturalmente. Intentar sostener ángulos mayores tiende al acomodamiento de la pila, con la consecuente incidencia en el desmoronamiento



Fig. 13: Angulo de fricción de un suelo granular

En cambio la cohesión, es una propiedad de los suelos finos, producto de fuerzas internas de atracción entre las pequeñas partículas y el agua intersticial. Esta cohesión es la que, por un lado, permite diseñar algunas fundaciones con el aporte del "pegamento" del suelo sobre una superficie vertical (pilotes) y por el otro hace que este tipo de suelos tenga "una cierta capacidad" de mantener la verticalidad sin desmoronarse.

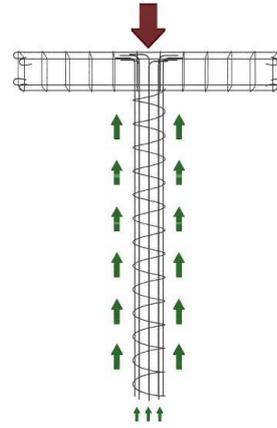


Figura 14: Tensión de fuste de un suelo cohesivo

F.-DENSIDAD

Finalmente, en la última columna el estudio de suelos nos indica la densidad o peso de la unidad de volumen del mismo a las distintas profundidades. El conocimiento de este valor también será necesario por su incidencia en el empuje que los suelos provocan.

F.- NAPA FREÁTICA

El estudio de suelos también indicara la profundidad de la napa freática, valor cuyo conocimiento puede ser muy importante respecto a su incidencia constructiva sobre excavaciones, ya sea para sótanos o fundaciones.

Efectivamente, si el nivel de la napa freática fuese superior al nivel requerido por la obra, habrá que tomar precauciones para ejecutar y dimensionar la obra.



Figura 15: Napa freática en una excavación

Además la eventual presencia de la napa freática por encima del nivel de construcción del piso de un subsuelo genera sobre el piso o platea del mismo un empuje hacia arriba que deberá ser tenido en cuenta en el dimensionado estructural.

En cualquier caso hay mecanismos que permiten "deprimir la napa" realizando perforaciones en las zonas afectadas y extraer el agua que se va acumulando. La cantidad y ubicación las de perforaciones dependerá de la permeabilidad del suelo (valor otorgado también por el estudio de suelos) y la capacidad de las bombas colocadas. Hay empresas especializadas que se dedican a este tema.

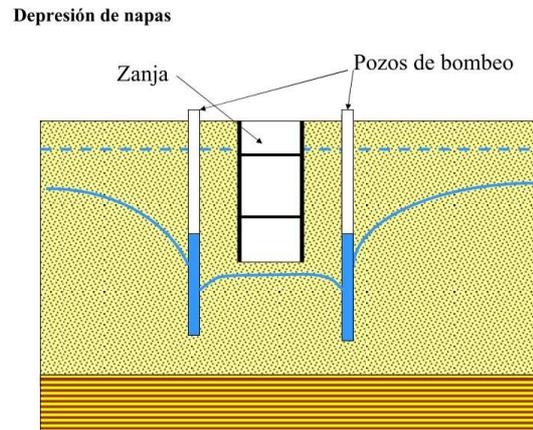
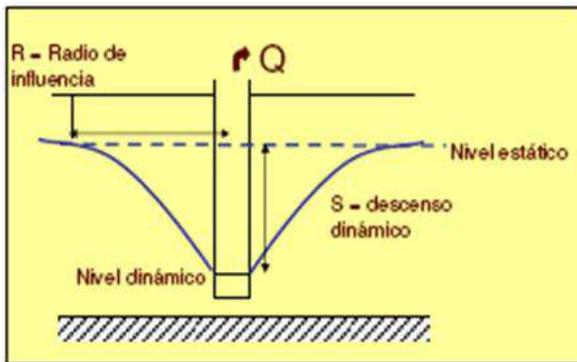


Figura 16: ESQUEMA DE DEPRESIÓN DE LA NAPA FREÁTICA

3.2.- ARCILLAS EXPANSIVAS

Un comentario aparte, por su habitualidad y por los daños que pueden ocasionar, son las llamadas **ARCILLAS EXPANSIVAS**.

Efectivamente, esas partículas micrométricas al humedecerse cubren su superficie de una pequeña capa de agua que "aumenta" su tamaño y en todo el conjunto se provoca una expansión. (O contracción, en el sentido contrario de secado). Esta expansión, provoca tensiones o fuerzas sobre los elementos de una edificación de tal magnitud que puede provocar la rotura de los mismos (vigas de fundación, pisos, etc.).



Figura 17: EFECTO DE UN SUELO EXPANSIVO

Entonces, si se está en presencia de este tipo de suelos, hay que tomar alguna serie de recaudos para que una eventual expansión (recordar que esta ocurre solo si el suelo modifica su tenor original de humedad) no ocasione problemas sobre la construcción. Estas precauciones están orientadas entonces a:

- impedir que se modifique el tenor de humedad del suelo
- intercalar entre el suelo y la construcción mantos "esponjosos" que permitan la expansión sin generación de esfuerzos

Concretamente las recomendaciones habituales son:

- Reemplazar parte del manto arcilloso por un suelo normal o cascote suelto, que sea capaz de actuar como esponja
- Colocar debajo de la vigas de fundación nuevamente cascote suelto o planchas de telgopor con la misma finalidad anterior
- Armar superiormente las vigas de fundación para absorber eventuales momentos negativos producidos por la fuerza del suelo hacia arriba



Fig. 18: Telgopor debajo de V.de Fundación

- Construir una vereda perimetral alrededor de la edificación para disminuir la posibilidad de ingreso de humedad debajo de la estructura
- Inundar el terreno previo a la ejecución de la obra.

4.-EMPUJES DE SUELOS

El otro aspecto que debe tenerse respecto a la incidencia del tipo de suelo en relación a aspectos constructivos o estructurales es simplemente que.....EL SUELO EMPUJA

Efectivamente, cuando se realiza un pozo en el suelo, y dependiendo de su tipo se podrán observar distintos comportamientos:

Si es un suelo arenoso, y salvo que este ligeramente humedecido, se desmoronará siguiendo, como ya se mencionó anteriormente, el Angulo de fricción interna



En cambio si el suelo es arcilloso, con cierta cohesión, también dependiendo de la humedad natural que posea, tendrá capacidad de mantener un talud hasta cierta profundidad sin desmoronarse



Y en general habrá suelos con distintas características y humedades que tendrán distintos comportamientos...pero en cualquier caso siempre tenderán a perder la verticalidad y a desmoronarse, tanto más cuanto más profunda sea la excavación y más humedad tenga. Es por ello que el conocimiento de este empuje es indispensable para tomar las precauciones necesarias cuando se ejecute este tipo de obras.



Figura 19: DERRUMBE PRODUCTO DE UNA EXCAVACION

4.1.- NOCIONES DE EMPUJE

Para comprender mejor como es el proceso que hace que un suelo empuje sobre una pantalla de contención o, tienda a desmoronarse, supóngase una pared o tabique de un tanque de agua. Por la presión hidrostática el agua genera en cada nivel de profundidad h una presión igual al peso específico del agua γ por la mencionada profundidad.

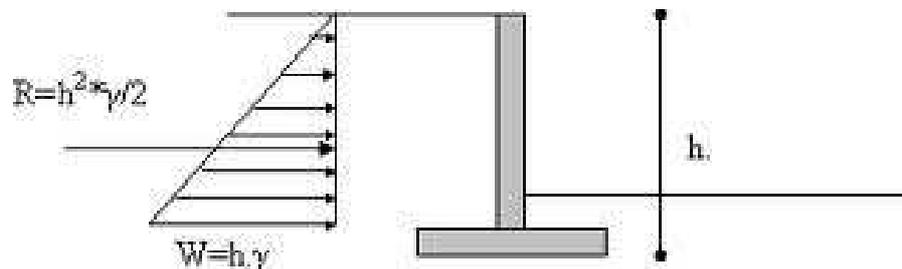


Figura 20: Empuje de un fluido ideal

Si, en cambio, en lugar de agua, lo que empujara fuese un suelo que actuara como un fluido también ejercería una presión $S_{\text{suelo}} = \gamma_{\text{suelo}} \times h$. pero....como no es un fluido y tiene comportamientos "sólidos" se plantea una situación intermedia

$$S_{\text{suelo}} = k \times h \times \gamma_{\text{suelo}}$$

Donde **k** es el llamado “coeficiente de empuje del suelo”

El coeficiente **k** depende del tipo de suelo, de su cohesión y de su Angulo de fricción interna

W_{suelo} , es la tensión que produce el suelo en cada profundidad h , y existirá una Fuerza total sobre el paramento que se llama E_a , empuje activo, a diferencia del E_p , que es el empuje que ofrece el suelo cuando se lo intenta comprimir:



Figura 21: EMPUJE ACTIVO Y PASIVO DE UN SUELO

En conclusión, y de acuerdo a todo lo anterior el suelo ejercerá un empuje, o tenderá a desmoronarse, si no tiene donde empujar, en una cantidad que dependerá de la cohesión, el Angulo de fricción, y su Peso de la unidad de volumen

En realidad para el suelo, y debido a su cohesión y fricción, el diagrama de empujes no siempre es estrictamente triangular sino que puede tomar formas diversas.

A los efectos prácticos resulta cómoda la utilización de los diagramas de empujes recomendados por el código de edificación de la ciudad de Buenos Aires.

Arcillas compactas	Arcillas y limos de origen eólico (Loess Pampeano) compactas fuertemente preconsolidadas por desecación	Arcillas blandas	Arenas	Arenas y arcillas
<p>$K_A \gamma H$</p> <p>$K_A = 0,2 - 0,4$</p>	<p>$0,15 HK_w$</p> <p>$0,10 K\gamma_w$</p> <p>$\gamma_w = 1 \text{tm}^3$</p>	<p>$0,25 H$</p> <p>$0,75 H$</p> <p>$K'_A \gamma H$</p> <p>$K'_A = 1 - m \frac{4c}{\gamma H}$</p> <p>$m = 0,7$</p>	<p>$0,65 K_A \gamma H$</p> <p>$K_A = \text{tg}^2(45 - \frac{\phi}{2})$</p>	<p>$K'_A \gamma h$</p> <p>$\gamma h - 2c$</p> <p>$\gamma H - 2c$</p> <p>$K'_A = 1,3 K_A$</p> <p>En todos los casos $\gamma h - 2c > 0$</p>

Figura 21: EMPUJE ACTIVO DE UN SUELO SEGÚN EL CODIGO DE EDIFICACION DE LA CIUDAD DE BUENOS AIRES

4.1.1.- ALTURA CRÍTICA:

Como ya se comentó cada suelo, si bien tiende a empujar, debido a su cohesión y fricción, también tiene cierta capacidad de mantenerse estable hasta una cierta altura (donde las fuerzas desestabilizantes superan a las resistentes por cohesión y fricción).

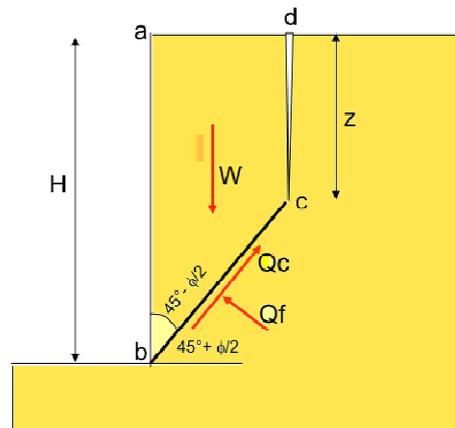
En otras palabras existe una profundidad de excavación hasta la cual el suelo no tiende a desmoronarse. A esa profundidad se la llama Altura crítica H_c , y se puede calcular mediante:

$$H_c = \frac{4 \cdot c \cdot \sqrt{N\phi}}{\gamma_h}$$

$$\tan^2(45^\circ + \phi/2) = N_\phi$$

La ecuación anterior parte de conceptos teóricos y se prefiere adoptar la siguiente expresión por la eventualidad que se produzca una fisura d , que disminuya la cohesión c en una altura z (que provee una altura de excavación "sin derrumbe" menor que la anterior H_c):

$$H = 2,67 \cdot \frac{c \cdot \sqrt{N\phi}}{\gamma}$$



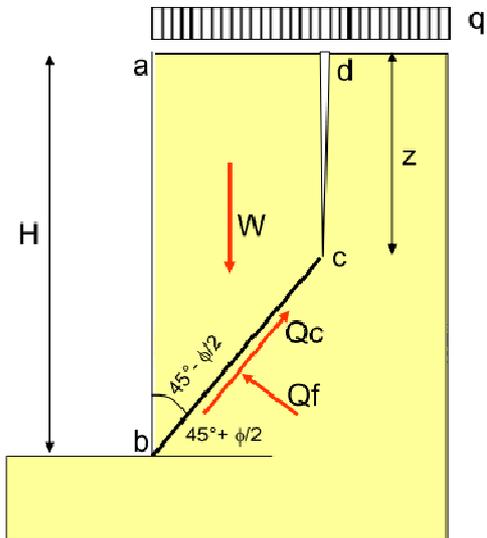
4.1.1.- CUÑA DE ROTURA Y SOBRECARGAS SOBRE EL SUELO

En la figura anterior, se observa que en definitiva el desmoronamiento del suelo se produce por un deslizamiento debido al peso del bloque que queda entre la excavación y la fisura d . A ese bloque se lo conoce como "cuña de rotura".



Figura 22: CUÑA DE ROTURA DE UN SUELO

También debe tenerse en cuenta en los cálculos de empuje que cualquier sobrecarga adicional que este sobre la cuña de rotura incidirá sobre el peso de la misma incrementando las fuerzas a tener en cuenta para el cálculo de la altura máxima "sin desmoronamiento" o el dimensionado del eventual tabique de contención:



En este caso la altura H máxima será menor que si la sobrecarga no estuviese:

$$H = \frac{2,67.c.\tan(45^\circ + \phi/2) - 1,33.q}{\gamma}$$