

EE
Materials de
Construcció I



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
Biblioteca



1400688835

MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

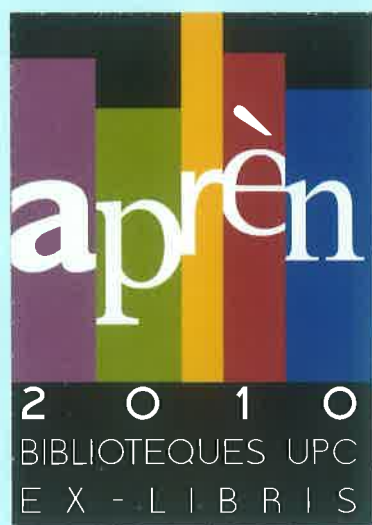
GUIA DE CLASES

P2

- SUELOS
- EXAMEN CON SOLUCIONES

1A 2007-08

Esta guía tiene como el objeto facilitar la preparación y seguimiento de clases, esquematizando los temas y facilitando algunos conceptos y definiciones para que los alumnos no se distraigan tomando excesivas notas.



1400688835

AT coneixement

Construcció i materials

Escola Politècnica Superior
d'Edificació de Barcelona
BIBLIOTECA
Tel. 93 401 62 65

SUELOS

Terrenos de cimentación: Rocas y suelos.

Origen. Fases. Suelos fundamentales.

Estructuras de los suelos.

Parámetros característicos de los suelos.

Análisis granulométrico y plasticidad.

Clasificaciones.

Identificaciones. Toma de muestras.

Concepto y determinación de resistencia.

Concepto y determinación de deformabilidad y permeabilidad.

Concepto y determinación de compacidad. Terraplenes.

Estudios geotécnicos según CTE SE-C.

BIBLIOGRAFIA

BS0 CTE SE-C

BS1 Apuntes

Titulo: Características mecánicas de los suelos.

Autor: García Boada y otros.

Editor: CEDESCO (Colegio Aparejadores Catalunya).

BS2 Libro

Titulo: Cimentaciones superficiales.

Autor: F. Maña

Editor: Blume

BS3 Libro.

Titulo: Mecánica de suelos.

Autor: Reunión de Ingenieros.

Editor: Ediciones Técnicas A.

BS4 Libro

Titulo: Terrenos y ensayos.

Autor: E. Fernández Olmo

Editor: Sección de publicaciones de la Univ. Pol. de Madrid.

BS5 Monografía 939 Estructuras.

Titulo: Mecánica de suelos.

Autor: J. Santos Miñón.

Editor: Sección de publicaciones de la Esc. Téc. Sup. Arq.

BS6 Monografía 9.6

Titulo: Aproximación a la mecánica del suelo y al calculo de cimentaciones.

Autor: C. Margarit y Buxadé.

Editor: Sección de publicaciones de la Esc. Téc. Sup. Arq.

SUELOS

INTRODUCCIÓN

Terrenos	Roca (Resist. a comp. > 5 Kg / cm ²) Suelo.
----------	--

Geología

Geotecnia / Mecánica del suelo
Reconocimiento. Estudio geotécnico.

ORIGEN DE LOS SUELOS. TIPOS.

. Origen:	Erosión:	Mecánica
		Química
		Fluvial
		Eólica
		Transporte
		Sedimentación
		Cementaciones

. Tipos:	Residuales	<u>Formados por</u>
	Transportados	
	. Aluviales	gravedad
	. Coluviales	viento
	. Loes

CLASES FUNDAMENTALES DE SUELOS.

ESTRUCTURAS.

APROXIMACIÓN AL COMPORTAMIENTO.

. Clases fundamentales de suelos:

Gravas	Suelos agregados	} Suelos inorgánicos
Arenas		
Limos		
Arcillas		
Orgánicos		

. Estructuras del suelo:

Granulada	. . .	Típica de arenas y gravas
Panal	" " limos
Floculada	" " arcillas

Los suelos inorgánicos son conjuntos naturales de partículas minerales, separables por medios mecánicos de poca intensidad.

En los suelos agregados o sin cohesión su resistencia mecánica es debida principalmente al rozamiento de sus partículas y a su confinación.

Según algunas normativas, se considera que los suelos, caso de ser cohesivos, tienen una resistencia a compresión menor de 5 Kg/cm².

Los suelos fundamentales se distinguen, en principio, por el tamaño de las partículas.

Diferentes organismos científicos han acotado de distinta manera el tamaño de las partículas que forman los suelos fundamentales.

Ejemplos:

	grava	arena	limos	arcillas
International Society:	→	2	0,02	0,002
U.S. Department Agriculture	→	2	0,05	0,002
NTE CEG 75	→	2	0,08	
CTE SE-C	→	2	0,06	0,002
			limos y arcillas	

(Datos numéricos en mm.)

Al margen de acotación de tamaños, conviene considerar el distinto comportamiento de gravas, arenas, limos y arcillas, ante acciones externas y particularmente con los cambios de humedad, con el agua,

El agua en contacto con materiales sólidos actúa creando unas acciones por la tensión superficial que puede condicionar algún comportamiento de un conjunto de partículas.

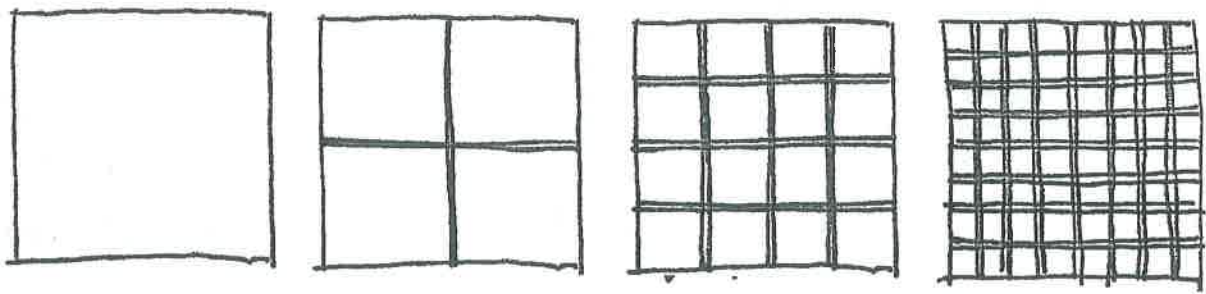
Existe diferente comportamiento entre los conjuntos de partículas grandes y los conjuntos de partículas pequeñas con los cambios de humedad, principalmente en lo relativo a cohesión, entumecimiento, capacidad de retención de humedad por adhesión superficial y la permeabilidad.

Las causas principales del diferente comportamiento mencionado son el distinto peso de las partículas y la distinta superficie específica en volúmenes similares de partículas.

Las gravas, arenas y limos son partículas pétreas sin forma ni naturaleza definida, forman estructuras granulares y en caso de tener muy poco peso, por ser muy pequeñas, pueden formar estructuras panal como característica de estado.

Las partículas de arcillas tienen forma laminar, proceden de la descomposición de feldspatos, son silicatos. y pueden formar estructuras floculadas.

Comentarios sobre la superficie específica:



En un volumen dado de partículas, si disminuye el tamaño de las partículas que lo ocupan:

- . aumenta la superficie específica del conjunto de partículas, es decir la superficie envolvente de las partículas.
- . para mojar la superficie de todas las partículas se necesita más agua.
- . aumenta el agua que se puede quedar adherida a las partículas.
- . al disminuir el tamaño de las partículas, disminuye el peso de las partículas y aumenta la posibilidad de que el agua situada entre ellas las separe (entumecimiento).

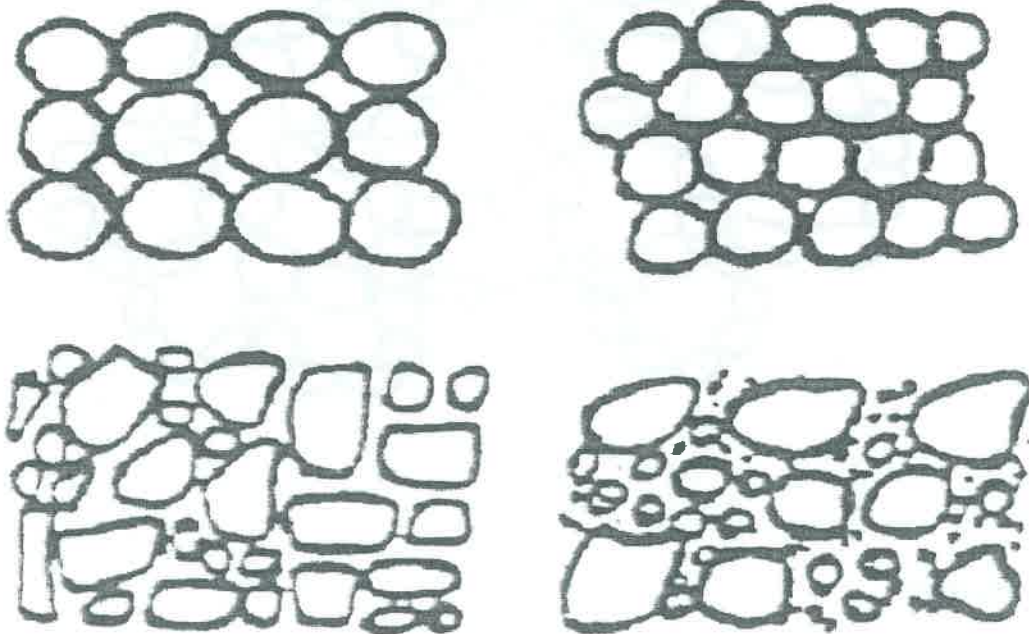
Estructura granulada:

Típica de gravas, arenas y limos con las partículas sueltas.

Suele presentarse en los suelos de grano grueso y en casi todos los limosos, formados por granos redondeados o/y angulosos, en cualquier caso, sueltos entre sí.

Cada partícula sólida está en contacto con sus inmediatas.

Cuando la estructura granular de un suelo se manifiesta en estado suelto, las posiciones de las partículas en equilibrio inestable, suelen ser sumamente sensibles a los efectos de choques y vibraciones. Sin embargo, cuando presentan una elevada compacidad, se comportan suficientemente capaces y estables frente a cargas, tanto estáticas como dinámicas y vibraciones, y en caso de una disminución de huecos, suele ser relativamente pequeña.



(E. Fernández Olmo)

Angel Arricivita Calvet

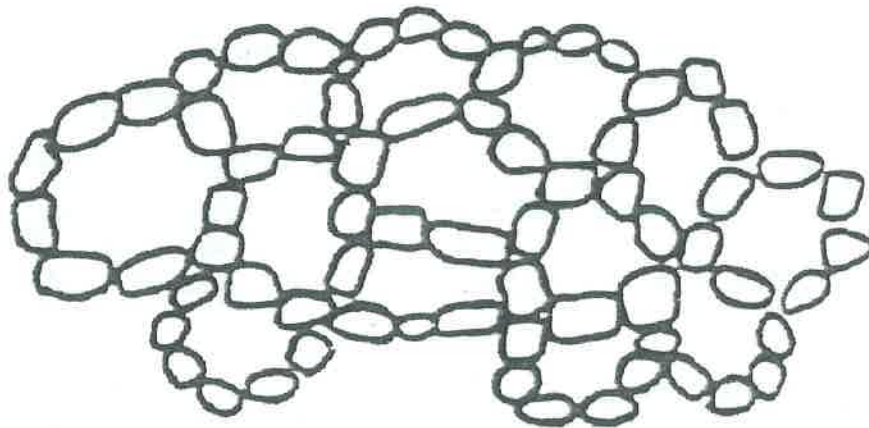
Departamento de Construcciones Arquitectónicas II - EPSEB UPC

Estructura panal:

Esta clase de estructura, aparece generalmente en los terrenos limosos, cuando se sedimentan los granos finos en el agua.

Cuando se está produciendo el fenómeno de la sedimentación, los granos o partículas de tamaños como los limos y los inferiores, se ven sometidos a fuerzas de tracción moleculares, que al ser mayores que la de la gravedad, fuerzan el que las partículas, a la vez que se van sedimentando hacia el fondo, tiendan a unirse. Poniéndose en contacto unos granos con otros.

En suelos con esta clase de estructura, se dan volúmenes de huecos lógicamente mayores que en los que presentan estructura granular .



(E. Fernández Olmo)

Estructura Floculada:

Está constituida por las partículas más finas de las arcillas, de tamaño coloidal.

En una suspensión de arcilla, las partículas con forma laminar y de tamaño coloidal, se hallan sometidas al bombardeo de las moléculas del líquido. Consecuentemente, las partículas más pequeñas se encuentran indefinidamente en suspensión, sometidas al movimiento browniano y a la fuerza de la gravedad, provocando su descenso en el interior del líquido, haciendo que las partículas se concentren en el fondo del depósito, donde se encuentren.

Ocurriendo, que antes o después, las partículas próximas tenderán a situarse a distancias que propician la acción de fuerzas físico-químicas, comportándose como cargas eléctricas, repeliéndose mutuamente, pero si cambian las circunstancias, como por ejemplo, la concentración o el pH y algunas de las partículas adquieren carga neutra, se forman grupos de partículas llamados "flóculos" por contactos borde-borde ó contactos cara-borde.

Cuando estos "flóculos" adquieren un tamaño considerable, se van sedimentando con los granos macizos de los limos que se encuentran en suspensión.



(E. Fernández Olmo)



Imagen de estructura floculada, según Tan. contactos cara-borde

Una estructura floculada recién sedimentada tiene un comportamiento isótropo.

Comportamiento de gravas, arenas y limos

Para las siguientes observaciones se tienen en cuenta la superficie específica de las partículas, la acción de la gravedad (peso), la tensión superficial del agua en contacto con las partículas minerales y el tamaño de los granos que en general es el condicionante más considerado.

Existen otros condicionantes, por ejemplo la forma de las partículas, el confinamiento, etc., que no se tienen en cuenta en los primeros comentarios.

Gravas

Son conjuntos de granos, agregados de partículas pétreas, grandes, con tamaño superior a unos 2 mm y, relativamente, poca superficie específica. Pueden retener poca agua por adhesión, y la humedad no es capaz de cohesionar las partículas, ni producir entumecimiento, dado el peso de los granos. Las gravas por sí solas son siempre permeables.

Arenas

Conjuntos de granos pétreos con tamaños entre unos 2 y 0,06 mm. Tienen, relativamente, gran superficie específica capaz de retener bastante agua por adhesión. Dado el peso de los granos, la humedad puede producir entumecimiento, y cierta cohesión en los granos menores en ocasiones, aunque nunca se considera. Son permeables.

Las gravas y arenas, son conjuntos de partículas con estructura granular, permeables, sin cohesión ni plasticidad, y prácticamente incompresibles si están confinados.

Limos

Conjuntos de granos pétreos de tamaños muy pequeños. Tienen mucha superficie específica. Los granos pesan muy poco y la humedad por medio de la tensión superficial, puede producir cierta cohesión, que aunque si se considera, nunca es grande y desaparece por vibraciones. El agua no las atraviesa con facilidad y en algún estado pueden impedir

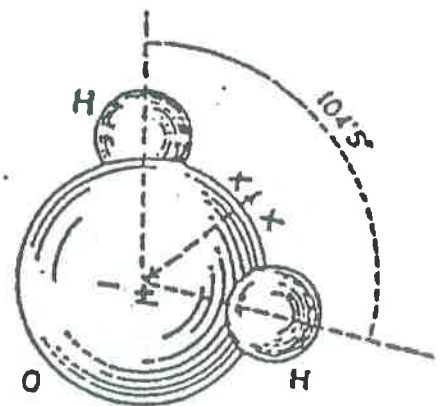
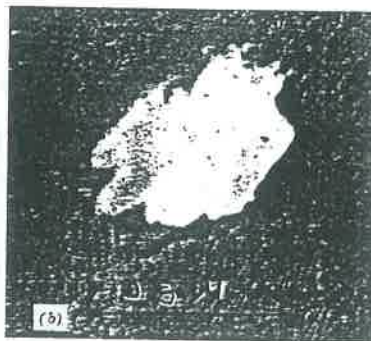
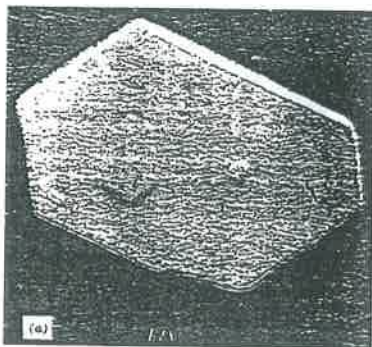
su paso inmediato, pero las vibraciones los hacen permeables. Son muy compresibles cuando forman estructuras panal.

Comportamiento de las arcillas

Las arcillas son silicatos y provienen de la descomposición de feldespatos. Cada partícula de arcilla tiene forma laminar y tamaño inferior a 2 micras.

Con ciertas humedades son capaces de cohesionarse y cohesionar formando conjuntos plásticos impermeables, si están en cantidad suficiente.

La arcilla desecada se puede considerar formada por un conjunto de paquetes de "laminas". La humedad puede deshacer los paquetes de arcilla que toman cargas eléctricas negativas y están rodeadas de partículas de agua que son dipolos. Para entender con facilidad el comportamiento de los conjuntos arcilla-agua se puede considerar que se forman pares eléctricos que facilitan cohesiones que permiten variar la posición de las partículas sin romper la unión.



Partículas de arcilla.

a) Caolinita (Lambe, 1951).

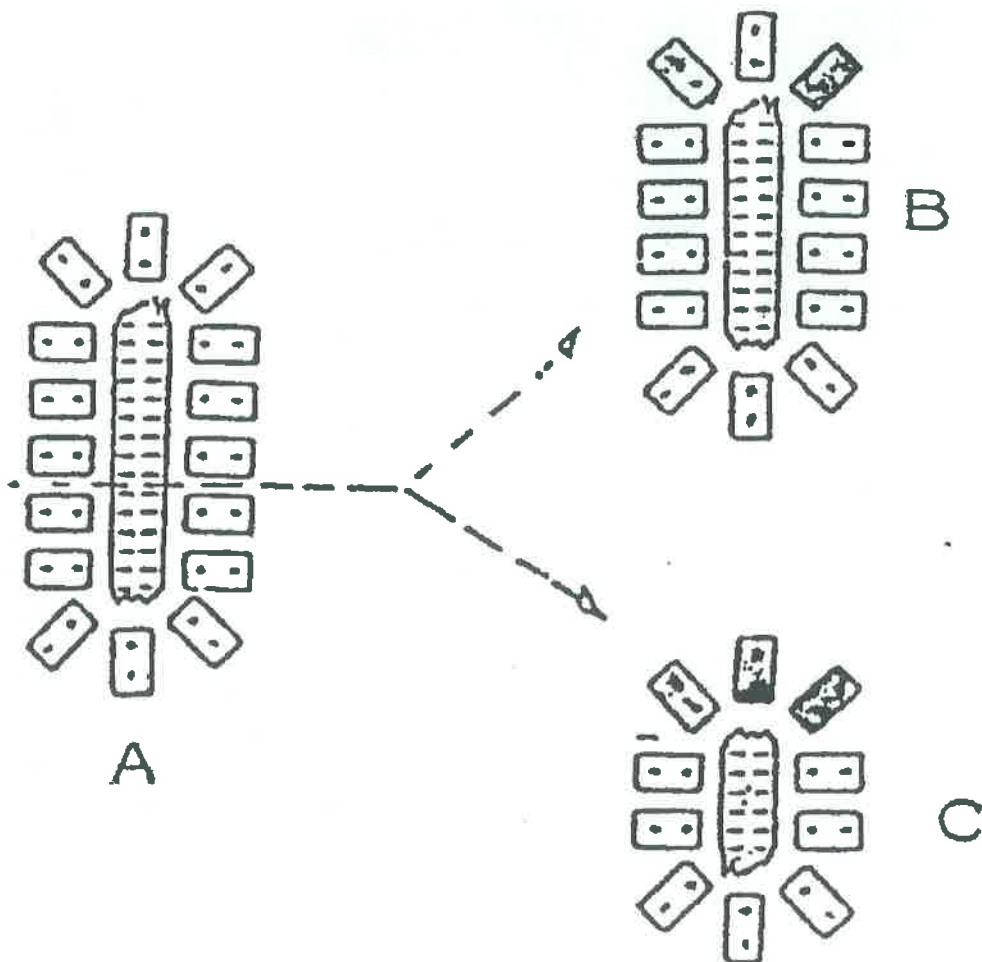
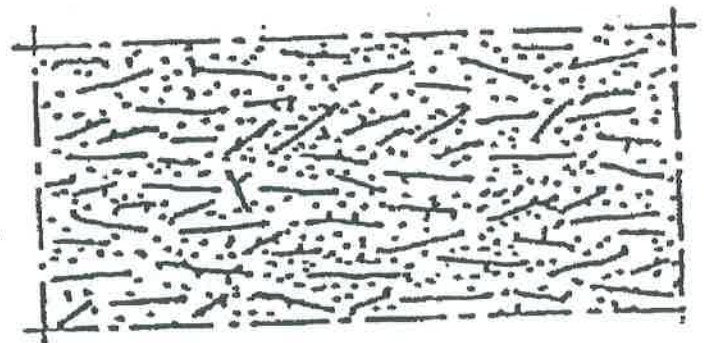
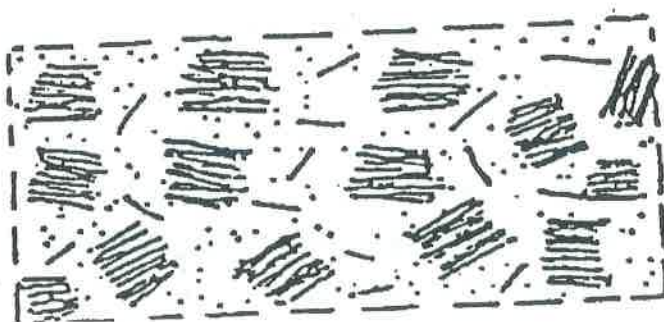
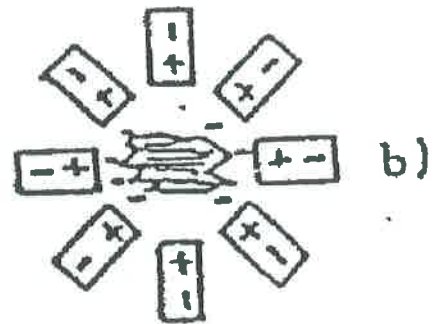
b) Illita (Fotos de R. T. Martin, M. I. T.).

Molécula de agua

Las partículas de arcilla unidas y lubricadas con algunas humedades tienen cierta libertad de movimiento sin romper su cohesión, tienen un comportamiento plástico.

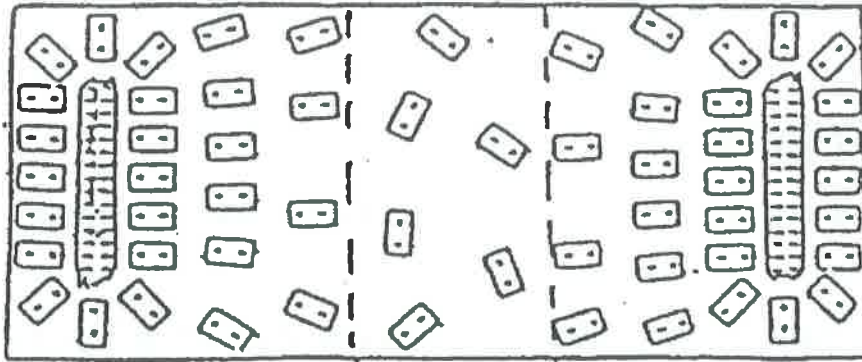
Para asimilar este concepto, ayuda pensar en la libertad de movimiento de una puerta que está unida con bisagras a una pared, se puede modificar la posición de la puerta, sin que pierda su unión a la pared.

Referente a la arcilla húmeda:



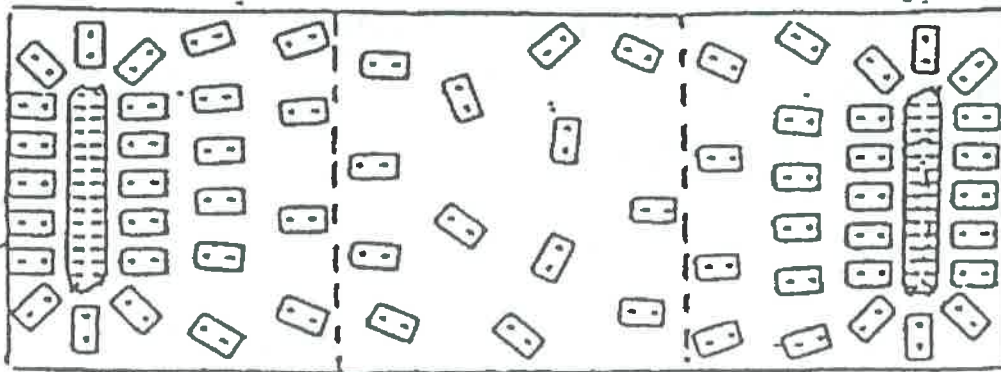
Referente a la arcilla húmeda:

a- moldeo duro: consistencia 3-4 kgr/cm².



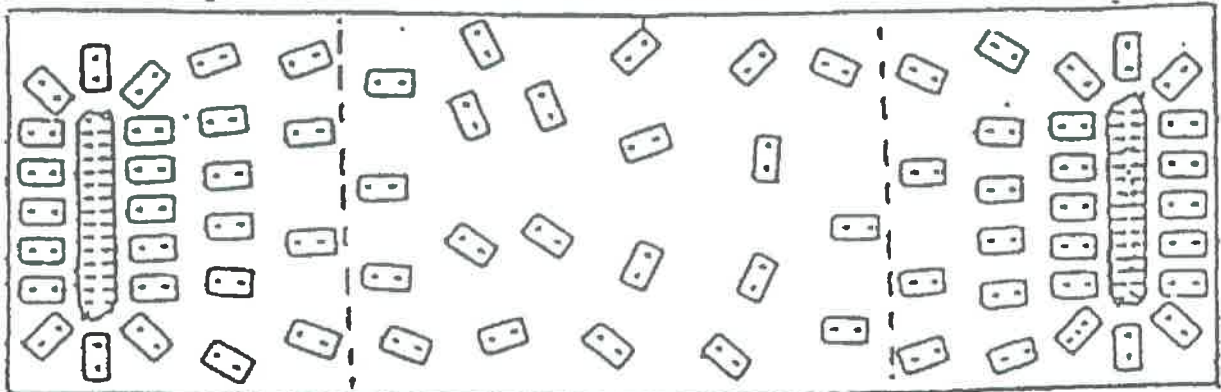
Agua libre
-capilar-

b- moldeo normal: consistencia 1-1,5 kgr/cm².



Agua libre

c- moldeo blando: consistencia 0,3-0,5 kgr/cm².



Agua libre

Las arcillas, con ciertas humedades, pueden cohesionarse entre sí y a otras partículas pétreas.

Cuando las arcillas están en estado plástico se puede modificar la forma del conjunto de partículas, sin romper su cohesión.

Los suelos arcillosos (abundantes en arcilla) suelen ser plásticos, cohesivos e impermeables.

Suelos orgánicos.

Los terrenos orgánicos contienen una proporción notable de materia orgánica.

La materia orgánica se altera en el tiempo dejando porosidad.

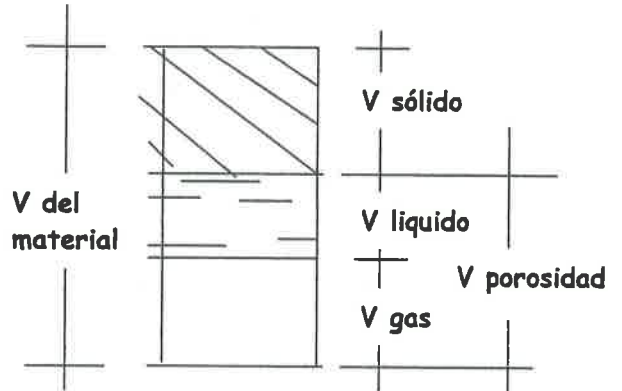
Los suelos que contienen cantidades importantes de materia orgánica tienen unas características que cambian en el tiempo, se convierten en suelos muy compresibles y no se consideran, en general, buenos terrenos para realizar en ellos cimentaciones.

La materia orgánica puede proporcionar alguna cohesión, pero no de cuantía importante y permanente.

PARÁMETROS. PROPIEDADES.

Tipos de propiedades: | Intrínsecas
 | De estado
 | Geotécnicas

Fases de los suelos: | Sólida
 | Líquida
 | Gaseosa



-Densidad: | **Seca**
 | $\text{Peso seco} / V_A$ siendo V_A el volumen aparente
 | **Sumergida**
 | $\text{Peso sumergido} / V_A$
 | **Saturada**
 | $\text{Peso saturado} / V_A$
 | **"in situ"**
 | $\text{Peso de estado} / V_A$

- **Peso específico**
- **Porosidad.**
- **Compacidad.**
- **Compactabilidad.**
- **Compresibilidad.**

- **Consolidación. Terrenos preconsolidados.**

- **Humedad.** $H (\%) = (P_{\text{humedo}} - P_{\text{seco}}) / P_{\text{seco}} \times 100$

- **Absorción.** Capacidad de tomar agua
 Coef. de absorción = $(P_{\text{saturado}} - P_{\text{seco}}) / P_{\text{seco}}$

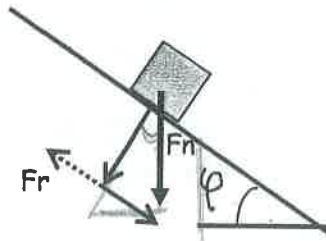
- **Grado de saturación.** $GS (\%) = (V_{\text{agua}} / V_{\text{agua de saturación}}) \times 100$

- **Absorción capilar.** Capacidad de tomar agua por tensión superficial.

- **Permeabilidad.** Aptitud de dejarse atravesar por un líquido

- **Nivel freático.** Profundidad a que se encuentra el suelo sumergido.

- **Angulo de rozamiento.**



- **Cohesión.** Unión de las partículas por fuerzas distintas a las de rozamiento.

- **Resistencia.** Capacidad de resistir una acción.

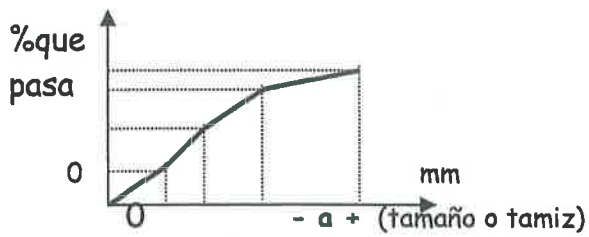
- **Coeficiente de forma de partículas.**

- **Deformación.**

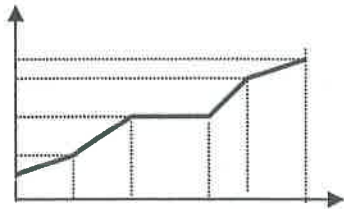
- **Plasticidad.**

- **Etc.**

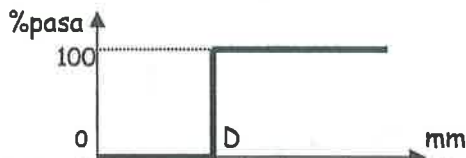
Representación grafica. Línea granulométrica.



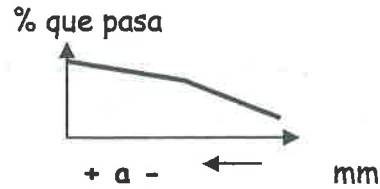
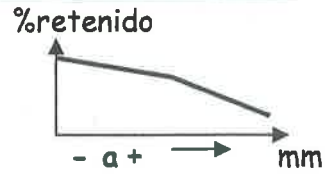
* Granulometría continua



* Granulometría discontinua
(Entre tamices, no hay partículas)



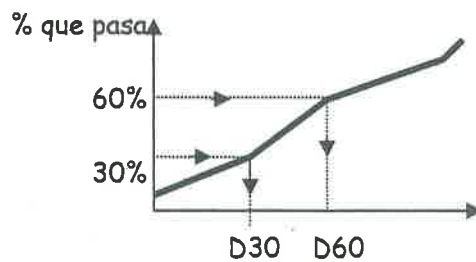
* Suelo con partículas de igual tamaño



Herramientas para valorar las granulometrías

* **Coeficiente de uniformidad:** $C_u = D_{60} / D_{10}$

* **Coeficiente de curvatura:** $C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \times D_{10}}$

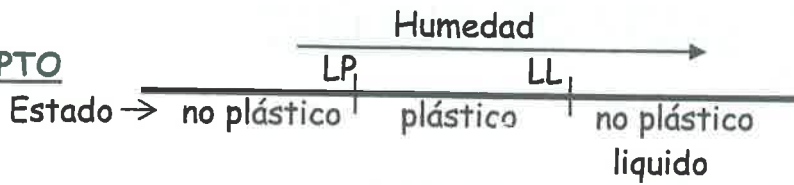


COEFICIENTE DE FORMA

(Vol. de partículas) / (Vol. "ideal" de partículas) ≤ 1

PLASTICIDAD

CONCEPTO



$LL > LP$
 $LL - LP = I_p$
 $I_p = \text{índice de plasticidad}$

* DETERMINACIÓN

Límites de Atterberg: LL Límite líquido
 LP Límite plástico

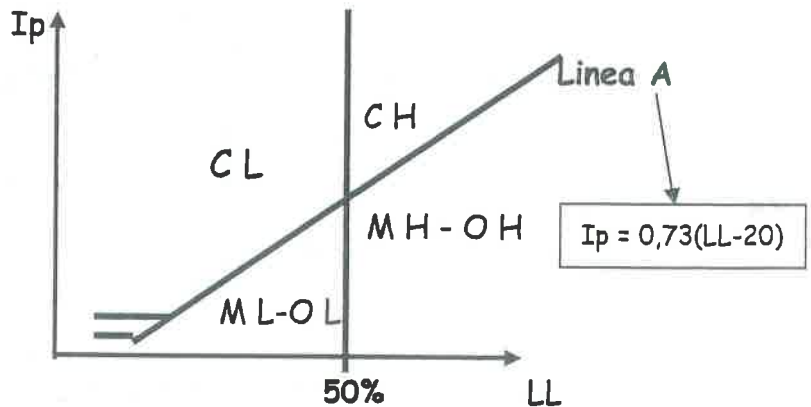
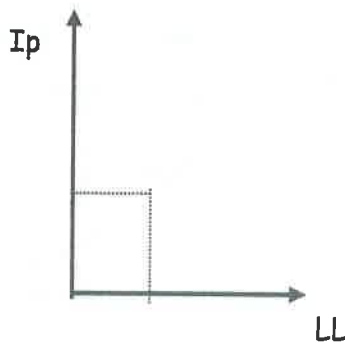
Los límites de Atterberg son humedades, son % de agua en el suelo cuando cumplen unas condiciones de ensayo normalizadas

- Límite plástico
 .. cilindros de unos 3 mm de ϕ ..
- Límite líquido
 ... cuchara de Casagrande.
 ... surco. ... n° de golpes para que se cierre unos 13 mm



* Representación grafica

* Clasificación de suelos por plasticidad



* Límite de retracción

(actualmente muy poco utilizado)

Es el % de humedad que llena exactamente todos los poros del suelo y si disminuye no se aproximan las partículas (no se produce retracción).

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Clasificación por granulometría:

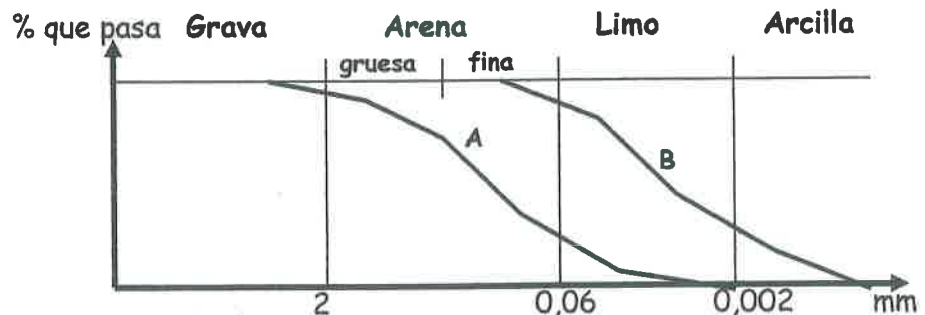
Según CTE SE-C los criterios de clasificación de suelos (por granulometría), figuran en la tabla D.1. de su anejo D.

- Los suelos formados por partículas que pertenecen a una fracción granulométrica (unimodulares) pueden ser representados en una grafica utilizando una coordenada.

Según CTE SE-C	(Bolos)	Gravas			Arenas			Limos			arcillas
		Gruesas	medias	finas	gruesas	medias	finas	gruesas	medias	finas	
		60	20	6	2	0,6	0,2	0,06	0,02	0,006	0,002

Ejemplo: Los suelos formados por partículas de 1 mm son arenas.

- Los suelos con partículas de diversos tamaños, es decir los definidos con diversas fracciones, se representan utilizando dos coordenadas.

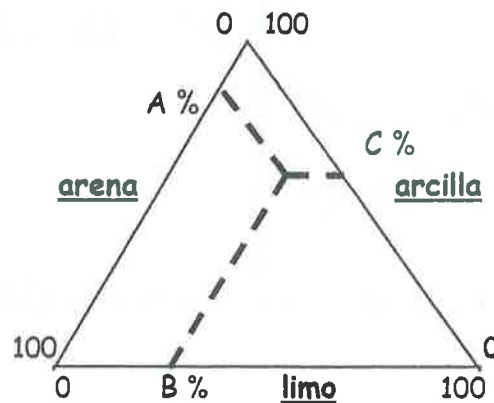


Ejemplos: El suelo A es una arena con algo de grava y limo.
El suelo B es limo arcilloso con algo de arena.

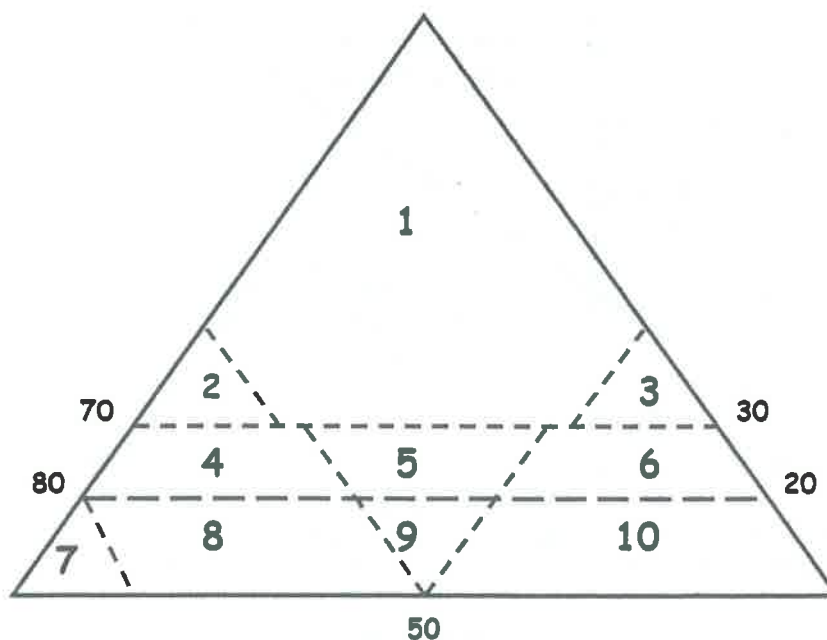
Clasificación granulométrica de las partículas que pasan el tamiz UNE 0,08.

Se suelen representar en el llamado triángulo de Feret, utilizando tres coordenadas.

Representación del suelo compuesto por A% arena, B% limo y C% de arcilla:



Representación del suelo en el triángulo de Feret

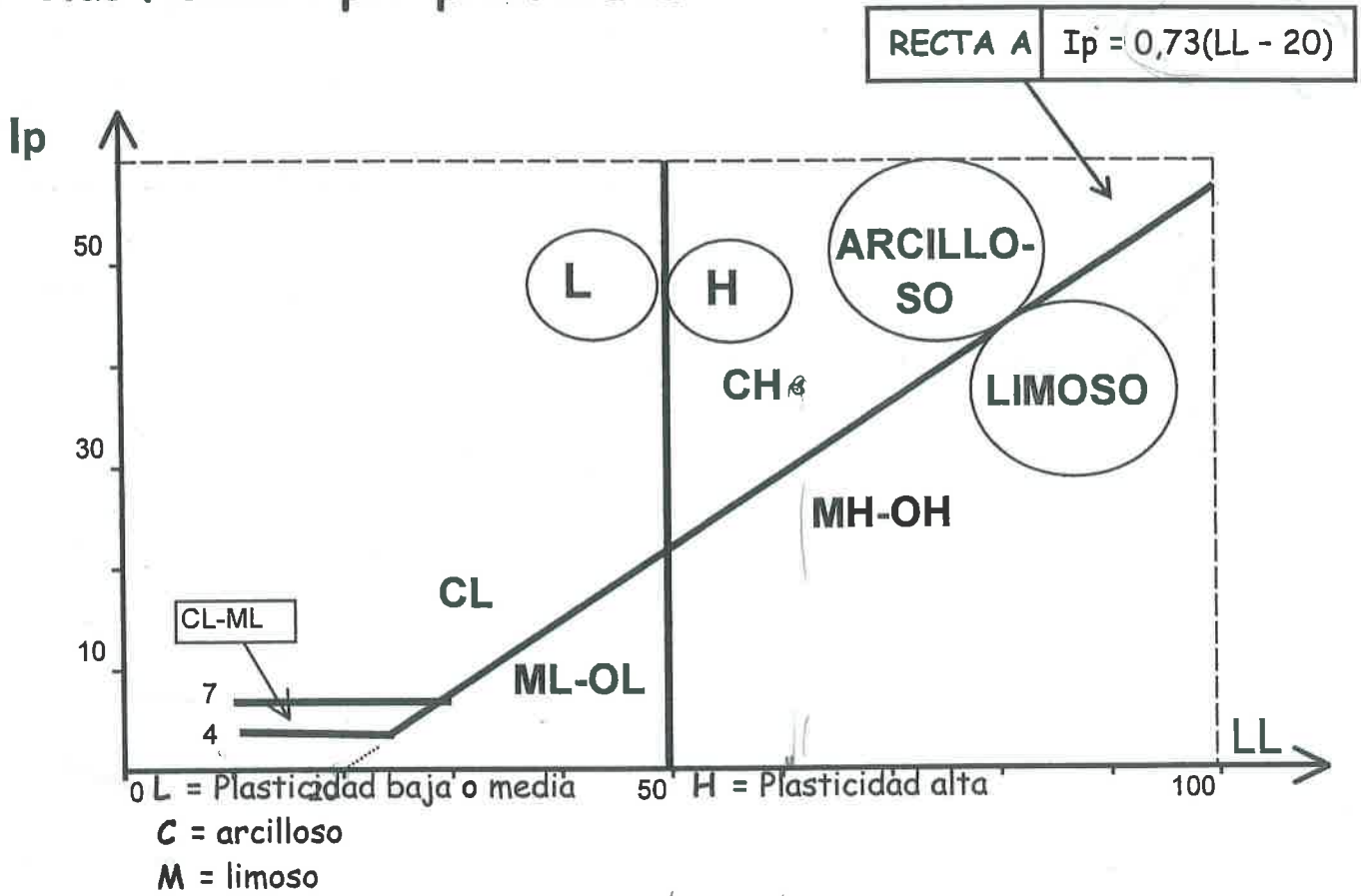


Clasificación en el triángulo de Feret

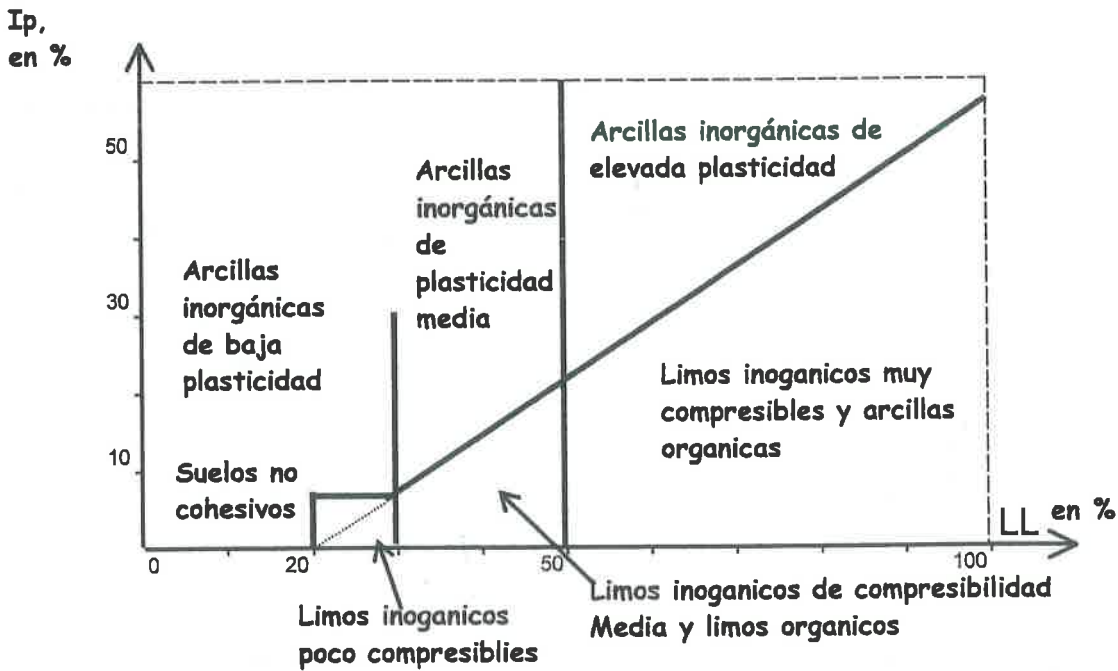
Suelos finos con arena

- 1 Arcilla
- 2 Arcilla arenosa
- 3 Arcilla limosa
- 4 Arena arcilloso
- 5 Arcilloso
- 6 limo arcilloso
- 7 Arena
- 8 Arenoso
- 9 Limo arenoso
- 10 Limoso

Clasificación por plasticidad



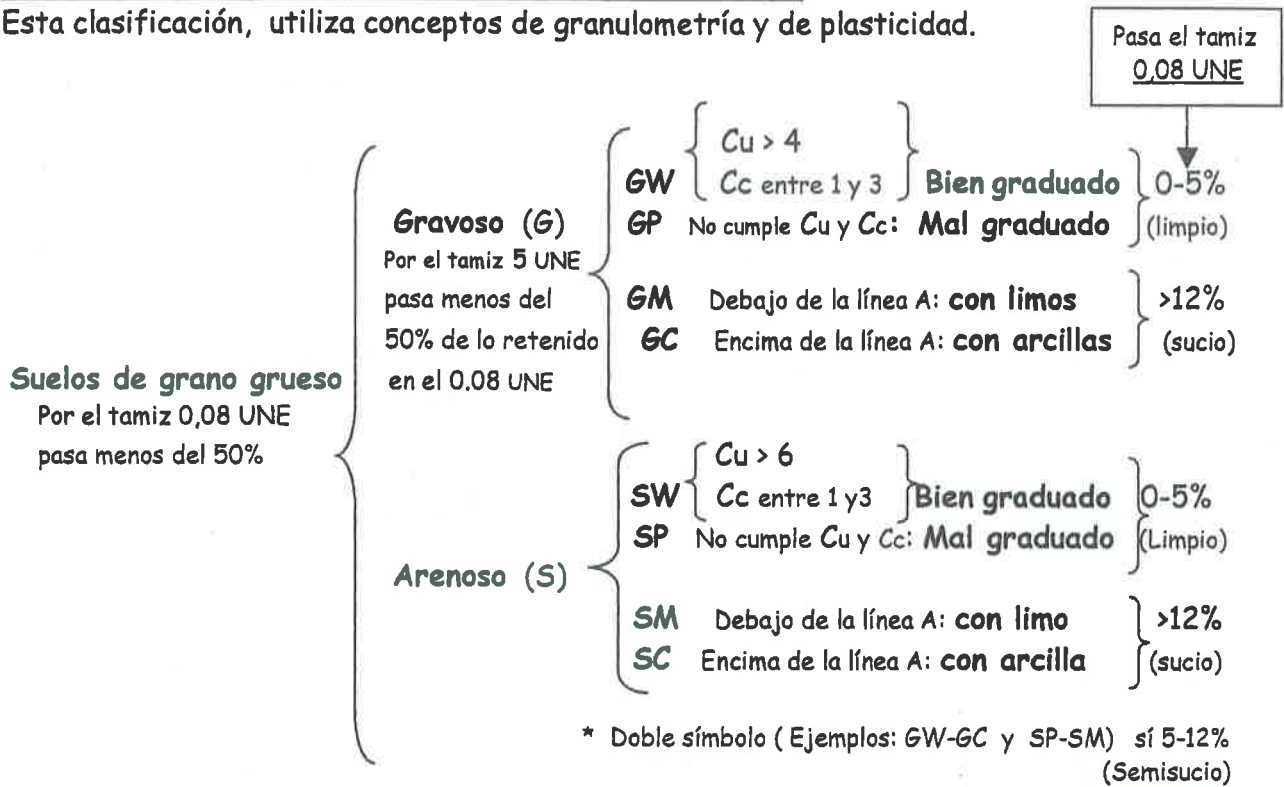
$LL - Lp = Ip$



Grafica de plasticidad, según Casagrande

CLASIFICACIÓN UNIFICADA DE SUELOS

Esta clasificación, utiliza conceptos de granulometría y de plasticidad.



Suelos de grano fino
Por el tamiz 0,08 UNE
pasa mas del 50%

Símbolos utilizados	
M Limoso	G Gravoso
C Arcilloso	S Arenoso
O Orgánico	W Bien graduado
L Limite liquido < 50%	P Mal graduado
H Limite liquido > 50%	

Materia orgánica fibrosa → **Pt**

NOTA: $Cu = D_{60}/D_{10}$
 $Cc = (D_{30})^2 / (D_{60} \times D_{10})$

Observación:

Se denominan : finos que pasan el tamiz UNE 0,08, las partículas que pasan el tamiz UNE 0,08 y suelos de grano fino los que tienen mas de 50% de finos.

CLASIFICACIÓN POR ANALISIS QUIMICO

- Suelos con sulfatos
- Suelos con cloruros
- Por el pH (alcalino / ácido)
- Margas
-

Tema: SUELOS

CONCEPTOS / PROPIEDADES	MEDIOS DE APRECIACIÓN / ENSAYOS
Naturaleza	Identificación de suelos "in situ" (en el campo) Toma de muestras: Superficial Profunda (sondeos) Alteradas Inalteradas Análisis de muestras
Granulometría	Tamices. Análisis granulométrico Línea granulométrica Sedimentación
Plasticidad	Limites de Atterberg
Resistencia	Penetrometros: Estáticos } Dinámicos } SPT } → Ensayos de campo Pruebas de carga } Carga con placa } Presiometro } Compresión simple Compresión confinada (Triaxial)
Cohesión Rozamiento (Densidad in situ)	Se puede determinar en laboratorio con . Corte directo . Triaxial (. Escisiometro → Ensayo de campo)
Compresibilidad	Edometro: Curva edometrica Curva de consolidación
Compactación	Proctor / Densidad in situ → Ensayo de laboratorio/ de campo
Permeabilidad	Permeabilímetros: De carga constante De carga variable

TECNICAS DE RECONOCIMIENTO

Identificación "in situ" (en el campo).

- . **Ensayo de sacudidas** (para distinguir en los suelos finos, los limosos de los arcillosos).
- . **Desmenuzar muestras secas entre los dedos** (para estimaciones de cohesión y resistencia).
- . **El olor** (suele apreciarse la presencia de materia orgánica).
- . **Pequeños aparatos como el penetrometro de bolsillo** para clasificar suelos cohesivos.

.....

Toma de muestras.

La muestra debe ser representativa del suelo y permitir el análisis predeterminado.

Las muestras pueden ser:

En función de su situación en el terreno:

- . **Superficiales** (Se incluyen las obtenidas con pozas o calicatas).
- . **Profundas** (las accesibles solo mediante sondeos).

En función de su estado:

- . **Alteradas**. Las que no conservan alguna/s característica/s de estado "in situ" (humedad, cohesión, densidad aparente, etc.).
- . **Inalteradas**. Son las que conservan todas las características del suelo en el terreno. Se deben proteger con envases herméticos.

Preparación de las muestras para su análisis y ensayos.

De muestras inalteradas.

Para el ensayo de resistencia a compresión se preparan las probetas por corte o tallado, tomando precauciones para la conservación de las características a determinar.

..!.

De muestras alteradas.

Generalmente, la preparación consiste en las siguientes operaciones:

- . Secar la muestra extendida al aire
- . Deshacer los terrones de arcilla con mazo de goma.
- . Tomar de la muestra total porciones para ensayos.

Para el ensayo de resistencia a compresión se preparan las probetas de muestra alterada, llenando moldes metálicos con muestra amasada con agua, según metodología de la norma. En el informe de resultados se debe indicar que el ensayo se ha realizado con muestra alterada recompuesta y la humedad que tenía, determinada con los restos de la probeta.

División de una muestra.

- . Con cuarteador.
- . Con el metado de la lona.

Estos métodos se utilizan para obtener porciones similares en características a la muestra total. Por ejemplo para realizar una granulometría.

.Con tamices.

Se obtienen fracciones con distinta granulometría. Por ejemplo, para realizar los límites de Atterberg, se utiliza muestra que pasa por el tamiz 0,40 UNE.

Tipo de análisis y ensayos.**.De laboratorio.**

Ejemplos: Granulometría, edómetro, corte directo, triaxial, los límites de Atterberg, etc

.De campo o "in situ".

Ejemplos: Penetrometro SPT, presiometro, escisiometro, etc.

DETERMINACIÓN DE RESISTENCIA

La capacidad portante de un suelo, es la resistencia a compresión máxima. Si es superada se produce una alteración de la forma del suelo (la rotura o una deformación predeterminada si esta en estado plástico).

Se designa a la resistencia del suelo con un valor, el valor máximo que puede oponer a las acciones externas, sin romperse o tener una deformación (asiento) no deseada.

Para determinar la resistencia a compresión se pueden utilizar ensayos de campo o de laboratorio.

Ensayos de campo / metodos empíricos.

Ensayos de campo es sinónimo de ensayos "in situ".

La metodología utilizada en los ensayos de campo son empíricos, basados en experiencias acumuladas. Estos ensayos permiten deducir capacidades portantes o valores de asientos.

Penetrometros:

En general, consiste en hinca de varillaje, midiendo, por su dificultad, la resistencia en punta.

. Penetrometro dinámico.

Su resultado es la resistencia en punta del suelo, por el número de golpes necesarios y la longitud de la hinca, en función de los útiles y maquinaria utilizada (peso de la maza, altura de caída, etc)

. Penetrometro estático.

Su resultado es la resistencia en punta del suelo, por lectura del manómetro que mide la presión estática de avance.

El penetrometro dinámico y el estático dan información continua del comportamiento mecánico de los suelos.

..!.

Ensayo de penetración estandar, normal o S.P.T.

Es una variante del penetrometro dinámico.

Se realiza con la metodología y herramientas normalizadas, perforando previamente el terreno, hasta la superficie de suelo de interés y se realiza en el fondo del sondeo previo.

Durante la realización del S.P.T. se hinca un tomamuestras 15 cm y se cuentan los golpes necesarios para que se introduzca otros 30 cm mas.

Se extrae muestra inalterada.

Presiometro.

Se introduce en el terreno una sonda que permite aplicar en la zona deseada una presión horizontal y medir las deformaciones producidas.

Ensayo de carga con placa.

Consiste en ejercer una compresión creciente, escalonadamente, sobre una placa metálica en el suelo, entre 10x10 y 50x50 cm².

Es un ensayo real a escala reducida.

Tras cada escalón de carga, se mide el asiento estabilizado provocado y el tiempo.

Prueba de carga.

Similar al anterior, pero a escala real. Generalmente es muy caro.

Ensayos de compresión en laboratorio.

Estos ensayos se pueden realizar sobre probetas de muestra inalterada o sobre probetas de muestra alterada recompuesta, con una metodología y humedad que deberá figurar en el informe de resultados.

Compresión simple

La maquinaria para realizar el ensayo es una prensa de compresión. El ensayo se realiza sobre muestras de suelo cohesivo sin confinar lateralmente. Las probetas pueden realizarse con muestra inalterada o preparadas a partir de muestra alterada recompuesta. Con el resultado de resistencia a compresión se debe indicar la humedad de la muestra ensayada.

Compresión de la muestra confinada

La muestra a ensayar de suelo se dice confinada si, como en el terreno, esta sometida a una presión lateral.

En el aparato llamado triaxial, se puede colocar una muestra en un recinto y aplicar en su superficie lateral una presión lateral constante durante su ensayo a compresión. En condiciones de confinamiento, los resultados del ensayo de compresión, carga de rotura y deformación, son diferentes a los obtenidos si se ensaya la muestra sin confinar.

La presión de confinamiento, se denomina presión lateral hidrostática, si se consigue aplicando agua a presión.

La resistencia a compresión de muestra confinada es mayor que cuando la muestra no esta confinada y su deformación ante carga es menor

DETERMINACIÓN DE PARAMETROS FUNDAMENTALES EN LA RESISTENCIA DE LOS SUELOS:

COHESIÓN, ROZAMIENTO INTERNO Y DENSIDAD IN SITU DE LOS SUELOS.

Según Terzaghi, la rotura de los suelos depende fundamentalmente de la cohesión y el rozamiento interno entre sus partículas y de su densidad.

Según ese criterio, para provocar la rotura de un suelo, la tensión que actúe debe superar la cohesión y el rozamiento de las partículas en la sección de rotura. Si varía la densidad in situ del suelo, a mayor densidad, mayor debe ser la tensión que provoque la rotura.

La ecuación fundamental viene expresada en el llamado criterio de rotura Mohr-Coulomb que rige el equilibrio de los suelos y su resistencia:

$$\tau > c + n \times \operatorname{tg} \varphi$$

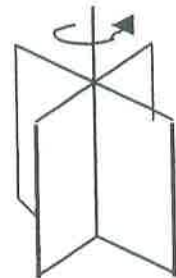
siendo c la cohesión, n la tensión normal y φ el ángulo de rozamiento interno de las partículas.

Escisiometro, Vane Test o ensayo molinete.

Es para suelos que tienen poca cohesión y rozamiento. Se puede utilizar para valorar la cohesión de arcillas blandas saturadas.

Es un ensayo de campo con valoraciones basadas en experiencias (valoraciones empíricas).

El ensayo consiste en introducir en el suelo objeto de estudio, un molinete con 4 placas rectangulares iguales que forman diedros rectos, que tienen como eje de torsión la arista común. Se valora el par de torsión necesario para que gire el molinete.



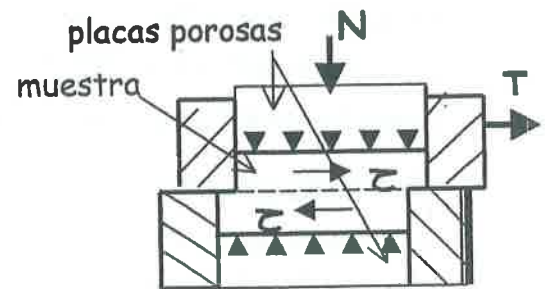
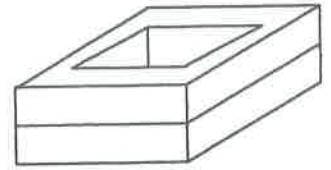
Ensayos de laboratorio para determinar la cohesión y el rozamiento interno:

- .Corte directo. La maquinaria y uso es relativamente sencillo.
- .Triaxial. Mas complejo y caro que el corte directo.

Corte directo.

La muestra inalterada de suelo a ensayar se coloca en un molde metálico formado por dos piezas superpuestas idénticas en su planta, que permite colocar en su interior una placa porosa, sobre ella, la muestra de suelo, y encima otra placa porosa, sobre la que se aplica una carga controlada N , constante durante el ensayo.

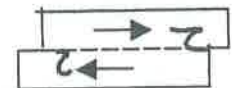
Para ensayar la probeta, aplicamos a la pieza superior del molde una fuerza creciente, hasta un valor T capaz de hacer deslizar la pieza superior del molde con el suelo que contiene, superando el rozamiento interno y la cohesión del suelo en la superficie que se desliza (superficie de rotura).



Sección de molde con suelo

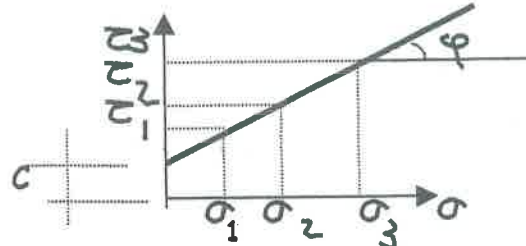


Probeta antes de ensayar



Probeta después de ensayo

- Ensayo de un suelo
- Se ensayan tres probetas del suelo
 - Sobre cada probeta de suelo
 - Se pone un esfuerzo normal $\sigma = N/S$
 - Se hace un esfuerzo de corte $\tau = T/S$
 - Con tres probetas se obtienen tres pares de datos: (σ_1, τ_1) , (σ_2, τ_2) , (σ_3, τ_3)
 - Se realiza una gráfica y se obtiene la recta intrínseca



φ es el ángulo de rozamiento interno o resistencia a esfuerzo cortante.
 C es la cohesión (resistencia al corte a esfuerzo normal nulo).

Triaxial.

Con el triaxial se pueden valorar varias características de suelos.

resist. a compresión simple,
resist. a compresión confinada.
cohesión y rozamiento interno,
permeabilidad, etc.

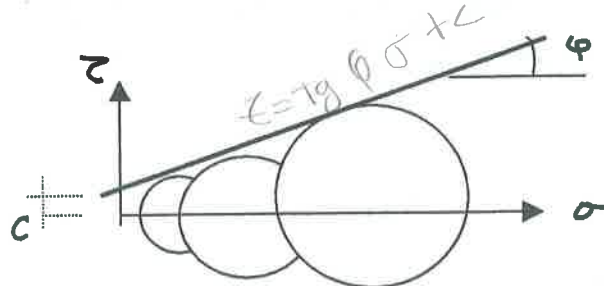
Para valorar la cohesión y el rozamiento interno de un suelo, se ensayan tres probetas.

En cada probeta a ensayar se aplica una presión distinta de confinamiento lateral σ (presión lateral hidrostática), y se aplica una presión axial creciente (compresión) hasta rotura.

Con cada probeta obtenemos un par de valores, una presión de confinamiento σ y una presión axial de rotura, con los que se puede realizar un círculo de Mohr. Es decir, con cada probeta se obtiene un círculo de Mohrs.

La recta practicamente tangente a los tres círculos de Mohr da la ecuación de Mohr-Coulomb, y se denomina recta de Coulomb o recta intrínseca.

φ ángulo de rozamiento interno
C cohesión



El ensayo triaxial, es un ensayo mas complejo y caro que el corte directo.

El ensayo de compresión simple tambien proporciona información sobre cohesión y rozamiento interno.

Los entendidos lo utilizan bastante, pues son apreciaciones añadidas a valoraciones de resistencia a compresión, pero no proporciona valoraciones objetivos, son apreciaciones al realizar la valoración de resistencia a compresión y dependen de criterios personales.

e : índice de poros $e = \frac{V_{\text{aire}}}{V_{\text{sólido}}}$

VERTIDOS Y TERREPLENES

COMPACTACIÓN. DENSIDAD PROCTOR.

Vertidos y terreplenes.

Son acumulaciones para llenar un vacío o una desigualdad topográfica.

Vertidos. Depósitos sin control de tierras, escombros, basuras,

Terraplenes. Tierras escogidas y colocadas,

Suelen ser controladas para una función.

Las tierras que se usen para un terraplén deben estar próximas, por cuestiones económicas,, tendrán la resistencia suficiente , sin asentamientos, retracciones o expansiones que pongan en peligro la estabilidad de la obra, . . y tendrán una permeabilidad apropiada o se colocara un drenaje adecuado.

Para mejorar las características de un terreno, una buena opción es la compactación, aplicar una energía que aproxime las partículas entre sí.

La compactación de un suelo tiene como objeto disminuir la porosidad, aumentar su densidad y resistencia.

Densidad proctor.

La compacidad de un suelo se determina, estudia y controla con la densidad proctor de referencia y densidades in situ.

La densidad proctor se obtiene con muestra de ese suelo y con la metodología del ensayo correspondiente.

- . En los proyectos, la densidad que debe tener el suelo se indica como % de su densidad proctor.
- . Cada suelo tiene su densidad proctor,

Ejemplo: En el proyecto de una obra se indica que el suelo debe tener una densidad superior al 95% de su densidad proctor normal.

Con muestra del suelo se determina la densidad proctor normal y resulta ser 1,9 kg/dm³. Las densidades in situ del suelo deberán ser, en este caso, superiores a 0,95x1,9 kg/dm³.

Densidad "in situ".

Su valoración se suele realizar por el método de la botella de arena o con el aparato nuclear. El método de la botella es sencillo y útil, si son pocas determinaciones.

El aparato llamado "nuclear" es mucho más sofisticado, pero muy útil si son muchas determinaciones. Para su manipulación se requiere autorización de la Junta Nuclear.

Densidad in situ por el método de la botella.

El recipiente denominado "botella de arena" está formado, principalmente, por un cilindro de metacrilato transparente y dos conos de chapa metálica, comunicados y con una llave de paso para abrir o cerrar la comunicación entre los conos.



Antes de ir al terreno, en laboratorio, se prepara arena según la metodología normalizada, determinando su densidad y el volumen del cono externo de la botella.

En el terreno, sobre el suelo objeto de ensayo, se coloca una lona o bandeja con un círculo recortado, que nos permita hacer un agujero cilíndrico en el suelo, y recoger, sin pérdidas, todas las partículas extraídas.

El suelo extraído se guarda en un envase hermético, para determinar su humedad y peso seco (P_d) en el laboratorio.

Para determinar el volumen aparente que ocupaba el terreno extraído, se retira la lona o bandeja y se coloca la botella llena de arena hasta la llave, cerrada e invertida sobre el agujero. Se abre la llave dejando que caiga la arena que llenara el volumen del agujero y el cono que se colocó vacío. Cuando termina de caer arena, se cierra la llave de paso y se retira la botella con la arena que queda.

El peso de la botella llena, menos el peso de la botella con la arena que queda, es igual al peso de arena que llena el agujero y el cono.

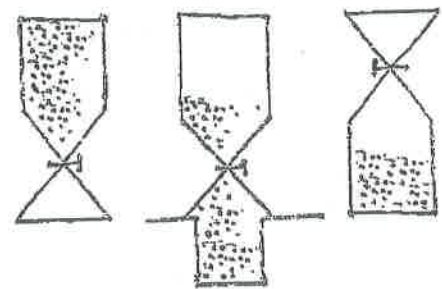
Conociendo la densidad de la arena y el volumen del cono se calcula el volumen que ocupaba el terreno extraído.

P_a peso de la arena que llena el agujero y el cono

V_c volumen del cono

D_a densidad de la arena

como $D_a = P_a / (V + V_c)$ se puede calcular V .



La densidad in situ es igual al peso seco del suelo (P_d) dividido por el volumen que ocupaba (V).

Ensayo proctor.

- . Densidad proctor
- . Humedad óptima (para compactación)

La muestra (unos 25Kg) se seca al aire, se desmenuzan los terrones con un mazo de goma y se divide en porciones de similares características.



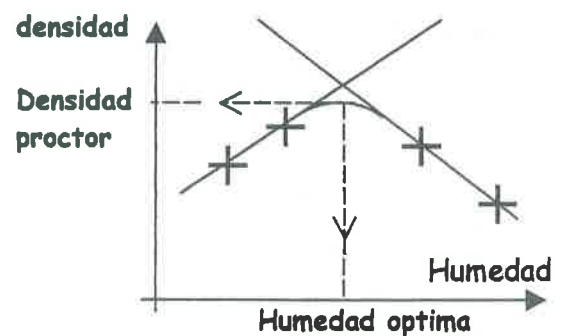
Ensayo de una porción:

- . Se añade algo de humedad y se amasa
- . Llenamos con ella un molde metálico cilíndrico, colocando varias capas, aplicando a cada una la energía de compactación fijada.
- . Se valora la humedad y la densidad seca del suelo que llena el molde.
- . La norma de ensayo indica el volumen del molde, las capas de llenado y la energía de compactación.
- . Utilizando como coordenadas la humedad y la densidad seca, se representa gráficamente el resultado.

Se ensayan otras porciones, cada una con distinta humedad, repitiendo el método de ensayo y con cada porción ensayada se obtiene un punto en la gráfica.

Se comprueba que aumentando la humedad, la densidad sube hasta un máximo, y si sigue aumentando la densidad descende.

Se ensayan al menos cuatro porciones de muestra que den en la gráfica, una recta de subida y otra de bajada. Se inserta una curva entre las dos rectas y se determina la densidad máxima posible con esta metodología, la densidad proctor.



Proctor normal

- . Molde de 1000 cm³
- . Llenado: 3 capas
- . 26 golpes por capa con la maza y altura de caída indicada por la norma correspondiente.

Proctor modificado

- . Molde de 2300 cm³
- . Llenado: 5 capas
- . 60 golpes por capa con la maza y altura de caída indicada por la norma correspondiente.

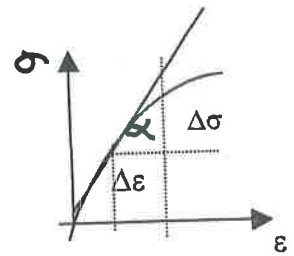
CONSOLIDACIÓN, ASIENTO (DEFORMACIÓN).

Deformabilidad de un suelo. Modulo edometrico.

Al comprimir un suelo podemos obtener la relación tensión-deformación.

Los suelos no se comportan como materiales elásticos.

El llamado módulo edométrico varía con la presión, es la tangente de la curva tensión-deformación, en cada punto.



Se recuerda que asiento es el descenso de la superficie de un suelo en que se aplica la carga que supera su presión de consolidación.

Conceptos de compresibilidad: Si se aplica una presión, el suelo se deforma, se comprime, disminuye su porosidad, se produce un asiento progresivo hasta que se estabiliza y el suelo quedara consolidado con la presión aplicada.

Cuando el asiento esta estabilizado y no varia, el suelo esta consolidado con la presión que soporta y la soporta sin alterarse.

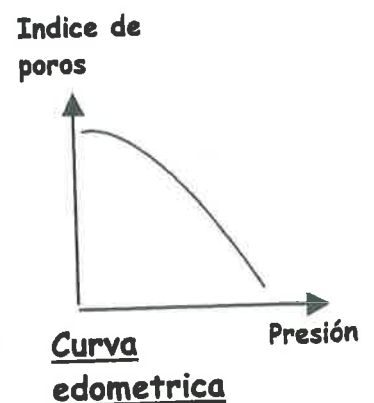
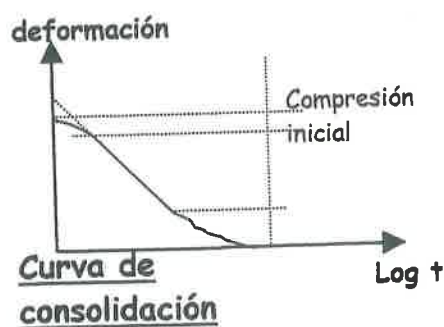
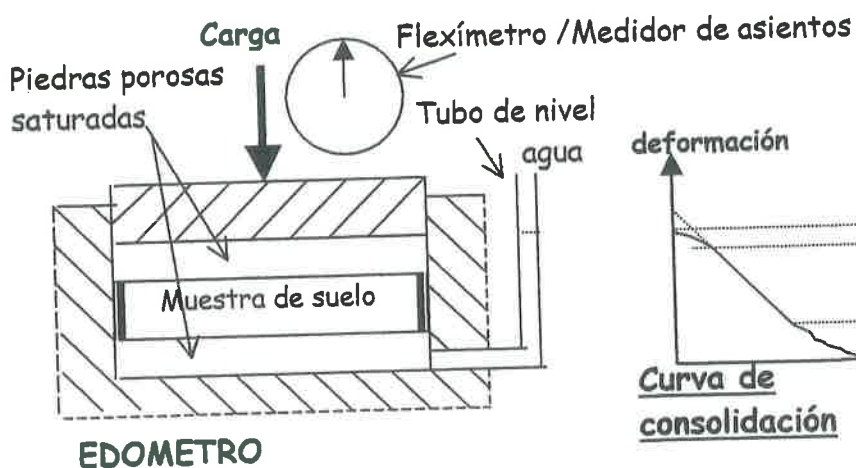
Un suelo que puede soportar, sin alterarse, mas carga que la del terreno que tiene encima, se dice que esta preconsolidado.

Ensayo edométrico

Este ensayo sirve para estudiar la compresibilidad de los suelos en laboratorio, midiendo los asientos y el tiempo de asentamiento que se producen en consolidación de muestras inalteradas y confinadas, de suelos coherentes saturados.

Durante el ensayo, la probeta tiene sus bases en contacto con piedras porosas que se colocan saturadas y en su superficie lateral, una envoltura flexible que evite la evaporación o el movimiento de aire en su entorno,

Se aplica la presión creciente por escalones y se anotan los asientos estabilizados y los tiempos. Si se realizan medidas en descarga, se debe realizar escalonadamente.



El método Lambe

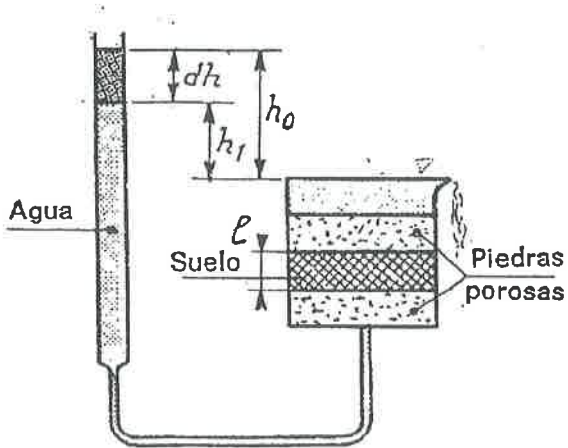
En el caso de suelos que presentan problemas de aumento de volumen por variaciones de su contenido de humedad, el ensayo LAMBE permite medir el índice de hinchamiento o la presión requerida para reducirlo a valores que se puedan despreciar.

El ensayo se realiza con el llamado "aparato Lambe".

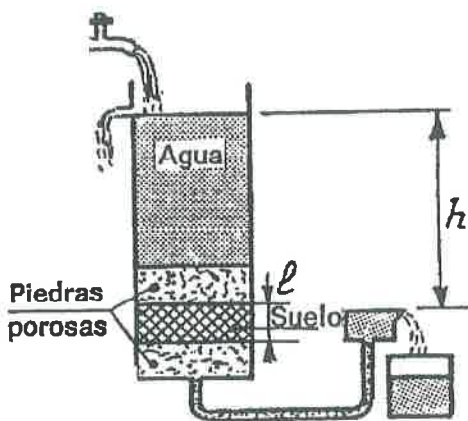
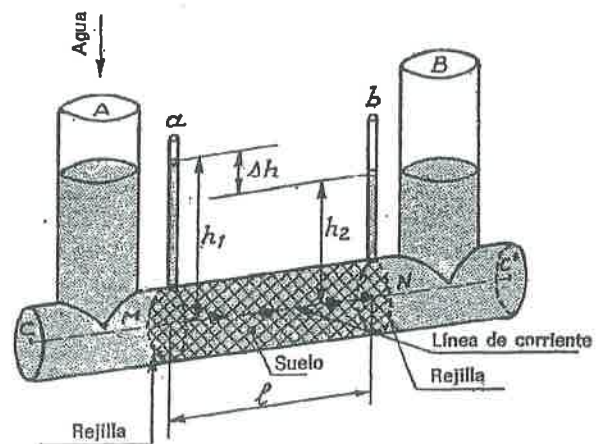
PERMEABILIMETROS. LA LEY DE DARCY

La ley de Darcy permite determinar el coeficiente de permeabilidad de un suelo en función de la velocidad de la corriente de agua, el gradiente hidráulico, el gradiente de presión, . . .

(Ver libro 3, pag 75 a 81 de bibliografía básica)



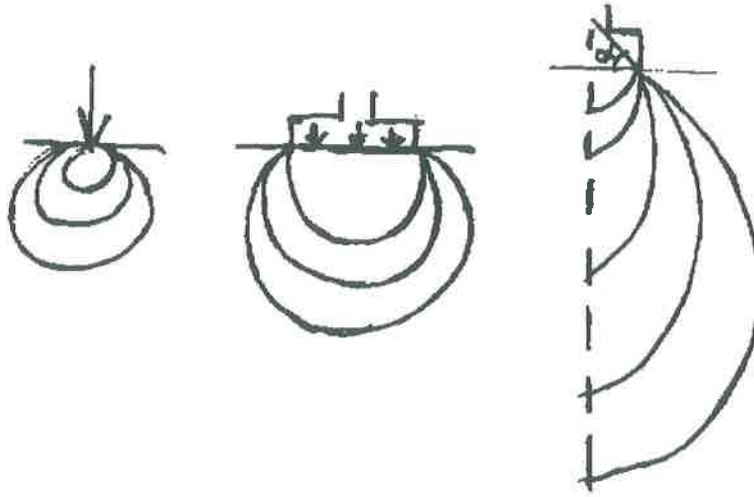
Permeabilímetro de carga variable



Permeabilímetro de carga constante

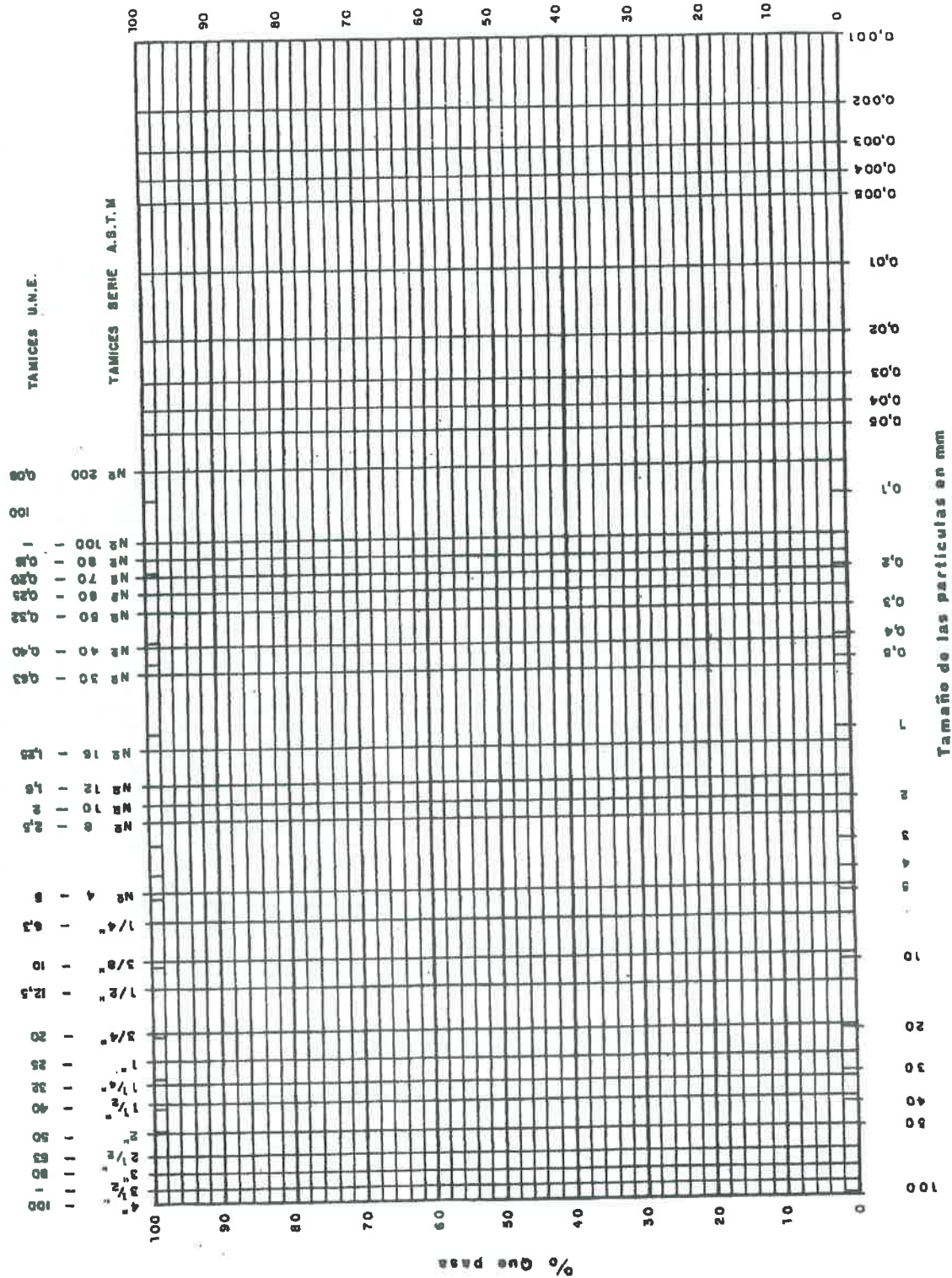
BULBO DE PRESIONES

Esta constituido por líneas formadas uniendo puntos de igual tensión-reacción vertical.



Anejo de la guía de las clases de suelos

ANEXO B (Normativo)
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO



DATOS DE GRUPOS DE LA CLASIFICACIÓN UNIFICADA

Componentes y fracciones del suelo

Suelo	Fracción del suelo	Símbolo	Granulometría y descripción	Definición de las propiedades
Fracciones gruesas	Bloques	No hay	Redondeados a angulosos, formados por rocas duras; gran tamaño y diámetro medio superior a 30 cm	Los bloques y boleos son elementos muy estables utilizados para terraplenes, balastos y para estabilizar taludes (enrocamientos). Debido a su tamaño y peso su presencia en los depósitos naturales de suelo tiende a mejorar la estabilidad de las cimentaciones. La angularidad de las partículas aumenta la estabilidad.
	Bolcos, bolos	No hay	Redondeados a angulosos, procedentes de rocas duras; diámetros medio inferior a 30 cm pero superior a 15 cm.	
	Grava	G	Redondeada a angulosa, procedente de rocas duras; pasa por el tamiz de 3" (76.2 mm) y es retenida por el tamiz No. 4 (4.76 mm)	La grava y la arena tienen esencialmente las mismas propiedades ingenieriles aunque en grados diferentes. El tamiz No. 4 es una división arbitraria y no corresponde a un cambio apreciable de propiedades. Son fáciles de compactar, resultan poco afectadas por la humedad y no están sujetas a la acción de la helada. Las gravas suelen ser más estables frente al flujo de agua y más resistentes a la erosión y a la tubificación que las arenas. Las arenas y gravas bien graduadas son generalmente menos permeables y más estables que aquellas deficientemente graduadas (granulometría uniforme). La irregularidad de las partículas hace aumentar ligeramente la estabilidad. La arena fina uniforme tiene características próximas a un limo; es decir, disminuye su permeabilidad y reduce su estabilidad al aumentar la humedad.
	Gruesa		Entre los tamices 3" a 3 1/4" (76.2 a 19 mm)	
	Fina		Entre los tamices 3/4" y No. 4 (19 mm a 4.76 mm)	
	Arena	S	Redondeada a angulosa, procedente de rocas duras; pasa por el tamiz No. 4 (4.76 mm) y es retenida por el tamiz No. 200 (0.074 mm)	
	Gruesa		Tamices No. 4 a 10	
Media		Tamices No. 10 a 40		
Fina		Tamices No. 40 a 200		
Fracciones finas	Limo	M	Partículas que pasan por el tamiz No. 200 (0.074 mm). Identificables por su comportamiento: es decir, ligeramente plásticas o sin plasticidad cualquiera que sea la humedad y con escasa o nula resistencia al secarse al aire.	El limo es inestable por su propia naturaleza, particularmente cuando aumenta la humedad, con tendencia a fluir cuando está saturado. Es relativamente impermeable, difícil de compactar, muy susceptible a la acción de la helada, fácilmente erosionable y sujeto a la tubificación y ebullición. Los granos de forma cúbica reducen la compresibilidad; los granos lujosos, como la mica, diatomeas, etc, aumentan la compresibilidad, dan lugar a un limo "elástico".
	Arcilla	C	Partículas que pasan por el tamiz No. 200 (0.074 mm). Identificables por su comportamiento: es decir, puede conseguirse que presenten propiedades de plasticidad dentro de una amplia gama de humedades y posean considerable resistencia al secarse al aire.	La característica diferenciante de la arcilla es la cohesión o resistencia cohesiva, que aumenta al disminuir la humedad. La permeabilidad de la arcilla es muy baja, es difícil de compactar en estado húmedo e imposible de drenar por métodos ordinarios; compactada es resistente a la erosión y a la tubificación, no es susceptible a hinchamientos por efecto de la helada. Está sometida a expansión y retracción con las variaciones de humedad. Las propiedades dependen no sólo del tamaño y forma (partículas laminadas, lamosas), sino también por su composición mineral, es decir, el tipo de mineral arcilloso y el medio químico o la capacidad de intercambio iónico. En general el mineral arcilloso montmorilinita tiene el mayor efecto sobre las propiedades, siendo este efecto mínimo en el caso de la illita y la caolinita.
	Materia orgánica	O	Materia orgánica de diversos tamaños y en diversas fases de descomposición.	La presencia de materia orgánica incluso en cantidades modestas hace aumentar la compresibilidad y reduce la estabilidad de las fracciones finas del suelo. Puede descomponerse creando vacíos y haciendo variar las propiedades de un suelo por alteración química por lo cual los suelos orgánicos no son adecuados para usos ingenieriles.

Según Wagner, 1957.

Nota. Los símbolos y fracciones están de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación. Para la identificación de campo se supone que 1/4 de pulgada (6 mm) equivale al tamiz No. 4 y el tamiz No. 200 se define como "el mínimo tamaño de las partículas que se puede apreciar a simple vista". Las fracciones de la arena no son divisiones análogas en una escala logarítmica; se eligió el tamiz No. 10 debido a: significado asignado a este tamaño por algunos investigadores. El tamiz No. 40 se eligió porque los "límites de Atterberg", se determinan con la fracción del suelo que pasa por dicho tamiz.

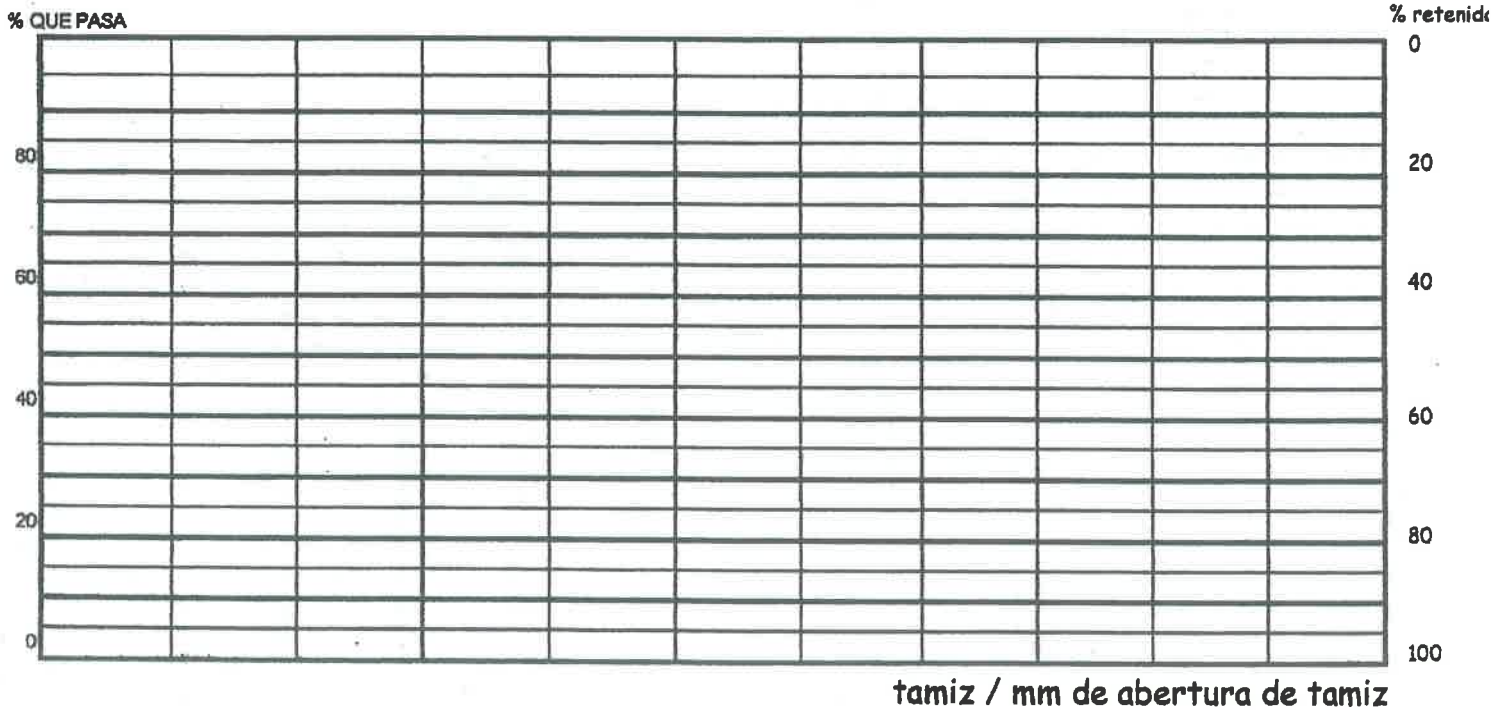
HOJA DE TRABAJO USADA EN CLASES

Para realizar ejercicios con análisis granulométrico; en clase utilizaremos (no necesariamente) hojas de trabajo similares al siguiente esquema:

Datos de granulometría:

Tamiz UNE, en mm:	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Retenido parcial, en g:	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Retenido acumulado, en g:	-----	-----	-----	-----	-----	-----
% retenido:	-----	-----	-----	-----	-----	-----
% que pasa:	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Línea granulométrica



NOTA:

En el diagrama de la norma UNE, la coordenada con los mm de los tamices esta en escala logarítmica. En el diagrama dado en esta pagina, las divisiones en esa coordenada no se ajustan a ninguna escala.

EJERCICIO DE GRANULOMETRIA RESUELTO

EJERCICIO:

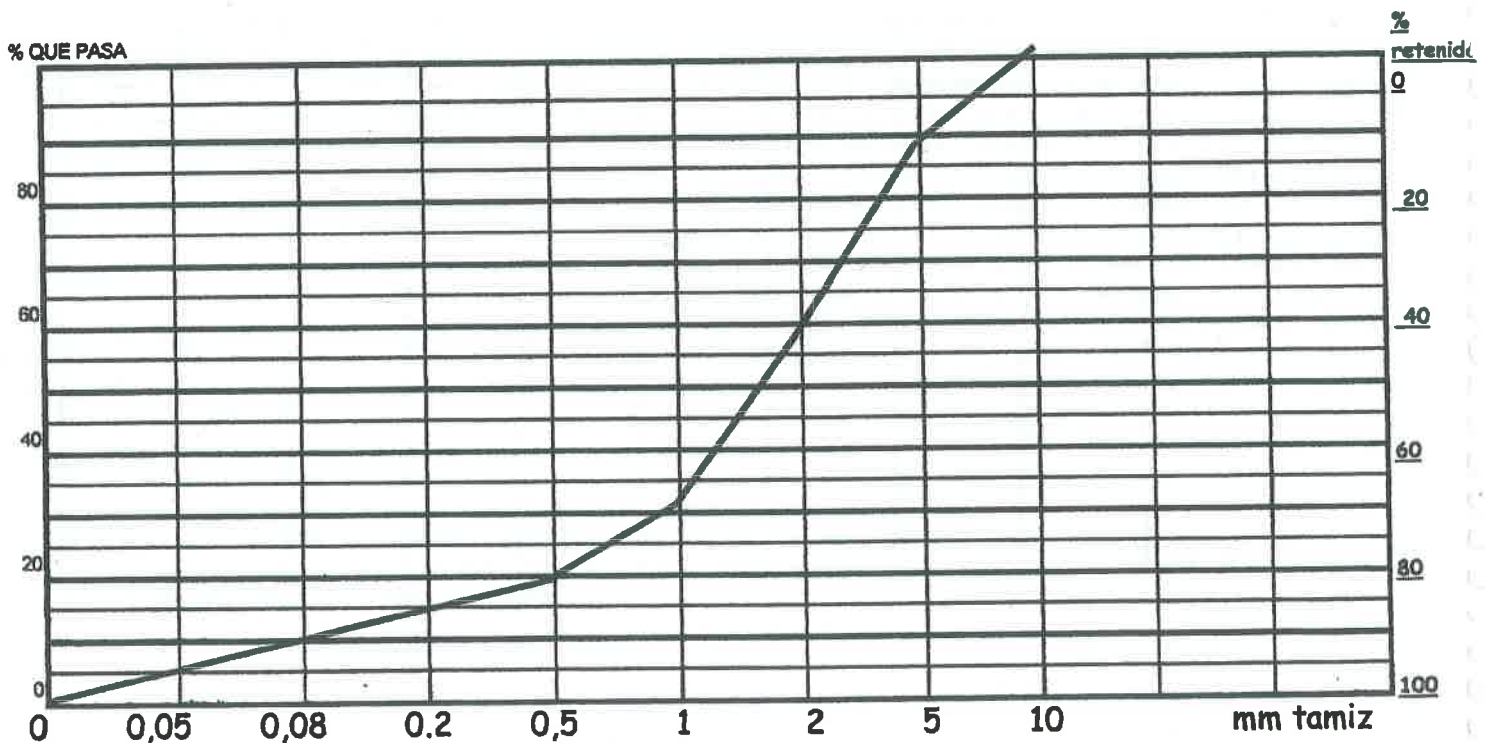
De una muestra de un suelo se tienen los siguientes datos granulométricos:

Tamiz UNE 7.050 :	10	5	2	1	0.5	0.2	0.08	0.05	0(Fondo)
Peso ret. Parcial (g):	0	100	300	300	100	50	50	50	50

Realizar la representación grafica de la granulometria del suelo y deteminar su coeficiente de uniformidad y el de curvatura.

SOLUCIÓN

Tamiz UNE 7.050:	10	5	2	1	0.5	0.2	0.08	0.05	0(Fondo)
Peso ret. Parcial, g:	0	100	300	300	100	50	50	50	50
Peso ret. acumulado, g:	0	100	400	700	800	850	900	950	1000
% retenido :	0	10	40	70	80	85	90	95	100
% que pasa:	100	90	60	30	20	15	10	5	0



D60 = 2 mm
 D30 = 1 mm
 D10 = 0,08 mm

Coeficiente de uniformidad = $D_{60} / D_{10} = 2 / 0,08 = 25$

Coeficiente de curvatura = $D_{30} / (D_{60} \times D_{10}) = 1 / 0,16 = 6.25$

EJERCICIO

Un suelo inorgánico es conocido por los siguientes datos:

Plasticidad : LL= 60% y LP= 20%

Granulometria :

Tamiz UNE, en mm :	20	10	5	2	0,5	0,2	0,08	Fondo
Retenido parcial, en g:	0	50	50	0	50	50	100	*
* Muestra ensayada: 1000g								
Ret. acumulado, en g	0	50	100	100	150	200	300	1000
Ret. en %	0	5	10	10	15	20	30	100
Pasa, en %	100	95	90	90	85	80	70	0

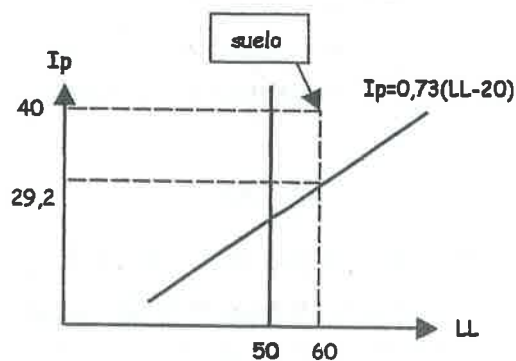
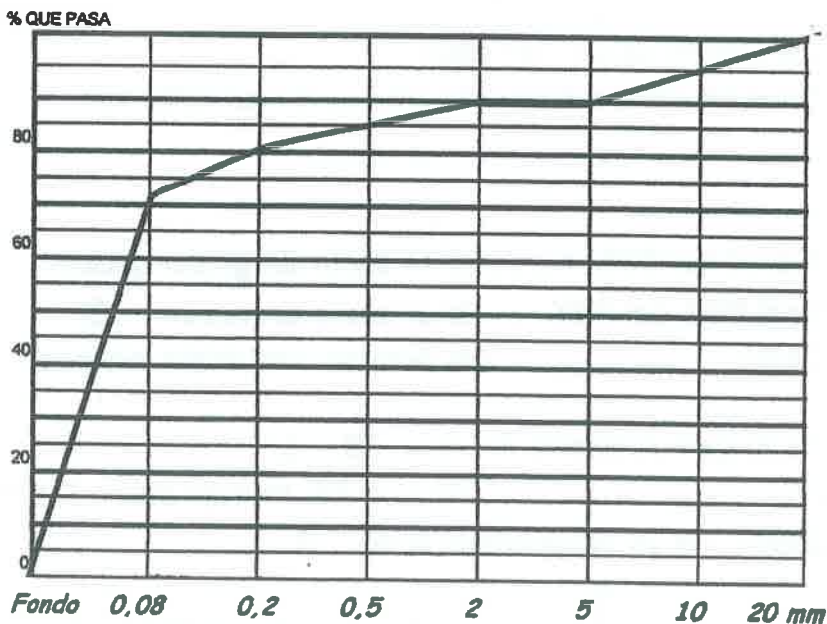
Contestar a las siguientes preguntas:

a) El suelo es de grano fino o grueso. ¿Por qué?

Respuesta:

Es de grano fino porque el tamiz UNE 0,08 retiene menos del 50% de toda la muestra

b) Representar gráficamente la granulometria del suelo y la plasticidad de sus finos



Ip de la recta A cuando LL= 60%:
 $Ip = 0,73(60 - 20) = 29,2$

Ip del suelo: $Ip = LL - LP = 60 - 20 = 40$

Caso de necesitar datos del tipo de granulometria:
 $Cu = D_{60}/D_{10}$ $Cc = D_{30}/(D_{60} \times D_{10})$

c) Designación en la clasificación unificada. ¿Por qué?

Respuesta: **CH**

Los suelos de grano fino se designan según datos obtenidos de la representación de su Plasticidad.

Es C (arcilloso) porque se representa sobre la línea A

Es H porque el límite líquido es mayor de 50%

d) El suelo es granular o cohesivo. ¿Por qué?

Respuesta: *Es cohesivo. Según la clasificación Unificada es un suelo arcilloso y los suelos arcillosos son cohesivos.*

e) El suelo tiene buen drenaje o no. ¿Por qué?

Respuesta: *No tiene drenaje. Los suelos arcillosos no son permeables.*

EJERCICIO DE CLASIFICACIÓN UNIFICADA

EJERCICIO: ✓

De una muestra de un suelo se tienen los siguientes datos:

Datos granulométricos :

Tamiz UNE 7.050:	10	5	2	1	0.5	0.2	0.08	0.05	0(Fondo)
Peso ret. Parcial, g:	0	100	300	300	100	50	50	50	50
Peso ret. acumulado, g:	0	100	400	700	800	850	900	950	1000
% retenido :	0	10	40	70	80	85	90	95	100
% que pasa:	100	90	60	30	20	15	10	5	0

Coeficiente de uniformidad = 25

Coeficiente de curvatura = 6.25

Datos de plasticidad de los finos del suelo: LL: 55 LP: 45.

Se pide :

- Designación del suelo según la Clasificación Unificada
- Comentar brevemente su previsible comportamiento ante acciones externas

SOLUCIÓN

Por el tamiz 0,08 UNE pasa menos del 50% : Es un suelo de grano grueso

Por el tamiz 5 UNE pasa mas del 50% del 90% : . Es un suelo arenoso: **S**

Tiene 10% de finos (entre 5 y 12%) : Se designa con doble símbolo

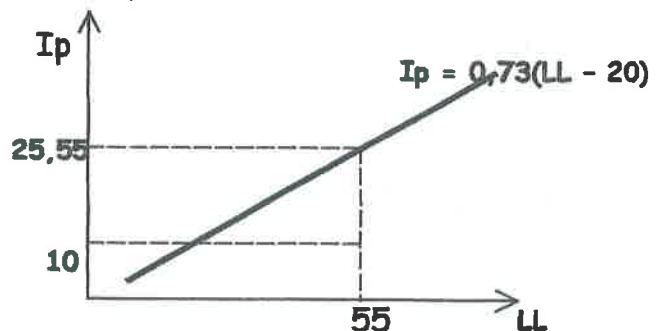
El coeficiente de uniformidad de la granulometria es $C_u = 25 > 6$

pero el coeficiente de curvatura :

$C_c = 6,25$ no esta entre 1 y 3

La granulometria esta mal graduado y le corresponde la letra **P**

En la gráfica de plasticidad los finos del suelo, se representan bajo la recta A, luego los finos son limosos: **M**



Designación del suelo según la clasificación

Unificada : **SP - SM**

IP de los finos siendo LL=55 y LP=45: $I_p = 55 - 45 = 10$

Ip de la recta A para LL =55: $I_p = 0,73(55 - 20) = 25,55$

Previsión de comportamiento:

El suelo será prácticamente permeable, podrá retener mucha humedad, no será cohesivo, y tendrá comportamiento no plástico.

PROBLEMA DE SUELOS

Realizar la Clasificación Unificada del suelo que se indica:

Datos granulometricos del suelo:

Tamiz UNE 7.050 :	20	10	5	2	1	0.4	0.2	0.08	Fondo
Peso retenido parcial, en g:	0	100	50	50	50	450	100	100	100
Peso retenido acumulado, en g:	0	100	150	200	250	700	800	900	1000
Porcentaje retenido:	0	10	15	20	25	70	80	90	100
Porcentaje que pasa:	100	90	85	80	75	30	20	10	0

Datos de la plasticidad de sus finos: LP = 14%; LL = 58% **Ip = 44%**

Otros datos: Ecuación de la recta A: $I_p = 0,73(LL - 20)$

SOLUCIÓN: Es un suelo

SW - SC

por los motivos siguientes:

Suelo de grano grueso, porque por el tamiz 0,08 pasa menos del 50%

S - Arenoso, porque por el tamiz 5 UNE pasa mas del 50% de 45% (50% de lo que retiene el tamiz 0,08UNE).

W- esta bien graduado $C_u = D_{60} / D_{10} = 0,8 / 0,08 = 80 / 8 = 10 > 6$

$$C_c = D_{30}^2 / D_{60} \times D_{10} = 0,4^2 / 0,8 \times 0,08 = 0,16 / 0,064 = 160 / 64 = 2,5, \text{ entre } 1 \text{ y } 3$$

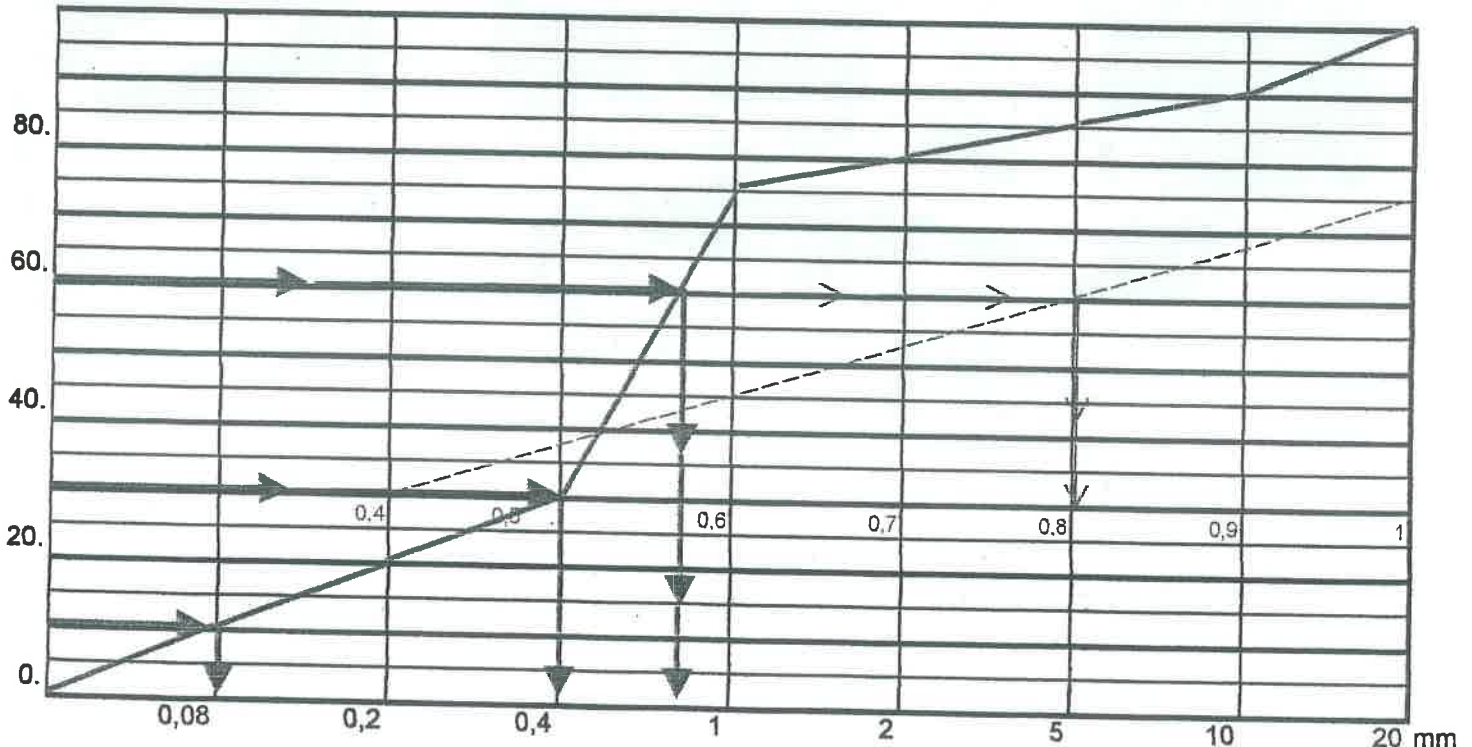
C -arcilloso, pues esta sobre la linea A

$I_p \text{ del suelo} = 44$

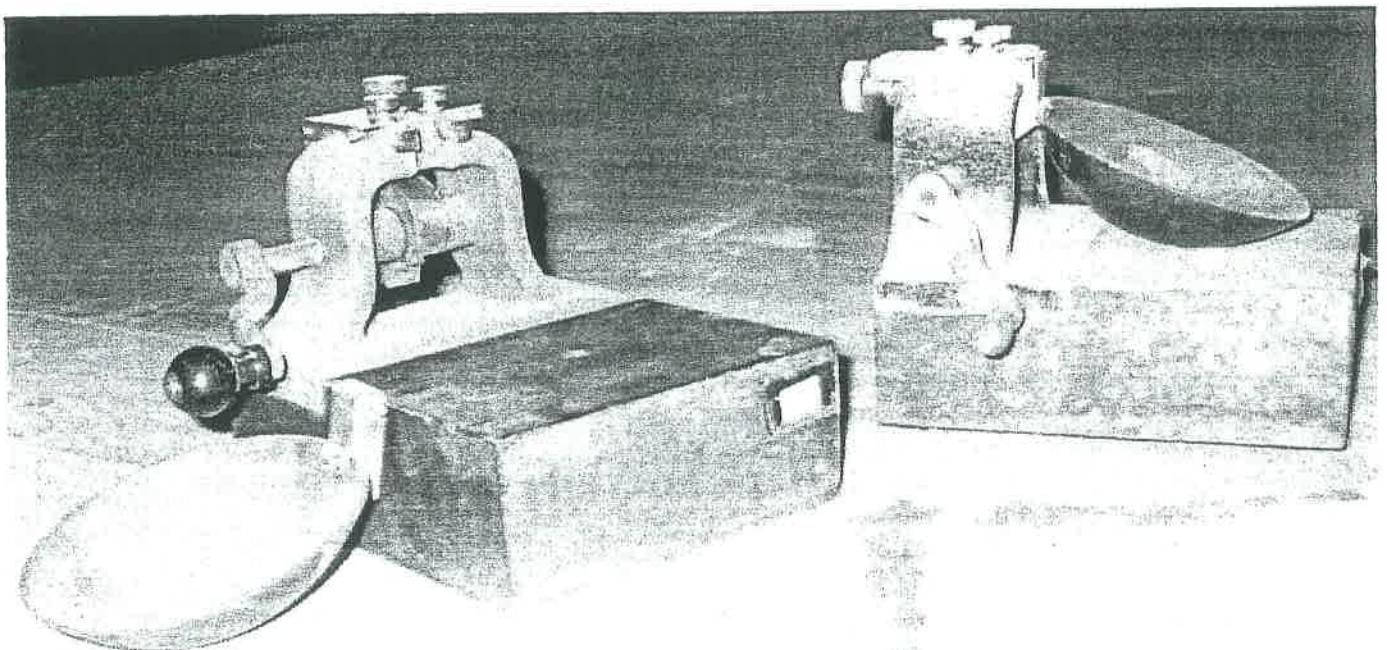
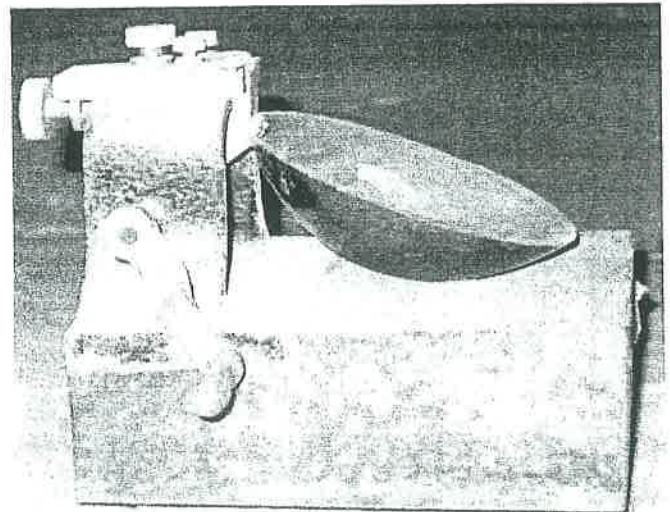
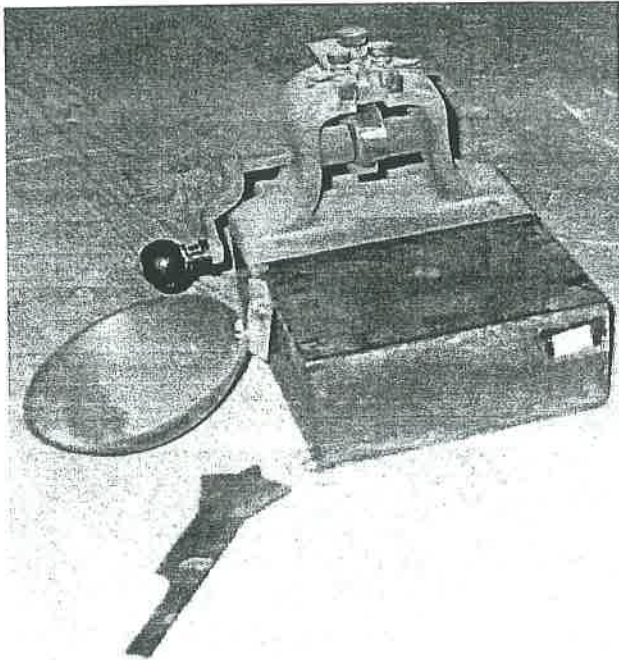
$I_p \text{ en la recta A} = 0,73(58-20) = 27,74$

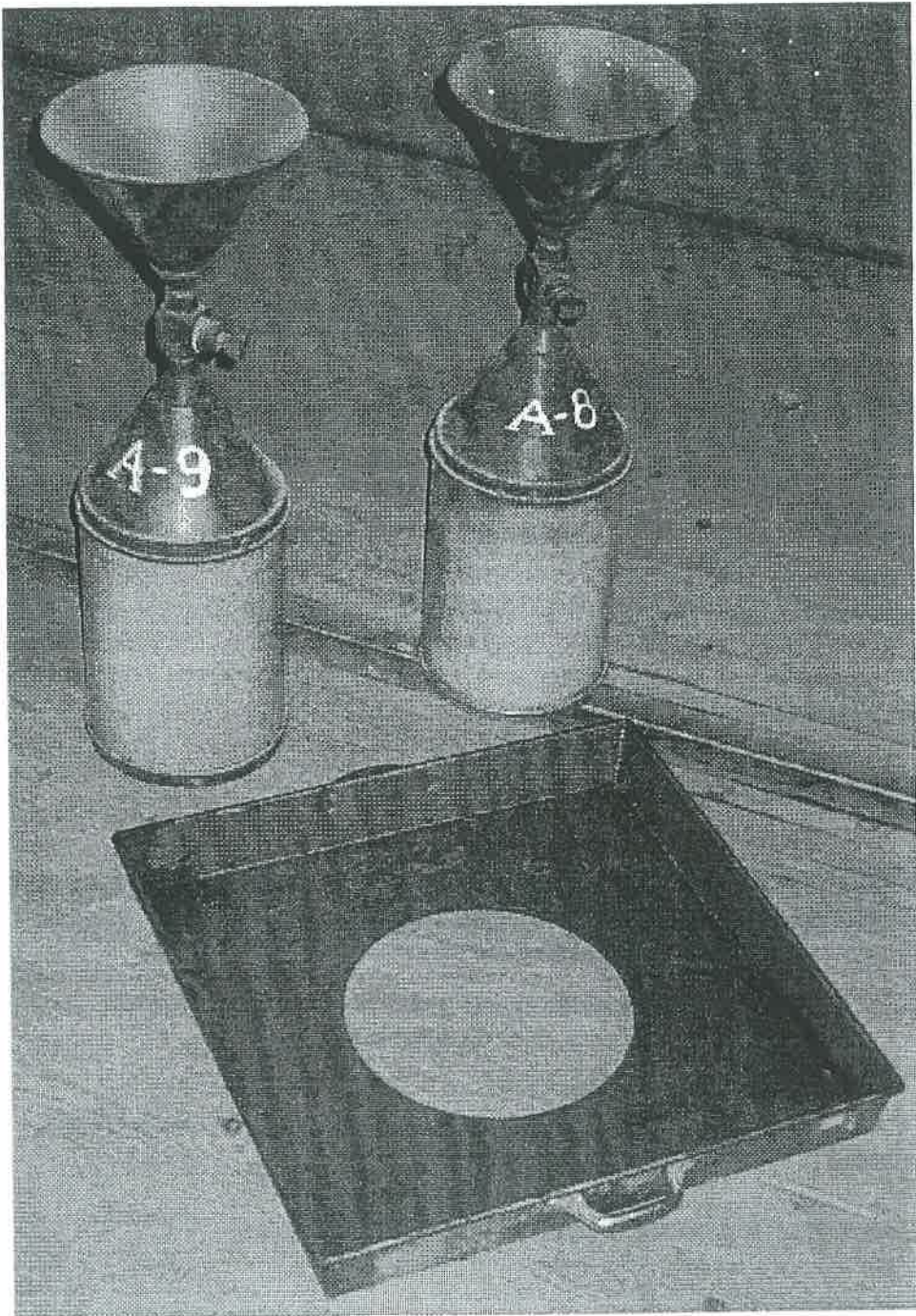


% QUE PASA
100



PLASTICIDAD. LIMITES de ATTERBERG.
"Cuchara de Casagrande" para determinar el limite liquido.





Para determinar la densidad "in situ": Botella de arena

TEMAS DE SUELOS Y PAGINAS DE BIBLIOGRAFIA

TERRENOS DE CIMENTACIÓN: ROCAS Y SUELOS

ORIGEN. FASES. SUELOS FUNDAMENTALES ESTRUCTURA DE LOS SUELOS.

PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE LOS SUELOS

- | | | |
|------------------------------|-----------------------|--------------------------------------|
| - Densidad / Peso específico | - Humedad. | - Angulo de rozamiento |
| - Porosidad. | - Absorción. | - Cohesión |
| - Compacidad. | - Grado de saturación | - Resistencia. |
| - Compactabilidad | - Absorción capilar. | - Coeficiente de forma de partículas |
| - Compresibilidad | - Permeabilidad. | - Etc. |
| - Consolidación. | - Nivel freático. | |
| - Granulometria | - Plasticidad. | |

ANALISIS GRANULOMETRICO.

ESTUDIO DE LA PLASTICIDAD

CLASIFICACIONES:

- por granulometria
 - de suelos de partículas unimodulares (graficas en una cordenada)
 - de suelos con partículas de distintas fracciones (graficas en dos cordenadas).
 - de suelos finos (graficas en tres cordenadas / Triangulo de Feret).
- por plasticidad
- por granulometria y plasticidad (CLASIFICACIÓN UNIFICADA)
- por análisis químico, etc.

- * Ver 1, paginas 1 a 6.
- * Ver 2, paginas 17-29
- * Ver 3, paginas 21 a 26.
- * Ver 4, paginas 1 a 13.
- * Ver 5, paginas 1.1 a 1.30
- * Ver 6, paginas 1-32.

IDENTIFICACIÓN DE SUELOS "IN SITU".

- * Ver 5, paginas 1.32 a 1.34.

TOMA DE MUESTRAS / SONDEOS

- Alteradas. Inalteradas

- * Ver 1, paginas 11-12
- * Ver 2, paginas 47-51

CONCEPTOS Y ENSAYOS PARA LA DETERMINACIÓN DE RESISTENCIA.

- Compresión simple. Compresión confinada.
- Penetrómetros.
- Ensayo de placa. Pruebas de carga. Presiometro.

- * Ver 1, paginas 12, 13 y 14
- * Ver 2, paginas 33 a 40 y 60
- * Ver 3, paginas 104 a 121.

- Teoria de Terzaghi sobre rotura de los suelos.
- Formulas homogéneas
- Importancia de la cohesión, angulo de rozamiento y la densidad

- * Ver 1, paginas 18, 19 y 20
- * Ver 2, paginas 65 a 76

- Escisiometro. Corte directo. Triaxial. Densidad in situ

- * Ver 2, paginas 51 a 60
- * Ver 1, pagina 13

CONCEPTOS Y ENSAYOS PARA DETERMINAR LA DEFORMABILIDAD Y PERMEABILIDAD.

- Presiones sobre el terreno. Asientos. Consolidación. Bulbo de reparto de carga.
- Deformaciones
- Ensayo edometrico. Curva edometrica. Interpretación de resultados

- * Ver 1, paginas 6 a 9
- * Ver 6, paginas 21 a 35

- Ensayos para determinar la permeabilidad
Permeabilímetros de carga constante y de carga variable

- * Ver 3, paginas 73 a 83

TERREPLENES Y ESTUDIOS GEOTECNICOS

- Ensayo para determinar su compacidad: Proctor normal. Proctor modificado
- Ensayos de comprobación: Densidades "in situ"

- * Ver 1, paginas 21 a 29

NTE/CEG/75. ESTUDIOS GEOTECNICOS.

**EJEMPLO DE EXAMEN CON UNAS
CONTESTACIONES CORRECTAS**

CONOCIMIENTO DE CONSTRUCCIÓN Y MATERIALES MATERIALES

SUELOS

A

09 01 03

Apellidos
Nombre Profesor

Grupo

1	Un suelo que tiene un limite liquido de 20 y un indice de plasticidad de 69 será	a	ML
		b	CH
		c	CL
		<input checked="" type="checkbox"/>	No es posible
2	Cual de los siguientes suelos será mas permeable	a	30% grava, 30%arena, 40% limo
		b	40% grava, 25%arena, 35% arcilla
		c	30% grava, 60%arena, 10% limo
		<input checked="" type="checkbox"/>	5% grava, 85%arena, 10% limo
3	El ensayo de sacudidas se utiliza para	a	valorar la densidad de los suelos
		b	determinar la resistencia de los suelos
		c	comprobar una compactación
		<input checked="" type="checkbox"/>	distinguir "in situ" si un suelo es limoso o arcilloso
4	¿Qué sera el suelo que tiene la siguiente granulometria?: Tamiz UNE: 1 0,1 0,08 % que pasa: 100 50 0	a	Grava
		<input checked="" type="checkbox"/>	Arena
		c	Limo
		d	Limo y arena
5	¿con que ensayo no se puede determinar la cohesión de un suelo?	<input checked="" type="checkbox"/>	El edometro
		b	El triaxial
		c	El corte directo
		d	El escisiometro
6	En una arena	a	la compresibilidad será alta si no esta confinada
		b	la cohesión puede ser media pero no alta
		c	el indice de plasticidad puede ser negativo
		<input checked="" type="checkbox"/>	el limite liquido no se considera
7	La "Cuchara de Casagrande" se utiliza para	<input checked="" type="checkbox"/>	determinar el limite liquido
		b	determinar el limite plástico
		c	tomar muestra en sondeos
		d	determinar el limite de retracción
8	En el resultado del ensayo edometrico se suele tener	a	una curva edometrica y la humedad de la muestra recompuesta
		<input checked="" type="checkbox"/>	una curva edometrica y otra de consolidación
		c	la recta intrinseca
		d	una curva edometrica y la recta intrinseca
9	Utilizando el cuarteador con una muestra se puede obtener	<input checked="" type="checkbox"/>	porciones con granulometria similar
		b	porciones de muestra inalterada
		c	la humedad hasta su agrietamiento
		d	cuatro probetas para ensayar a compresión simple
10	Un suelo cohesivo	a	suele ser muy permeable
		<input checked="" type="checkbox"/>	suele contener arcillas
		c	contiene limos
		d	tiene un comportamiento que no varia al cambiar su humedad

Indicar las respuestas correctas en la tabla siguiente

(A)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D	C	D	B	A	D	A	B	A	B

Respuesta de test correcta 1/2 punto, incorrecta -0,33/2 puntos. Pregunta no contestada 0 puntos.
Respuesta de ejercicio correcta: a, d y e: 0,6 puntos; b y c: 1,6 puntos.

80 > 50
*

Un suelo inorgánico es conocido por los siguientes datos:

Plasticidad : LL= 60% y LP= 20%

Granulometria :

Tamiz UNE, en mm :	20	10	5	2	0,5	0,2	0,08	Fondo
Retenido parcial, en g:	0	50	50	0	50	50	100	* 307

* Muestra ensayada: 1000g

Ret. acumulado, en g	0	50	100	100	150	200	300	1000
Ret. en %	0	5	10	10	15	20	30	100
Pasa, en %	100	95	90	90	85	80	70	0

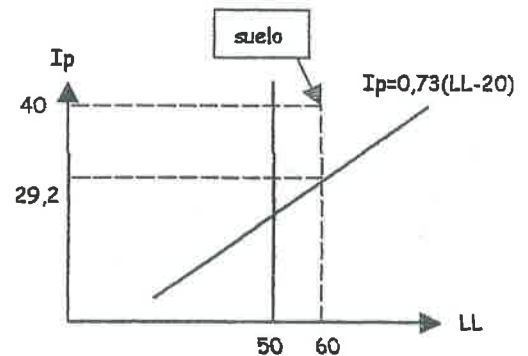
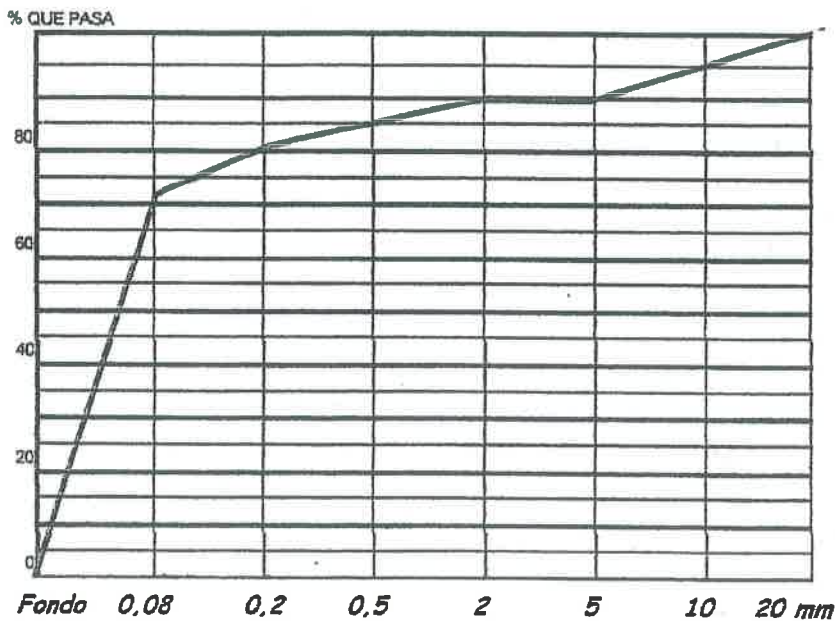
Contestar a las siguientes preguntas:

a) El suelo es de grano fino o grueso. ¿Por qué?

Respuesta:

Es de grano fino porque el tamiz UNE 0,08 retiene menos del 50% de toda la muestra

b) Representar gráficamente la granulometria del suelo y la plasticidad de sus finos



Ip de la recta A cuando LL= 60%:

$$Ip = 0,73(60 - 20) = 29,2$$

Ip del suelo: $Ip = LL - LP = 60 - 20 = 40$

Caso de necesitar datos del tipo de granulometria:
 $Cu = D_{60}/D_{10}$ $Cc = D_{30}/(D_{60} \times D_{10})$

c) Designación en la clasificación unificada. ¿Por qué?

Respuesta: **CH**

Los suelos de grano fino se designan según datos obtenidos de la representación de su Plasticidad.

Es C (arcilloso) porque se representa sobre la línea A

Es H porque el límite líquido es mayor de 50%

d) El suelo es granular o cohesivo. ¿Por qué?

Respuesta: *Es cohesivo. Según la clasificación Unificada es un suelo arcilloso y los suelos arcillosos son cohesivos.*

e) El suelo tiene buen drenaje o no. ¿Por qué?

Respuesta: *No tiene drenaje. Los suelos arcillosos no son permeables.*

**ESTUDIOS GEOTECNICOS SEGÚN
CTE SE-C**

CONTENIDO

3 Estudio geotécnico.

Anejo A Terminología.

Anejo B Notación y unidades.

Anejo C Criterios de clasificación,
correlaciones y valores
orientativos tabulados de
referencia.

Anejo G Normas de referencia.

3 Estudio geotécnico

3.1 Generalidades

- 1 El estudio geotécnico es el compendio de información cuantificada en cuanto a las características del terreno en relación con el tipo de edificio previsto y el entorno donde se ubica, que es necesaria para proceder al análisis y dimensionado de los cimientos de éste u otras obras.
- 2 Las características del terreno de apoyo se determinarán mediante una serie de actividades que en su conjunto se denomina reconocimiento del terreno y cuyos resultados quedarán reflejados en el estudio geotécnico.
- 3 El reconocimiento del terreno, que se fijará en el estudio geotécnico en cuanto a su intensidad y alcance, dependerá de la información previa del plan de actuación urbanística, de la extensión del área a reconocer, de la complejidad del terreno y de la importancia de la edificación prevista. Salvo justificación el reconocimiento no podrá ser inferior al establecido en este DB.
- 4 Para la realización del estudio deben recabarse todos los datos en relación con las peculiaridades y problemas del emplazamiento, inestabilidad, deslizamientos, uso conflictivo previo tales como hornos, huertas o vertederos, obstáculos enterrados, configuración constructiva y de cimentación de las construcciones limítrofes, la información disponible sobre el agua freática y pluviometría, antecedentes planimétricos del desarrollo urbano y, en su caso, sismicidad del municipio, de acuerdo con la Norma de Construcción Sismorresistente NCSE vigente.
- 5 Dado que las conclusiones del estudio geotécnico pueden afectar al proyecto en cuanto a la concepción estructural del edificio, tipo y cota de los cimientos, se debe acometer en la fase inicial de proyecto y en cualquier caso antes de que la estructura esté totalmente dimensionada.
- 6 La autoría del estudio geotécnico corresponderá al proyectista, a otro técnico competente o, en su caso, al Director de Obra y contará con el preceptivo visado colegial.

3.2 Reconocimiento del terreno

3.2.1 Programación

- 1 Para la programación del reconocimiento del terreno se deben tener en cuenta todos los datos relevantes de la parcela, tanto los topográficos o urbanísticos y generales del edificio, como los datos previos de reconocimientos y estudios de la misma parcela o parcelas limítrofes si existen, y los generales de la zona realizados en la fase de planeamiento o urbanización.
- 2 A efectos del reconocimiento del terreno, la unidad a considerar es el edificio o el conjunto de edificios de una misma promoción, clasificando la construcción y el terreno según las tablas 3.1 y 3.2 respectivamente.

Tabla 3.1. Tipo de construcción

Tipo	Descripción ⁽¹⁾
C-0	Construcciones de menos de 4 plantas y superficie construida inferior a 300 m ²
C-1	Otras construcciones de menos de 4 plantas
C-2	Construcciones entre 4 y 10 plantas
C-3	Construcciones entre 11 a 20 plantas
C-4	Conjuntos monumentales o singulares, o de más de 20 plantas.

(1) En el cómputo de plantas se incluyen los sótanos.

Tabla 3.2. Grupo de terreno

Grupo	Descripción
T-1	Terrenos favorables: aquellos con poca variabilidad, y en los que la práctica habitual en la zona es de cimentación directa mediante elementos aislados.
T-2	Terrenos intermedios: los que presentan variabilidad, o que en la zona no siempre se recurre a la misma solución de cimentación, o en los que se puede suponer que tienen rellenos antrópicos de cierta relevancia, aunque probablemente no superen los 3,0 m.

T-3	Terrenos desfavorables: los que no pueden clasificarse en ninguno de los tipos anteriores. De forma especial se considerarán en este grupo los siguientes terrenos:
	a) Suelos expansivos
	b) Suelos colapsables
	c) Suelos blandos o sueltos
	d) Terrenos kársticos en yesos o calizas
	e) Terrenos variables en cuanto a composición y estado
	f) Rellenos antrópicos con espesores superiores a 3 m
	g) Terrenos en zonas susceptibles de sufrir deslizamientos
	h) Rocas volcánicas en coladas delgadas o con cavidades
	i) Terrenos con desnivel superior a 15°
	j) Suelos residuales
	k) Terrenos de marismas

- 3 La densidad y profundidad de reconocimientos debe permitir una cobertura correcta de la zona a edificar. Para definirlos se tendrá en cuenta el tipo de edificio, la superficie de ocupación en planta y el grupo de terreno.
- 4 Con carácter general el mínimo de puntos a reconocer será de tres. En la tabla 3.3 se recogen las distancias máximas $d_{m\acute{a}x}$ entre puntos de reconocimiento que no se deben sobrepasar y las profundidades orientativas P bajo el nivel final de la excavación. La profundidad del reconocimiento en cada caso se fijará teniendo en cuenta el resto del articulado de este capítulo y el corte geotécnico del terreno.
- 5 Todos los puntos de reconocimiento, en planimetría y altimetría, deben quedar reflejados en un plano, referidos a puntos fijos claramente reconocibles del entorno, o en su defecto a coordenadas UTM.

Tabla 3.3. Distancias máximas entre puntos de reconocimiento y profundidades orientativas

Tipo de construcción	Grupo de terreno			
	T1		T2	
	$d_{m\acute{a}x}$ (m)	P (m)	$d_{m\acute{a}x}$ (m)	P (m)
C-0, C-1	35	6	30	18
C-2	30	12	25	25
C-3	25	14	20	30
C-4	20	16	17	35

- 6 En el caso de que las distancias $d_{m\acute{a}x}$ excedan las dimensiones de la superficie a reconocer, deben disminuirse hasta que se cumpla con el número de puntos mínimos requeridos.
- 7 En el caso de edificios con superficies en planta superiores a los 10.000 m² se podrá reducir la densidad de puntos. Esta reducción tendrá como límite el 50% de los obtenidos mediante la regla anterior aplicada sobre el exceso de la superficie.
- 8 Las condiciones fijadas anteriormente no son de aplicación en los reconocimientos del terreno para la elaboración de los estudios geotécnicos de los proyectos de urbanización.
- 9 En la tabla 3.4 se establece el número mínimo de sondeos mecánicos y el porcentaje del total de puntos de reconocimiento que pueden sustituirse por pruebas continuas de penetración cuando el número de sondeos mecánicos exceda el mínimo especificado en dicha tabla.

T-3	Terrenos desfavorables: los que no pueden clasificarse en ninguno de los tipos anteriores. De forma especial se considerarán en este grupo los siguientes terrenos:
	<ul style="list-style-type: none"> a) Suelos expansivos b) Suelos colapsables c) Suelos blandos o sueltos d) Terrenos kársticos en yesos o calizas e) Terrenos variables en cuanto a composición y estado f) Rellenos antrópicos con espesores superiores a 3 m g) Terrenos en zonas susceptibles de sufrir deslizamientos h) Rocas volcánicas en coladas delgadas o con cavidades i) Terrenos con desnivel superior a 15° j) Suelos residuales k) Terrenos de marismas

- 3 La densidad y profundidad de reconocimientos debe permitir una cobertura correcta de la zona a edificar. Para definirlos se tendrá en cuenta el tipo de edificio, la superficie de ocupación en planta y el grupo de terreno.
- 4 Con carácter general el mínimo de puntos a reconocer será de tres. En la tabla 3.3 se recogen las distancias máximas $d_{m\acute{a}x}$ entre puntos de reconocimiento que no se deben sobrepasar y las profundidades orientativas P bajo el nivel final de la excavación. La profundidad del reconocimiento en cada caso se fijará teniendo en cuenta el resto del articulado de este capítulo y el corte geotécnico del terreno.
- 5 Todos los puntos de reconocimiento, en planimetría y altimetría, deben quedar reflejados en un plano, referidos a puntos fijos claramente reconocibles del entorno, o en su defecto a coordenadas UTM.

Tabla 3.3. Distancias máximas entre puntos de reconocimiento y profundidades orientativas

Tipo de construcción	Grupo de terreno			
	T1		T2	
	$d_{m\acute{a}x}$ (m)	P (m)	$d_{m\acute{a}x}$ (m)	P (m)
C-0, C-1	35	6	30	18
C-2	30	12	25	25
C-3	25	14	20	30
C-4	20	16	17	35

- 6 En el caso de que las distancias $d_{m\acute{a}x}$ excedan las dimensiones de la superficie a reconocer, deben disminuirse hasta que se cumpla con el número de puntos mínimos requeridos.
- 7 En el caso de edificios con superficies en planta superiores a los 10.000 m² se podrá reducir la densidad de puntos. Esta reducción tendrá como límite el 50% de los obtenidos mediante la regla anterior aplicada sobre el exceso de la superficie.
- 8 Las condiciones fijadas anteriormente no son de aplicación en los reconocimientos del terreno para la elaboración de los estudios geotécnicos de los proyectos de urbanización.
- 9 En la tabla 3.4 se establece el número mínimo de sondeos mecánicos y el porcentaje del total de puntos de reconocimiento que pueden sustituirse por pruebas continuas de penetración cuando el número de sondeos mecánicos exceda el mínimo especificado en dicha tabla.

Tabla 3.4. Número mínimo de sondeos mecánicos y porcentaje de sustitución por pruebas continuas de penetración

	Número mínimo		% de sustitución	
	T-1	T-2	T-1	T-2
C-0	-	1	-	66
C-1	1	2	70	50
C-2	2	3	70	50
C-3	3	3	50	40
C-4	3	3	40	30

- 10 Debe comprobarse que la profundidad planificada de los reconocimientos ha sido suficiente para alcanzar una cota en el terreno por debajo de la cual no se desarrollarán asientos significativos bajo las cargas que pueda transmitir el edificio, tal y como se indica en los distintos capítulos de este DB.
- 11 Dicha cota podrá definirse como la correspondiente a una profundidad tal que en ella el aumento neto de tensión en el terreno bajo el peso del edificio sea igual o inferior al 10% de la tensión efectiva vertical existente en el terreno en esa cota antes de construir el edificio, a menos que se haya alcanzado una unidad geotécnica resistente tal que las presiones aplicadas sobre ella por la cimentación del edificio no produzcan deformaciones apreciables.
- 12 La unidad geotécnica resistente a la que se hace referencia en el párrafo anterior debe comprobarse en una profundidad de al menos 2 m, más 0,3 m adicionales por cada planta que tenga la construcción.
- 13 El aumento neto de tensión en el terreno, al que se hace referencia en el párrafo 11 de este apartado, podrá determinarse utilizando los ábacos y tablas existentes en la literatura geotécnica de uso habitual ó también, de forma aproximada, suponiendo que la carga del edificio se distribuye uniformemente en cada profundidad sobre una superficie definida por planos que, buzando hacia el exterior del área cargada en la superficie del terreno, alcanzan dicha profundidad con líneas de máxima pendiente 1H:2V.
- 14 En el caso de que se prevean cimentaciones profundas se llevarán a cabo las comprobaciones indicadas en los párrafos 10 y 11 suponiendo que la cota de aplicación de la carga del edificio sobre el terreno es la correspondiente a una profundidad igual a las dos terceras partes de la longitud de los pilotes. Salvo justificación, en el caso de pilotes columna se comprobará que la profundidad investigada alcanza aproximadamente cinco diámetros (5D) por debajo de la punta del pilote previsible a utilizar.
- 15 En caso de terrenos del grupo T-3 o cuando el reconocimiento se derive de otro que haya resultado insuficiente, se intercalarán puntos de reconocimiento en las zonas problemáticas hasta definir las adecuadamente.

3.2.2 Prospección

- 1 La prospección del terreno podrá llevarse a cabo mediante calicatas, sondeos mecánicos, pruebas continuas de penetración o métodos geofísicos. En el anejo C se describen las principales técnicas de prospección así como su aplicabilidad, que se llevarán a cabo de acuerdo con el Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.
- 2 En los reconocimientos de los tipos de construcción C-0 y grupo de terreno T-1, las pruebas de penetración deben complementarse siempre con otras técnicas de reconocimiento como podrían ser calicatas. En otros casos, en el reconocimiento se podrán utilizar las pruebas de penetración para la identificación de unidades geotécnicas, que deben contrastarse mediante sondeos mecánicos.
- 3 En el marco del presente DB no se pueden utilizar exclusivamente métodos geofísicos para caracterizar el terreno, debiendo siempre contrastarse sus resultados con los sondeos mecánicos.
- 4 En general, se podrán aplicar las técnicas geofísicas para la caracterización geotécnica y geológica, con el objeto de complementar datos, mejorar su correlación, acometer el estudio de grandes superficies y determinar los cambios laterales de facies, no siendo aconsejable en cascos urbanos consolidados.

3.2.3 Ensayos de campo

- 1 Son ensayos que se ejecutan directamente sobre el terreno natural y que proporcionan datos que pueden correlacionarse con la resistencia, deformabilidad y permeabilidad de una unidad geotécnica a una determinada profundidad. Se distinguen, como más usuales, los siguientes:
 - a) en sondeo: ensayo de penetración estándar (SPT), ensayo de molinete (Vane Test), ensayo presiométrico (PMT), ensayo Lefranc, ensayo Lugeon;
 - b) en superficie o en pozo: ensayo de carga con placa;
 - c) en pozo: ensayo de bombeo.
- 2 En el caso de suelos con un porcentaje apreciable de grava gruesa, cantos y bolos y cuando la importancia del edificio lo justifique, se pueden contrastar los valores de resistencia SPT con los valores de velocidad de transmisión de las ondas S obtenidas mediante ensayos de tipo "cross-hole" o "down-hole".
- 3 En el apartado 4.2.3.1 se proporcionan algunas de las correlaciones más frecuentemente utilizadas entre las pruebas continuas de penetración estáticas y el ensayo SPT.
- 4 La descripción y condiciones de utilización de estos ensayos se indican en la tabla D.7.

3.2.4 Toma de muestras

- 1 El objetivo de la toma de muestras es la realización, con una fiabilidad suficiente, de los ensayos de laboratorio pertinentes según las determinaciones que se pretendan obtener. Por tanto en la toma de muestras se deben cumplir unos requisitos diferentes según el tipo de ensayo que se vaya a ejecutar sobre la muestra obtenida.
- 2 Se especifican tres categorías de muestras:
 - a) muestras de categoría A: son aquellas que mantienen inalteradas las siguientes propiedades del suelo: estructura, densidad, humedad, granulometría, plasticidad y componentes químicos estables;
 - b) muestras de categoría B: son aquellas que mantienen inalteradas las siguientes propiedades del suelo: humedad, granulometría, plasticidad y componentes químicos estables;
 - c) muestras de categoría C: todas aquellas que no cumplen las especificaciones de la categoría B.
- 3 En la tabla 3.5 se señala la categoría mínima de la muestra requerida según los tipos de ensayos de laboratorio que se vayan a realizar.

Tabla 3.5. Categoría de las muestras de suelos y rocas para ensayos de laboratorio

Propiedades a determinar	Categoría mínima de la muestra
- Identificación organoléptica	C
- Granulometría	C
- Humedad	B
- Límites de Atterberg	C
- Peso específico de las partículas	B
- Contenido en materia orgánica y en CaCO ₃	C
- Peso específico aparente. Porosidad	A
- Permeabilidad	A
- Resistencia	A
- Deformabilidad	A
- Expansividad	A
- Contenido en sulfatos solubles	C

- 4 En la categoría A, los tomamuestras que se empleen en los sondeos se recomienda se ajusten a las especificaciones de la tabla 3.6 en función del tipo de suelo en que se ejecute la toma y el diámetro interior D_i de la zapata utilizada.

- 4 Para superficies mayores se multiplicarán los números de la tabla 3.7 por $(s/2000)^{1/2}$, siendo s la superficie de estudio en m^2 .

Tabla 3.7. Número orientativo de determinaciones in situ o ensayos de laboratorio para superficies de estudio de hasta 2000 m^2

Propiedad	Terreno	
	T-1	T-2
Identificación		
Granulometría	3	6
Plasticidad	3	5
Deformabilidad		
Arcillas y limos	4	6
Arenas	3	5
Resistencia a compresión simple		
Suelos muy blandos	4	6
Suelos blandos a duros	4	5
Suelos fisurados	5	7
Resistencia al corte		
Arcillas y Limos	3	4
Arenas	3	5
Contenido de sales agresivas	3	4

- 5 Los ensayos indicados en la tabla 3.7 corresponden a cada unidad geotécnica que pueda ser afectada por las cimentaciones. El número de determinaciones in situ o ensayos indicados corresponde a edificios C-1 ó C-2. Para edificios C-3 o C-4 los valores del cuadro se recomienda incrementarlos en un 50%.
- 6 Para terrenos tipo T-3 se decidirá el tipo y número de determinaciones, que nunca serán inferiores a las indicadas para el T-2.
- 7 En la tabla D.18 se indican ensayos considerados adecuados para la determinación de las propiedades más usuales de un suelo o de una roca matriz.
- 8 Los resultados de los ensayos granulométricos de suelos permitirán matizar los criterios de clasificación denominándolos con una palabra según su componente principal que podrá acompañarse de calificativos y sufijos según los componentes secundarios teniendo en cuenta el baremo de proporción en % de peso de cada fracción de suelo según se indica en las tablas D.20 y D.21.
- 9 Para la comprobación de los estados límite considerados en los distintos capítulos de este DB se distinguirá entre aquellos suelos cuya proporción en finos (limo + arcilla) sea inferior al 35% y los que superen dicha proporción, pudiéndose denominar unos y otros tal y como se indica en las tablas D.20 y D.21.
- 10 La acidez Baumann-Gully y el contenido en sulfatos, detectados en muestras de suelo y rocas, así como determinados componentes químicos, presentes en el agua freática, permiten clasificar la agresividad química del terreno frente al hormigón. En la tabla D.22 figura la clasificación de la agresividad química recogida en la Instrucción de Hormigón Estructural EHE.
- 11 Para caracterizar la agresividad del agua freática se tomará como mínimo una muestra en el 50% de los sondeos.
- 12 La Instrucción EHE establece el empleo de cementos que posean resistencia adicional a los sulfatos, según la norma UNE 80303:96, para una exposición tipo Q, es decir, siempre que el contenido en sulfatos del terreno sea igual o mayor a 3000 mg/kg (SO_4^{2-} en suelos ≥ 3000 mg/kg) y de 600 mg/kg en el agua freática (SO_4^{2-} en aguas ≥ 600 mg/l).

3.3 Contenido del estudio geotécnico

- 1 El estudio geotécnico incluirá los antecedentes y datos recabados, los trabajos de reconocimiento efectuados, la distribución de unidades geotécnicas, los niveles freáticos, las características geotécnicas del terreno identificando en las unidades relevantes los valores característicos de los parámetros obtenidos y los coeficientes sismorresistentes, si fuere necesario.

- 2 En el estudio se recogerá la distribución de unidades geotécnicas diferentes, sus espesores, extensión e identificación litológica, hasta la profundidad establecida en los reconocimientos. Para ello se elegirán los perfiles geotécnicos longitudinales y transversales que mejor representen la distribución de estas unidades. Para los edificios de categoría C-0 y C-1 el número de perfiles mínimo será de dos y para el resto de tres. Se determinará en su caso la unidad geotécnica resistente, así como las agrupaciones de unidades geotécnicas de similares características. Igualmente se recogerá la profundidad de las aguas freáticas y, en su caso, las oscilaciones de las mismas.
- 3 De cada una de las unidades geotécnicas relevantes se dará su identificación, en los términos contenidos en las tablas de este DB, y de acuerdo con los ensayos y otra información de contraste utilizada, los parámetros esenciales para determinar la resistencias de cada unidad geotécnica, tales como densidad, rozamiento, cohesión, y los de deformabilidad, expansividad, colapso, y parámetros de agresividad de agua y terreno.
- 4 En municipios con aceleración sísmica de al menos 0,08 g, o si se ha solicitado expresamente, de cada sondeo, se identificará la clasificación de cada unidad geotécnica o estrato a efectos de su comportamiento sísmico, según la NSCE. Si no se ha explorado hasta 30 m de profundidad, se justificará el valor asignado a los estratos por debajo de la profundidad explorada. El coeficiente C de cada sondeo se establecerá como promedio del valor de cada estrato, ponderado con su espesor. Si los resultados de los distintos sondeos son diferentes, se concluirá, justificadamente, el valor C con el que debe obtenerse tanto la acción sísmica del emplazamiento, como el cálculo de dicho efecto en el edificio y sus cimientos. La justificación será tanto más matizada cuanto más se aparte el valor de C de 1,15
- 5 Los resultados del estudio, incluyendo la descripción del terreno, se referirán a las distintas unidades geotécnicas. En su caso, las posibles alternativas de solución de cimentación, excavación o elementos de contención en su caso, técnica y económicamente viables, se establecerán de acuerdo con los problemas planteados así como de la posible interacción con otros edificios y servicios próximos.
- 6 El estudio geotécnico contendrá un apartado expreso de conclusiones y, en su caso, a petición del proyectista o del Director de Obra, de recomendaciones constructivas en relación con la cimentación e incluirá los anejos necesarios. En el apartado de conclusiones y recomendaciones se recogerán éstas de tal forma que se puedan adoptar las soluciones más idóneas para la realización del proyecto para el que se ha hecho el estudio geotécnico. Asimismo se indicarán los posibles trabajos complementarios a realizar en fases posteriores, antes o durante la obra, a fin de subsanar las limitaciones que se hayan podido observar.
- 7 Las recomendaciones antedichas serán cualitativas y cuantitativas, concretando todos los valores necesarios con la precisión requerida para ser utilizados para el análisis y dimensionado de los cimientos, los elementos de contención o el movimiento de tierras.
- 8 El estudio, en función del tipo de cimentación, debe establecer los valores y especificaciones necesarios para el proyecto relativos a:
 - a) cota de cimentación;
 - b) presión vertical admisible (y de hundimiento) en valor total y, en su caso, efectivo, tanto bruta como neta;
 - c) presión vertical admisible de servicio (asientos tolerables) en valor total y, en su caso, efectivo, tanto bruta como neta;
 - d) en el caso de pilotes, resistencia al hundimiento desglosada en resistencia por punta y por fuste;
 - e) parámetros geotécnicos del terreno para el dimensionado de elementos de contención. Empujes del terreno: activo, pasivo y reposo;
 - f) datos de la ley "tensiones en el terreno-desplazamiento" para el dimensionado de elementos de pantallas u otros elementos de contención;
 - g) módulos de balasto para idealizar el terreno en cálculos de dimensionado de cimentaciones y elementos de contención, mediante modelos de interacción suelo-estructura;
 - h) resistencia del terreno frente a acciones horizontales;
 - i) asientos y asientos diferenciales, esperables y admisibles para la estructura del edificio y de los elementos de contención que se pretende cimentar;

- j) calificación del terreno desde el punto de vista de su ripabilidad, procedimiento de excavación y terraplenado más adecuado. Taludes estables en ambos casos, con carácter definitivo y durante la ejecución de las obras;
- k) situación del nivel freático y variaciones previsibles. Influencia y consideración cuantitativa de los datos para el dimensionado de cimentaciones, elementos de contención, drenajes, taludes e impermeabilizaciones;
- l) la proximidad a ríos o corrientes de agua que pudieran alimentar el nivel freático o dar lugar a la socavación de los cimientos, arrastres, erosiones o disoluciones;
- m) cuantificación de la agresividad del terreno y de las aguas que contenga, para su calificación al objeto de establecer las medidas adecuadas a la durabilidad especificada en cimentaciones y elementos de contención, de acuerdo con los Documentos Básicos relativos a la seguridad estructural de los diferentes materiales o la instrucción EHE;
- n) caracterización del terreno y coeficientes a emplear para realizar el dimensionado bajo el efecto de la acción sísmica;
- o) cuantificación de cuantos datos relativos al terreno y a las aguas que contenga sean necesarios para el dimensionado del edificio, en aplicación de este DB, otros Documentos Básicos relativos a la seguridad estructural de los diferentes materiales o la instrucción EHE, y a otros DB, especialmente al DB-HS (Habitabilidad: Salubridad);
- p) cuantificación de los problemas que pueden afectar a la excavación especialmente en el caso de edificaciones o servicios próximos existentes y las afecciones a éstos;
- q) relación de asuntos concretos, valores determinados y aspectos constructivos a confirmar después de iniciada la obra, al inicio de las excavaciones, o en el momento adecuado que así se indique, y antes de ejecutar la cimentación, los elementos de contención o los taludes previstos.

3.4 Confirmación del estudio geotécnico antes de la ejecución

- 1 Una vez iniciada la obra e iniciadas las excavaciones, a la vista del terreno excavado y para la situación precisa de los elementos de la cimentación, el Director de Obra apreciará la validez y suficiencia de los datos aportados por el estudio geotécnico, adoptando en casos de discrepancia las medidas oportunas para la adecuación de la cimentación y del resto de la estructura a las características geotécnicas del terreno.

Anejo C. Técnicas de prospección

C.1 Calicatas

- 1 Se agrupan bajo este nombre genérico las excavaciones de formas diversas (pozos, zanjas, rozas, etc.) que permiten una observación directa del terreno, así como la toma de muestras y, eventualmente, la realización de ensayos in situ. Este tipo de reconocimiento podrá emplearse con:
 - a) profundidad de reconocimiento moderada ($< 4\text{m}$);
 - b) terrenos excavables con pala mecánica o manualmente;
 - c) ausencia de nivel freático, en la profundidad reconocida o cuando existan aportaciones de agua moderadas en terrenos de baja permeabilidad;
 - d) terrenos preferentemente cohesivos;
 - e) terrenos granulares en los que las perforaciones de pequeño diámetro no serían representativas.
- 2 El reconocimiento del terreno mediante calicatas es adecuado cuando:
 - a) se puede alcanzar en todos los puntos el estrato firme o resistente con garantía suficiente;
 - b) no sea necesario realizar pruebas in situ asociadas a sondeos (p.e. ensayos de penetración estándar).
- 3 Se excluirá este método cuando pueda deteriorarse el terreno de apoyo de las futuras cimentaciones o se creen problemas de inestabilidad para estructuras próximas.
- 4 En las paredes del terreno excavado, podrán realizarse ensayos in situ como el penetrómetro de bolsillo, con el fin de obtener una indicación orientativa del comportamiento del terreno. De esta indicación orientativa no se deducirán, en ningún caso, valores cuantitativos de la resistencia del terreno.
- 5 En calicatas de una profundidad mayor a 1,5 m ninguna persona podrá acceder a su inspección o revisión si no se encuentran debidamente entibadas o adecuadamente retaluzadas.

C.2 Sondeos mecánicos

- 1 Son perforaciones de diámetros y profundidad variables que permiten reconocer la naturaleza y localización de las diferentes unidades geotécnicas del terreno, así como extraer muestras del mismo y, en su caso realizar ensayos a diferentes profundidades. Deben utilizarse en los casos indicados y cuando el estudio geotécnico requiera:
 - a) llegar a profundidades superiores a las alcanzables con catas;
 - b) reconocer el terreno bajo el nivel freático;
 - c) perforar capas rocosas, o de alta resistencia;
 - d) extraer muestras inalteradas profundas;
 - e) realizar pruebas de deformabilidad o resistencia de tipo presiométrico, molinete, penetración estándar, etc;
 - f) tomar muestras de acuíferos profundos o realizar ensayos de permeabilidad in situ;
 - g) determinar valores índice de la roca en macizos rocosos;
 - h) detectar y controlar las variaciones del nivel freático, para lo cual se instalarán tubos piezométricos en un número de sondeos suficiente, como mínimo un 30% para que dicho control sea fiable.
- 2 Los sondeos mecánicos podrán utilizarse para prospecciones complementarias tales como: realizar diafragmas de resistividad, radioactividad natural, velocidad sónica, etc.
- 3 Los métodos más habituales para la ejecución de sondeos mecánicos son el de rotación con extracción de testigo continuo, percusión y mediante barrena helicoidal (hueca ó maciza).
- 4 Los sondeos a rotación, mediante baterías simples, dobles o especiales podrán utilizarse en cualquier tipo de terreno, siendo necesario utilizarlos cuando el terreno a reconocer sea un macizo rocoso o exista alternancia de capas cementadas duras con otras menos cementadas. En su utilización se tendrá en cuenta que pueden existir problemas en el reconocimiento de suelos granulares finos bajo el nivel freático y en el de bolos o gravas gruesas. También deben interpretarse con cuidado los testigos extraídos de suelos colapsables bajo la acción del agua de inyección y los de rocas blandas de tipo areniscoso que pueden fragmentarse excesivamente por efecto de la rotación.

- 5 Los sondeos a percusión pueden realizarse cuando el terreno pueda atravesarse con la energía disponible y el ruido asociado al golpeo no rebase los límites establecidos en cada caso. En su utilización se tendrán en cuenta los siguientes aspectos:
 - a) este método está especialmente indicado para reconocer suelos granulares gruesos, adaptando el diámetro del sondeo al tamaño de las gravas o bolos a atravesar. Normalmente se emplearán tuberías de hincas o tomamuestras a percusión;
 - b) en el caso de suelos granulares finos se utilizarán cucharas con cierre inferior de clapeta.
- 6 Los sondeos con barrena helicoidal hueca o maciza podrán utilizarse cuando:
 - a) no sea necesario obtener testigo continuo de material no remoldeado;
 - b) el terreno sea relativamente blando y cohesivo;
 - c) no existan capas cementadas o de gravas, ni capas arenosas fluyentes, bajo el nivel freático;
 - d) no sea necesario atravesar o penetrar en rocas;
 - e) no se requiera una precisión superior a $\pm 0,5$ m en la localización en profundidad de las diferentes capas;
 - f) se pueda justificar la calidad de las muestras inalteradas extraídas por el eje hueco de la barrena o en el sondeo sin entibar en el caso de barrenas macizas, en función de lo establecido en la tabla D.8;
 - g) se subsanen los aspectos negativos anteriores con otro tipo de prospecciones.
- 7 En la investigación del nivel o niveles freáticos se recomienda adoptar las siguientes medidas:
 - a) si los sondeos mecánicos son realizados con ayuda de cualquier tipo de fluidos incluida el agua, éstos deben ser eliminados y purgados antes de la colocación de los tubos piezométricos, de forma que las medidas de control de profundidad del agua no se vean alteradas y contaminadas por agentes externos;
 - b) debe protegerse la boca de las perforaciones en las que se disponga de tuberías piezométricas, disponiendo una arqueta o tapón de sellado que impida la entrada de agua a la perforación;
 - c) deben efectuarse medidas del nivel del agua en la perforación al comenzar y terminar cada día los trabajos de ejecución del sondeo mecánico y posteriormente hasta que se establezcan dichos niveles. En el informe del reconocimiento del terreno se recogerán estas medidas, junto con las recomendaciones necesarias para el seguimiento futuro de las mismas si se prevén oscilaciones estacionales.

C.3 Pruebas continuas de penetración

- 1 Proporcionan una medida indirecta, continua o discontinua de la resistencia o deformabilidad del terreno, determinándose estas propiedades a través de correlaciones empíricas. Podrán ser estáticas o dinámicas.
- 2 Para poder utilizar un tipo de penetrómetro determinado se exigirá que las correlaciones empleadas tengan la suficiente garantía y justificación.
- 3 En la tabla D.6 se indican las condiciones de utilización más apropiadas de cada tipo de penetrómetro.

C.4 Geofísica

- 1 Cuando se trate de grandes superficies a construir, y con el fin de obtener información complementaria que ayude a distribuir los puntos de reconocimiento así como la profundidad a alcanzar en cada uno de ellos, se podrán utilizar las siguientes técnicas:
 - a) sísmica de refracción: para obtener información sobre la profundidad a la que se encuentran el nivel freático y la unidad geotécnica resistente, siempre y cuando se trate de formaciones relativamente horizontales (buzamiento inferior a 15°) y la velocidad, v_p , de las ondas P aumente con la profundidad. El valor v_p que se obtenga en cada una de las capas analizadas podrá utilizarse para estimar su grado de ripabilidad;
 - b) resistividad eléctrica: técnica SEV "sondeo eléctrico vertical" para obtener información sobre la profundidad del nivel freático y los espesores de las distintas capas horizontales del terreno (ASTM: G 57-78). Técnica tomografía eléctrica para identificar los diferentes niveles del sub-

- suelo y sus cambios laterales, identificación del nivel freático (detección de cavidades o desarrollos cársticos);
- c) otras técnicas geofísicas tales como Geo-radar (para obtener información sobre servicios enterrados, conducciones, depósitos, fluidos, nivel freático, unidades geológicas y cambios laterales de las litologías), magnetometría, VLF, calicatero electromagnético, gravimetría, etc.; que puedan aportar una información adicional.
- 2 En zonas cársticas o cuando se sospeche la existencia de cavidades relativamente superficiales se podrán utilizar, además de las antes mencionadas, técnicas microgravimétricas siempre y cuando se den las condiciones ambientales adecuadas y se utilicen equipos que permitan expresar los perfiles finales de las anomalías de Bouguer en unidades de 10^{-7} m/s².
 - 3 La realización, procesado e interpretación de los trabajos recogidos en los tres apartados anteriores se llevarán a cabo teniendo en cuenta las ventajas y limitaciones que entraña el uso de técnicas geofísicas e integrando los resultados en el marco geológico, geotécnico y morfológico del área estudiada.
 - 4 En zonas sísmicas y para edificios de los tipos C-1 y C-2 se recomienda la utilización de ensayos "down-hole" o "cross-hole" (norma ASTM: D 4428) con el fin de identificar la velocidad de propagación v_s de las ondas S que permite clasificar las distintas unidades geotécnicas de acuerdo con la Norma de Construcción Sismorresistente NCSE vigente. Para edificios de los tipos C-2 y C-3 será obligatoria la realización de dicho tipo de ensayos cuando la aceleración sísmica básica sea superior a 0,08 g.
 - 5 Los ensayos "cross-hole" y "down-hole" podrán también utilizarse para caracterizar la deformabilidad de arcillas preconsolidadas y suelos con un porcentaje apreciable de grava gruesa, cantos y bolos, tal y como se indica en el capítulo 4.
 - 6 Con el fin de contribuir a una mejor definición de los perfiles geotécnicos del terreno mejorando las correlaciones que se puedan establecer entre sus distintas unidades geotécnicas, para la realización del estudio geotécnico se podrá exigir la testificación geofísica de los sondeos que se realicen, debiendo para ello elegir la combinación más adecuada de las siguientes diagráfias:
 - a) gamma-natural;
 - b) gamma-gamma;
 - c) neutrón-neutrón;
 - d) resistividad y potencial espontáneo;
 - e) sónica;
 - f) térmica.

Anejo A. Terminología

- 1 A continuación se define el sentido que debe darse a los términos específicos que aparecen, de forma general, en el uso de este DB-C.

Acción o carga: Toda causa o agente actuante capaz de generar estados tensionales o deformaciones tanto en las estructuras como en el terreno.

Adhesión: Resistencia al corte de un contacto terreno-estructura, cuando la presión normal efectiva sobre el contacto es nula.

Altura piezométrica: Altura que alcanza el nivel del agua al colocar un tubo piezométrico en un punto.

Ángulo de rozamiento interno. Ángulo cuya tangente es la derivada de la resistencia al corte respecto a la presión normal efectiva.

Arcillas: Fracción de suelo con las partículas de tamaño inferior a 0,002 mm y en las que se las puede determinar un límite plástico y un límite líquido.

Arena: Fracción de suelo cuyas partículas tienen un tamaño comprendido entre 0,06 mm y 2 mm. Fina hasta 0,2 mm; media hasta 0,6 mm; gruesa por encima de 0,6 mm.

Coefficiente de seguridad: Relación entre el valor característico de una determinada propiedad o magnitud y el valor de cálculo requerido en estudio de un determinado problema.

Coefficiente de seguridad parcial de la resistencia del terreno: Factor por el que se divide la resistencia característica del terreno para obtener la resistencia de cálculo.

Coefficiente de seguridad parcial para los efectos de las acciones sobre el terreno: Factor por el que se multiplican los efectos de las acciones sobre la cimentación, para obtener los valores de cálculo de los efectos de las acciones.

Cohesión: Resistencia al corte del terreno cuando la presión normal efectiva es nula.

Consolidación primaria: Proceso de reducción de volumen de los suelos saturados debido a la expulsión de agua.

D₅₀: En el ensayo granulométrico, tamaño de partícula correspondiente al 50% que pasa.

Diaclasa: Superficie de discontinuidad del macizo rocoso originada por las tensiones experimentadas.

Empotramiento: Zona de cimentación que queda por debajo de la superficie del terreno.

Empuje activo: Empuje sobre una estructura de contención cuando ésta experimenta un desplazamiento suficientemente amplio en la dirección del movimiento del terreno.

Empuje al reposo: Empuje que corresponde a la situación ideal de desplazamiento nulo de una estructura de contención.

Empuje pasivo: Empuje sobre una estructura de contención cuando ésta experimenta un desplazamiento suficientemente amplio en dirección contraria al movimiento del terreno.

ER: Energía relativa en el ensayo SPT expresada en tanto por ciento. Cociente entre la energía real del golpe en el dispositivo utilizado y la nominal.

Estados límite: Aquellos estados o situaciones de la estructura, o de partes de la misma, que de alcanzarse y excederse ponen a la estructura fuera de uso por incumplimiento de las condiciones tensionales o funcionales límite preestablecidas.

Estados límite de servicio: Situaciones que suponen que una obra, estructura o elemento, deja de cumplir los requisitos de calidad (por razones funcionales, estéticas, de durabilidad, etc.) establecidos en el proyecto, aunque ello no implique la ruina o puesta fuera de servicio de modo inmediato.

Estados límite último: Situaciones que suponen la puesta fuera de servicio, de una determinada obra, estructura o elemento, como consecuencia de rotura, hundimiento, pérdida de estabilidad o cualquier otra forma de fallo.

Fluencia: Deformaciones diferidas del suelo sin modificar su estado tensional.

Gradiente hidráulico: Derivada de la altura total de energía respecto a la distancia recorrida por el agua a lo largo de una línea de corriente.

Grado de consolidación: Porcentaje de las sobrepresiones intersticiales disipadas después de la aplicación de una carga sobre un suelo con respecto a la totalidad de las generadas por la aplicación de dicha carga.

Grado de saturación: Porcentaje de poros que están ocupados por el agua.

Grava: Fracción de suelos cuyas partículas tienen un tamaño comprendido entre 2 mm y 60 mm. Fina hasta 6 mm; media hasta 20 mm; gruesa por encima de 20 mm.

Hinchamiento: Incremento de volumen que experimentan algunos suelos al aumentar su humedad.

Hinchamiento libre: Cambio porcentual de volumen que experimenta un suelo al saturarlo con presiones efectivas bajas.

Humedad: Cociente entre el peso de agua contenido en una determinada muestra y el peso del terreno seco.

Índice de poros: Relación entre el volumen ocupado por los poros y el volumen ocupado por las partículas sólidas.

Limo: Fracción de suelo cuyas partículas pasan por el tamiz 0,06 UNE y son de tamaño superior a 0,002 mm. Si se pueden determinar unos límites plástico y líquido su comportamiento es similar al de las arcillas. Si no se puede determinar su plasticidad su comportamiento es similar al de las arenas.

Módulo de balasto: Razón entre la tensión aplicada sobre una superficie y el desplazamiento producido. Designado asimismo como módulo de reacción o módulo de Winkler.

N_{SPT}: Número de golpes en el ensayo SPT, corregido para una energía relativa del 60%, es decir aplicando el factor $E_R/60$.

- **Peso específico aparente:** Peso real de una muestra (partículas sólidas más agua) dividido entre volumen total de la misma.
- **Peso específico saturado:** Peso específico correspondiente a una muestra saturada, con todos sus poros llenos de agua.
- **Peso específico seco:** Peso de las partículas sólidas, dividido por el volumen total de la muestra.
- **Peso específico sumergido:** Peso específico del material saturado al estar sumergido en agua en condiciones hidrostáticas.

Porosidad: Relación entre el volumen ocupado por los poros y el volumen total de la muestra (partículas sólidas + poros).

Presión de hinchamiento: Presión efectiva que evita la expansión de un suelo durante su saturación.

Presión intersticial: Presión (en exceso sobre la presión atmosférica) del agua en los vacíos de un suelo o roca saturados.

Presión normal efectiva: Presión normal total menos la presión intersticial.

Presión normal total: Presión (en exceso sobre la presión atmosférica) que actúa perpendicularmente a un plano dado.

Presión de sobreconsolidación: Máxima presión efectiva que ha soportado un suelo a lo largo de su historia geológica.

Razón de sobreconsolidación, R_{oc} : Cociente entre la presión efectiva de sobreconsolidación y la presión efectiva actual.

Reacción: Las acciones provocan en el terreno ciertas variaciones tensionales cuya integración en el contorno estructura-terreno conduce a unas fuerzas, reacciones, de sentido contrario a las acciones.

Resistencia al corte: tensión tangencial máxima que un suelo puede soportar sin alcanzar la rotura, expresada según la relación: $\tau_{Rk} = c_k + \sigma_n \operatorname{tg} \phi_k$ Se distinguen dos situaciones:

a) "Con drenaje". Corresponde a aquellas situaciones en las que, bien por unas buenas condiciones de permeabilidad, bien por el largo tiempo transcurrido desde la aplicación de la carga, el terreno ha disipado los excesos de presión intersticial que hubieran podido generarse durante el proceso de carga. En estas situaciones se adoptarán las siguientes igualdades:

$c_k = c'$, cohesión efectiva

$\phi_k = \phi'$, ángulo de rozamiento efectivo

$\sigma_n = \sigma'_n$, presión normal efectiva

b) "Sin drenaje". Corresponden a aquellas situaciones que, bien por falta de drenaje, bien por el escaso tiempo transcurrido desde la aplicación de la carga, existen en el terreno las mismas presiones intersticiales que se han generado durante el proceso de carga. En estas situaciones se adoptarán las siguientes igualdades:

$c_k = c_u$, cohesión sin drenaje

$\phi_k = 0$

$\sigma_n = \sigma_n$, presión normal total

Resistencia de pico: Valor máximo de la resistencia alcanzada en un proceso de rotura con tensiones tangenciales monótonamente crecientes en el plano de rotura.

Resistencia residual: resistencia al corte de un determinado suelo para deformaciones muy superiores a la correspondiente a la resistencia de pico.

Retracción: Disminución de volumen que experimentan algunos suelos al disminuir su humedad.

RMR: Índice de clasificación geomecánica de los macizos rocosos según Bieniaswki.

Roca: Agregado natural de uno o más minerales que para sufrir modificaciones sensibles en su estructura en presencia del agua, necesita periodos de tiempo superiores a la vida útil de un edificio.

Rozamiento negativo: Incremento de carga en un pilote producido como consecuencia del asentamiento del terreno que le rodea.

Sifonamiento: Inestabilidad producida cuando la presión ejercida por un flujo ascendente de agua iguala a la debida a la presión de tierras (anulándose, por tanto, la presión efectiva).

Situación de dimensionado: Esquema simplificado de un problema real, que incluye una definición de la geometría, las características de los materiales y las acciones, todo lo cual sirve de base para la realización de los cálculos correspondientes.

Socavación: Erosión del terreno causada por el movimiento del agua.

Subpresión: Fuerza ascendente producida por el agua sobre una estructura, elemento de contención o de cimentación sumergido.

Suelo: Parte de la corteza terrestre formada por materiales que pueden ser disgregados en partículas individuales, mediante la acción del agua.

Suelo cohesivo: Cuando la proporción en el peso del contenido de finos que tengan plasticidad es igual o superior al 35%.

Suelo granular: Cuando la proporción en peso del contenido de arenas y gravas es mayor del 65%.

Suelo normalmente consolidado: Suelo cuya presión efectiva es igual a su presión de sobreconsolidación.

Suelo sobreconsolidado: Suelo cuya presión efectiva actual es inferior a su presión de sobreconsolidación.

Unidad geotécnica: Cada una de las capas superpuestas del terreno que presenta características físicas y mecánicas comunes, relativas a su origen, identificación de los materiales que la componen, estado, resistencia y deformabilidad.

Anejo B. Notación y unidades

- 1 Los símbolos y términos, tanto griegos como latinos, utilizados en este DB-C vienen definidos en cada capítulo.
- 2 El sistema de unidades utilizado en este DB-C es el Sistema Internacional (SI), oficialmente vigente en España. Las unidades fundamentales, junto con sus abreviaturas son:
 - a) masa: kilogramos = kg
 - b) tiempo: segundo = s
 - c) longitud: metro = m
 - d) temperatura: grado centígrado = °C
- 3 Como unidades derivadas se usan:
 - a) fuerza: Newton = N
 - b) presión: Pascal = Pa = N/m²
- 4 Los múltiplos más comunes de fuerza y presión son los siguientes:
 - a) fuerza: kN = 10³ N; MN = 10⁶ N
 - b) presión: kPa = 10³ Pa; Mpa = 10⁶ Pa
- 5 Otras unidades derivadas son:
 - a) densidad: kg/m³, Mg/m³, t/m³
 - b) peso específico: N/m³, kN/m³
 - c) permeabilidad: m/s
 - d) consolidación: m²/s

Anejo D. Criterios de clasificación, correlaciones y valores orientativos tabulados de referencia

D.1 Criterios de clasificación

Tabla D.1. Clasificación de suelos

Suelos gruesos ⁽¹⁾		
Gravas	Gruesas	20,0-60,0 mm
	Medias	6,0-20,0 mm
	Finas	2,0-6,0 mm
Arenas ⁽²⁾	Gruesas	0,60-2,00 mm
	Medias	0,20-0,60 mm
	Finas	0,06-0,20 mm
Suelos finos ⁽¹⁾		
Limos	Gruesos	0,020-0,060 mm
	Medios	0,006-0,020 mm
	Finos	0,002-0,006 mm
Arcillas ⁽⁴⁾	< 0,002 mm	

(1) Con más del 50% de las partículas distinguibles a simple vista (aprox. 0,1 mm).

(2) En función de los datos de que se disponga de ensayos SPT las arenas pueden clasificarse tal y como se indica en la tabla D.2.

(3) Con más del 50% de las partículas no distinguible a simple vista (aprox. 0,1 mm).

(4) En función de los datos de que se disponga y de la resistencia a compresión simple pueden clasificarse las arcillas tal y como se indica en la tabla D.3.

Tabla D.2. Compacidad de las arenas

Clasificación	Índice N_{SPT}
Muy floja	< 4
Floja	4-10
Media	11-30
Densa	31-50
Muy densa	>50

Tabla D.3. Consistencia de las arcillas

Clasificación	Resistencia a compresión simple q_u (kPa)
Muy blanda	0-25
Blanda	25-50
Media	50-100
Firme	100-200
Muy firme	200-400
Dura	> 400

Tabla D.4. Clasificación de rocas⁽¹⁾

Rocas sedimentarias: Conglomerados, Areniscas, Limolitas, Argilitas, Margas, Calizas, Calizas margosas, Calcarenitas, Dolomías, Yesos.

Rocas metamórficas: Cuarzitas, Pizarras, Esquistos, Gneises, Corneanas.

Rocas plutónicas: Granitos, Dioritas, Gabros, Pórfidos, Peridotitas.

Rocas volcánicas: Basaltos, Fonolitas, Piroclastos, Traquitas, Ofitas, Riolitas, Andesitas, Dacitas.

⁽¹⁾ En la tabla D.5 se proporcionan los criterios de la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas para clasificar las rocas según su grado de meteorización.

Tabla D.5. Grado de meteorización de las rocas (ISRM)

Grado	Denominación	Criterio de reconocimiento
I	Roca sana o fresca	La roca no presenta signos visibles de meteorización, pueden existir ligeras pérdidas de color o pequeñas manchas de óxidos en los planos de discontinuidad
II	Roca ligeramente meteorizada	La roca y los planos de discontinuidad presentan signos de decoloración. La roca puede estar decolorada en la pared de las juntas pero no es notorio que la pared sea más débil que la roca sana
III	Roca moderadamente meteorizada	La roca está decolorada en la pared. La meteorización empieza a penetrar hacia el interior de la roca desde las discontinuidades. El material es notablemente más débil en la pared que en la roca sana. Material débil <50% del total
IV	Roca meteorizada o muy meteorizada	Más de la mitad del material está descompuesto a suelo. Aparece roca sana o ligeramente meteorizada de forma discontinua
V	Roca completamente meteorizada	Todo el material está descompuesto a un suelo. La estructura original de la roca se mantiene intacta
VI	Suelo residual	La roca está totalmente descompuesta en un suelo y no puede reconocerse ni la textura ni la estructura original. El material permanece "in situ" y existe un cambio de volumen importante

ISRM: Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas

Tabla D.6. Utilización de las pruebas de penetración

Tipo de Penetrómetro	Principio de Funcionamiento	Tipo	Suelo más idóneo	Terreno en que es Impracticable
Estático	Medición de la resistencia a la penetración de una punta y un vástago mediante presión	CPTU	Arcillas y limos muy blandos. Arenas finas sueltas a densas sin gravas	Rocas, bolos, gravas, suelos cementados. Arcillas muy duras. Arenas muy compactas. Suelos muy preconsolidados y/o cementados
		UNE 103804:1993		
Dinámico	Medición de la resistencia a la penetración de una puntaza mediante golpeo con una energía normalizada	DPH	Arenas sueltas a medias. Limos arenosos flojos a medios	Rocas, bolos, costras, suelos muy cementados. Conglomerados
		UNE 103802:1998		
		BORRO		
		DPSH	Arenas medias a muy compactas. Arcillas preconsolidadas sobre el N.F. Gravas arcillosas y arenosas	Rocas, bolos, conglomerados
		UNE 103801:1994		

Tabla D.7. Utilización de los ensayos in situ

	Tipo	Descripción	Utilización para Determinar
En sondeo	Ensayo de penetración estándar (SPT) UNE 103800:1992	Nº de golpes N_{SPT} para hincar 30 cm de un cilindro hueco de dimensiones normalizadas. Golpeo con maza de 63,5 kg cayendo desde 76 cm	Compacidad de suelos granulares. Densidad relativa. Ángulo de rozamiento interno en suelos granulares Resistencia de arcillas preconsolidadas por encima del nivel freático
	Ensayo de molinete (Vane Test) ENV-199-3	Rotación de unas aspas dispuestas a 90° e introducidas en el terreno, midiendo el par necesario para hacerlas girar hasta que se produce el corte del suelo	Para determinar la resistencia al corte de arcillas blandas por encima o por debajo del nivel freático
	Ensayo presiométrico (P.M.T.) ENV-199-3	Dilatación, por gas a presión, de una célula cilíndrica contra las paredes de un sondeo midiendo la deformación volumétrica correspondiente a cada presión hasta llegar, eventualmente, a la rotura del terreno	Presión límite y deformabilidad de suelos granulares, arcillas duras, etc.
	Ensayo Lefranc	Medida del caudal de agua bombeada al terreno a través de un tramo de sondeo de 50 cm	Permeabilidad de suelos
	Ensayo Lugeon	Medida de los caudales bombeados a un tramo de sondeo, a presiones escalonadas, durante un tiempo de 10 min.	Permeabilidad de rocas moderadamente fisuradas
En superficie o pozo	Ensayo de carga con placa ⁽¹⁾ ENV-199-3	Medida de los asientos de una placa rígida cuadrada o circular al ir aplicando cargas crecientes, llegando o no a la rotura del terreno	Relación presión asiento en suelos granulares, para la placa utilizada ⁽¹⁾ Coeficiente de balasto de cualquier terreno Capacidad portante sin drenaje de suelos cohesivos
En pozo	Ensayo de bombeo	Medida de la transmisividad y coeficiente de almacenamiento del acuífero en la zona de influencia del pozo	Capacidad de agotamiento o rebaje del nivel freático

⁽¹⁾ El ensayo de carga con placa debe interpretarse con las lógicas reservas debidas a la diferencia entre las dimensiones de la placa y la de la cimentación proyectada (véase apartado E.5; Figura E.8).

Tabla D.8. Tipo y categoría de los tomamuestras

Tipo de Muestreo	Tipo de tomamuestras	Dimensiones Valores mínimos	Método de hincar	Tipo de suelo idóneo	Categoría	Tipo de suelo en que no es practicable
	Bloque o caja	Cubo de 200 mm	Tallada a mano	Suelos cohesivos de consistencia media a dura	A	Arenas flojas. Suelos disgregables. Gravas
Manual en	En saco	1 kg	Pico y pala	Arcillas, arenas, gravas, costras	C	

Tabla D.9. Clasificación de la roca matriz

Ensayo de resistencia aproximado	Calificación de la Resistencia a compresión simple ⁽¹⁾	Valor estimado q_u (MPa)
Se puede rayar con la uña	Especialmente débil	< 1
Se rompe con golpes de martillo moderados	Muy baja	1 a 5
Se puede rayar con la navaja		
Se raya difícilmente con la navaja	Baja	5 a 25
No puede rayarse con la navaja	Media	25 a 50
Se puede romper con un golpe de martillo		
Se requieren varios golpes de martillo para romperla	Alta	50 a 100
Difícil de romper con el martillo de geólogo	Muy alta	100 a 250
Con el martillo de geólogo sólo se pueden producir algunas esquirlas	Extremadamente alta	> 250

⁽¹⁾Alternativamente, para obtener una indicación rápida de la resistencia a la compresión simple, se recomienda la utilización del Martillo Schmidt (Esclerómetro de mano).

Tabla D.10. Apertura de las discontinuidades

Calificativo		
General	De detalle	Apertura
Juntas cerradas	Muy cerradas	< 0.1 mm
	Cerradas	0,1 a 0,25 mm
	Parcialmente abiertas	0,25 a 0,50 mm
Macizo rocoso agrietado	Abiertas	0,50 a 2,5 mm
	Bastante abiertas	2,5 a 10 mm
	Apertura amplia	> 1 cm
Juntas abiertas	Apertura muy amplia	1 a 10 cm
	Apertura especialmente amplia	10 a 100 cm
	Estructura hueca	> 1 m

Tabla D.11. Rugosidad de las discontinuidades

A gran escala, en longitudes del orden del metro, se calificará la junta de alguno de los modos siguientes: Escalonada, ondulada o plana.

A menor escala, en longitudes del orden de centímetros se aplicará alguno de los siguientes calificativos: Rugosa, suave o especular.

Tabla D.12. Relleno de las discontinuidades

- | |
|--|
| Clase 1: Relleno seco y de baja permeabilidad |
| Clase 2: Relleno húmedo sin presencia de agua libre |
| Clase 3: Relleno muy húmedo con aporte de agua libre |
| Clase 4: Relleno lavado con flujo continuo de agua |
| Clase 5: Relleno socavado con importantes vías de agua |

Tabla D.13. Espaciamiento de las discontinuidades

Calificativo	Espaciamiento (cm)
Especialmente pequeño	< 2
Muy pequeño	2 a 6
Pequeño	6 a 20
Moderado	20 a 60
Amplio	60 a 200
Muy amplio	200 a 600
Especialmente amplio	> 600

Tabla D.14. Índice de fracturación I_f

Calificativo	Nº de Diaclasas por m ³
Masivo	< 1
Poco diaclasado	1 a 3
Medianamente diaclasado	3 a 10
Bastante diaclasado	10 a 30
Muy diaclasado	30 a 60
Triturado	> 60

Tabla D.15. Persistencia de las discontinuidades

Calificativo	Persistencia (m)
Muy pequeña	< 1
Escasa	1 a 3
Media	3 a 10
Alta	10 a 20
Muy alta	> 20

Tabla D.16. Clasificación por el R.Q.D.

Clasificación	Valor del R.Q.D. (%)
Muy mala calidad	< 25
Mala calidad	25-50
Mediana calidad	50-75
Buena calidad	75-90
Excelente	90-100

Tabla D.17. Presencia de agua en las discontinuidades

Clase 1: No hay posibilidad de flujos de agua
Clase 2: No hay signos de agua
Clase 3: Signos de haber flujos de agua (manchas de óxido)
Clase 4: Humectaciones
Clase 5: Filtraciones
Clase 6: Flujo continuo de agua

Tabla D.18. Ensayos de laboratorio. Suelos

Propiedad	Ensayos	Norma
Identificación	Granulometría por tamizado	UNE 103101 :1995
	Granulometría por sedimentación	UNE 103102 :1995
	Comprobación de la no plasticidad	UNE 103104 :1993
	Límite líquido	UNE 103103 :1994
	Límite plástico	UNE 103104 :1993
	Límite de retracción	UNE103108 :1996
Estado	Humedad natural	UNE 103300 :1993
	Peso específico aparente	UNE103301 :1994
	Peso específico de las partículas	UNE103302 :1994
Resistencia	Compresión simple	UNE 103400 :1993
	Corte directo consolidado y drenado (C.D)	UNE103401 :1998
	Corte directo sin consolidar y sin drenar (UU)	UNE103401 :1998
	Triaxial en cualquier situación de consolidación y drenaje	UNE 103402 :1998
Deformabilidad	Ensayo edométrico	UNE103405 :1994
Colapsabilidad	Inundación en edómetro	NLT254 :1999
Expansividad	Presión de hinchamiento nulo en edómetro	UNE 103602 :1996
	Hinchamiento libre en edómetro	UNE 103601 :1996
	Ensayo Lambe	UNE 103600 :1996
Compactación	Proctor normal	UNE 103500 :1994
	Proctor modificado	UNE 103501 :1994
Contenido químico	Contenido en carbonatos	UNE 103200 :1993
	Contenido cualitativo de sulfatos	UNE 103202 :1995
	Contenido en materia orgánica	UNE 103204 :1993

Tabla D.19. Ensayos de laboratorio. Roca matriz

Propiedad	Ensayos	Norma
Estado	Humedad natural	ISRM parte 1:1977
	Porosidad	ISRM parte 1:1977
	Densidad	ISRM parte 1:1977
	Absorción	ISRM parte 1:1977
Resistencia	Compresión simple	UNE 22-950 1ª parte:1990
	Carga puntual	NLT 225 :1996
	Brasileño	UNE 22-950 2ª parte :1990
	Resistencia al corte en discontinuidades	
Durabilidad	Desmoronamiento	NLT 255 :1996
	Ciclos de sequedad-Humedad	NLT 251:1996

Petrografía

Lámina delgada

Tabla D.20. Denominación matizada de suelos granulares⁽¹⁾

Porcentaje de finos < 35%

Denominación		% de arcilla y limo
Nombre principal	Grava o arena	-
Nombre secundario	Arenosa o con grava	-
Con indicios de	Limos o arcillas	1-10
Algo	Limosa o arcillosa	10-20
Bastante	Limosa o arcillosa	25-35

⁽¹⁾ Los términos arcilla y arcillosa de la tabla deben emplearse cuando se trata de finos plásticos y los términos limo y limosa, cuando los finos no son plásticos o poco plásticos según el criterio de Casagrande.

Tabla D.21. Denominación matizada de suelos finos

Porcentaje de finos > 35%

Denominación		% de arena y grava
Nombre principal	Arcilla o limo	< 35
Nombre secundario	Arenosa/so o con grava	35-65

Tabla D.22. Clasificación de la agresividad química de suelos, rocas y aguas (EHE)

Tipo de Medio agresivo	Parámetros ⁽¹⁾	Tipo de exposición		
		Q _a Ataque débil	Q _b Ataque medio	Q _c Ataque fuerte
Agua	Valor del pH	6,5-5,5	5,5-4,5	< 4,5
	CO ₂ agresivo (mg CO ₂ /l)	15-40	40-100	> 100
	Ión amonio (mg NH ₄ ⁺ /l)	15-30	30-60	> 60
	Ión magnesio (mg Mg ²⁺ /l)	300-1000	1000-3000	> 3000
	Ión sulfato (mg SO ₄ ²⁻ /l)	200-600	600-3000	> 3000
	Residuo seco a 110° C (mg/l)	75-150	50-75	< 50
Suelo	Grado de acidez Baumann-Gully	> 20	⁽¹⁾	⁽¹⁾
	Ión Sulfato (mg SO ₄ ²⁻ /kg de suelo seco)	2000-3000	3000-12000	> 12000

⁽¹⁾ Estas condiciones no se dan en la práctica

Tabla D.23. Valores orientativos de N_{SPT}, resistencia a compresión simple y módulo de elasticidad de suelos

Tipo de suelo	N _{SPT}	q _u (kN/m ²)	E (MN/m ²)
Suelos muy flojos o muy blandos	< 10	0 - 80	< 8
Suelos flojos o blandos	10 - 25	80 - 150	8 - 40
Suelos medios	25 - 50	150 - 300	40 - 100
Suelos compactos o duros	50 - Rechazo	300 - 500	100 - 500
Rocas blandas	Rechazo	500 - 5.000	500 - 8.000
Rocas duras	Rechazo	5.000 - 40.000	8.000 - 15.000
Rocas muy duras	Rechazo	> 40.000	>15.000

Tabla D.24. Valores orientativos del coeficiente de Poisson

Tipo de suelo	Coefficiente de Poisson
Arcillas blandas normalmente consolidadas	0,40

Arcillas medias	0,30
Arcillas duras preconsolidadas	0,15
Arenas y suelos granulares	0,30

Tabla D.25. Presiones admisibles a efectos orientativos

Terreno	Tipos y condiciones	Presión admisible [Mpa]	Observaciones
Rocas	Rocas ígneas y metamórficas sanas ⁽¹⁾ (Granito, diorita, basalto, gneis)	10	Para los valores apuntados se supone que la cimentación se sitúa sobre roca no meteorizada
	Rocas metamórficas foliadas sanas ^{(1), (2)} (Esquistos, pizarras)	3	
	Rocas sedimentarias sanas ^{(1), (2)} : Pizarras cementadas, limolitas, areniscas, calizas sin karstificar, conglomerados cementados	1 a 4	
	Rocas arcillosas sanas ^{(2), (4)}	0,5 a 1	
	Rocas diaclasadas de cualquier tipo con espaciamiento de discontinuidades superior a 0,30m, excepto rocas arcillosas	1	
	Calizas, areniscas y rocas pizarrosas con pequeño espaciamiento de los planos de estratificación ⁽³⁾	-	
	Rocas muy diaclasadas o meteorizadas ⁽³⁾	-	
Suelos granulares (% finos inferior al 35% en peso)	Gravas y mezclas de arena y grava, muy densas	>0,6	Para anchos de cimentación (B) mayor o igual a 1 m y nivel freático situado a una profundidad mayor al ancho de la cimentación (B) por debajo de ésta
	Gravas y mezclas de grava y arena, medianamente densas a densas	0,2 a 0,6	
	Gravas y mezclas de arena y grava, sueltas	<0,2	
	Arena muy densa	>0,3	
	Arena medianamente densa	0,1 a 0,3	
	Arena suelta	<0,1	
Suelos finos (% de finos superior al 35% en peso)	Arcillas duras	0,3 a 0,6	Los suelos finos normalmente consolidados y ligeramente sobreconsolidados en los que sean de esperar asentamientos de consolidación serán objeto de un estudio especial. Los suelos arcillosos potencialmente expansivos serán objeto de un estudio especial
	Arcillas muy firmes	0,15 a 0,3	
	Arcillas firmes	0,075 a 0,15	
	Arcillas y limos blandos	<0,075	
	Arcillas y limos muy blandos		
Suelos orgánicos	Estudio especial		
Reellenos	Estudio especial		

(1) Los valores indicados serán aplicables para estratificación o foliación subhorizontal. Los macizos rocosos con discontinuidades inclinadas, especialmente en las cercanías de taludes, deben ser objeto de análisis especial.

(2) Se admiten pequeñas discontinuidades con espaciamiento superior a 1 m.

- (3) Estos casos deben ser investigados "in situ"
- (4) Estas rocas son susceptibles de hinchar por efecto de la relajación de tensiones asociada a las excavaciones. También son susceptibles de reblandecerse por efecto de su exposición al agua.

Tabla D.26. Valores orientativos de densidades de suelos

Tipo de suelo	γ_{nat} (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)
Grava	20 – 22	15 – 17
Arena	18 – 20	13 – 16
Limo	18 – 20	14 – 18
Arcilla	16 – 22	14 – 21

Tabla D.27. Propiedades básicas de los suelos

Clase de suelo		Peso específico aparente (kN/m ³)	Ángulo de rozamiento interno
Terreno natural	Grava	19 – 22	34° - 45°
	Arena	17 – 20	30° - 36°
	Limo	17 – 20	25 – 32°
	Arcilla	15 – 22	16° – 28°
Rellenos	Tierra vegetal	17	25°
	Terraplén	17	30°
	Pedraplén	18	40°

Tabla D.28. Valores orientativos del coeficiente de Permeabilidad

Tipo de suelo	k_z (m/s)
Grava limpia	$> 10^{-2}$
Arena limpia y mezcla de grava y arena limpia	$10^{-2} - 10^{-5}$
Arena fina, limo, mezclas de arenas, limos y arcillas	$10^{-5} - 10^{-9}$
Arcilla	$< 10^{-9}$

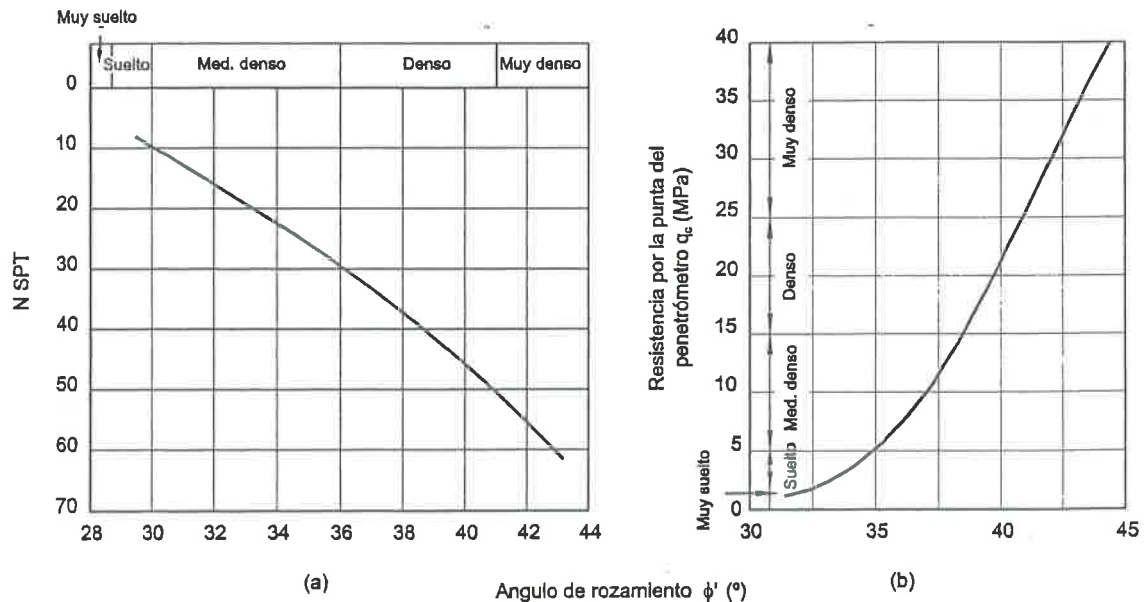


Figura D.1. Correlación entre los ensayos SPT y CPT con el ángulo de rozamiento interno efectivo en suelos granulares

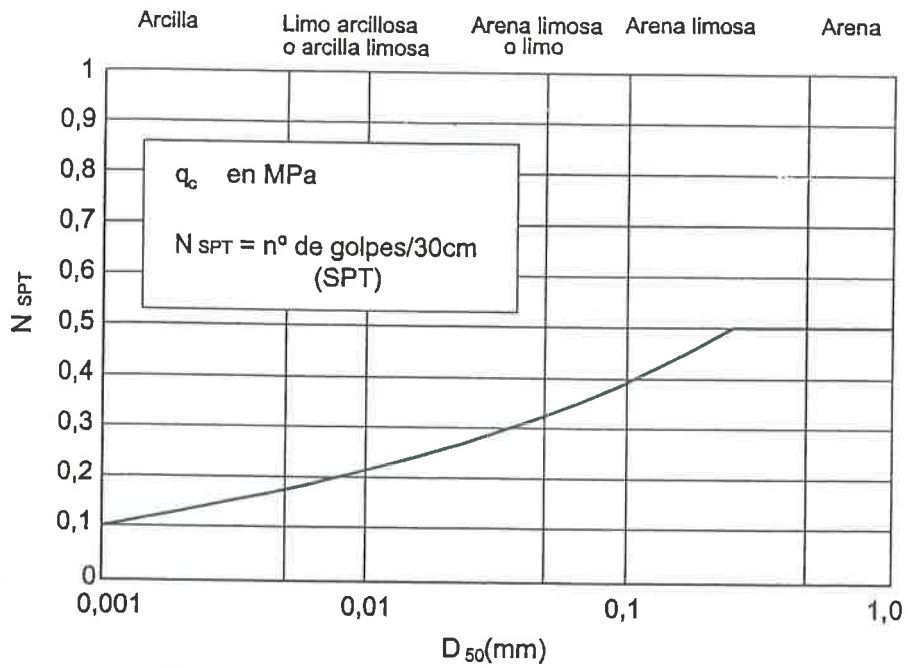


Figura D.2. Correlación entre los ensayos SPT y CPT

Tabla D.29. Valores orientativos del coeficiente de balasto, K_{30}

Tipo de suelo	K_{30} (MN/m ³)
Arcilla blanda	15 - 30
Arcilla media	30 - 60
Arcilla dura	60 - 200
Limo	15 - 45
Arena floja	10 - 30
Arena media	30 - 90
Arena compacta	90 - 200
Grava arenosa floja	70 - 120
Grava arenosa compacta	120 - 300
Margas arcillosas	200 - 400
Rocas algo alteradas	300 - 5.000
Rocas sanas	>5.000

Anejo G. Normas de referencia

Normativa UNE

UNE 22 381:1993	Control de vibraciones producidas por voladuras.
UNE 22 950-1:1990	Propiedades mecánicas de las rocas. Ensayos para la determinación de la resistencia. Parte 1: Resistencia a la compresión uniaxial.
UNE 22 950-2:1990	Propiedades mecánicas de las rocas. Ensayos para la determinación de la resistencia. Parte 2: Resistencia a tracción. Determinación indirecta (ensayo brasileño).
UNE 80 303-1:2001	Cementos con características adicionales. Parte 1: Cementos resistentes a los sulfatos.
UNE 80 303-2:2001	Cementos con características adicionales. Parte 2: Cementos resistentes al agua de mar.
UNE 80 303-3:2001	Cementos con características adicionales. Parte 3: Cementos de Bajo calor de hidratación.
UNE 103 101:1995	Análisis granulométrico de suelos por tamizado.
UNE 103 102:1995	Análisis granulométrico de suelos finos por sedimentación. Método del densímetro.
UNE 103 103:1994	Determinación del límite líquido de un suelo por el método del aparato de casagrande.
UNE 103 104:1993	Determinación del límite plástico de un suelo.
UNE 103 108:1996	Determinación de las características de retracción de un suelo.
UNE 103 200:1993	Determinación del contenido de carbonatos en los suelos.
UNE 103 202:1995	Determinación cualitativa del contenido en sulfatos solubles de un suelo.
UNE 103 204:1993	Determinación del contenido de materia orgánica oxidable de un suelo por el método del permanganato potásico.
UNE 103 300:1993	Determinación de la humedad de un suelo mediante secado en estufa.
UNE 103 301:1994	Determinación de la densidad de un suelo. Método de la balanza hidrostática.
UNE 103 302:1994	Determinación de la densidad relativa de las partículas de un suelo.
UNE 103 400:1993	Ensayo de rotura a compresión simple en probetas de suelo.
UNE 103 401:1998	Determinación de los parámetros de resistentes al esfuerzo cortante de una muestra de suelo en la caja de corte directo.
UNE 103 402:1998	Determinación de los parámetros resistentes de una muestra de suelo en el equipo triaxial.
UNE 103 405:1994	Geotecnia. Ensayo de consolidación unidimensional de un suelo en edómetro.

UNE 103 500:1994	Geotecnia. Ensayo de compactación. Proctor normal.
UNE 103 501:1994	Geotecnia. Ensayo de compactación. Proctor modificado.
UNE 103 600:1996	Determinación de la expansividad de un suelo en el aparato Lambe.
UNE 103 601:1996	Ensayo del hinchamiento libre de un suelo en edómetro.
UNE 103 602:1996	Ensayo para calcular la presión de hinchamiento de un suelo en edómetro.
UNE 103 800:1992	Geotecnia. Ensayos in situ. Ensayo de penetración estándar (SPT).
UNE 103 801:1994	Prueba de penetración dinámica superpesada.
UNE 103 802:1998	Geotecnia. Prueba de penetración dinámica pesada.
UNE 103 804:1993	Geotecnia. Procedimiento internacional de referencia para el ensayo de penetración con el cono (CPT).
UNE EN 1 536:2000	Ejecución de trabajos especiales de geotecnia. Pilotes perforados.
UNE EN 1 537:2001	Ejecución de trabajos geotécnicos especiales. Anclajes.
UNE EN 1 538:2000	Ejecución de trabajos geotécnicos especiales. Muros-pantalla.
UNE EN 12 699:2001	Realización de trabajos geotécnicos especiales. Pilotes de desplazamiento.

Normativa ASTM

ASTM : G57-78 (G57-95a)	Standard Test Method for field measurement of soil resistivity using the Wenner Four-Electrode Method.
ASTM : D 4428/D4428M-00	Standard Test Methods for Crosshole Seismic Testing.

Normativa NLT

NLT 225:1999	Estabilidad de los áridos y fragmentos de roca frente a la acción de desmoronamiento en agua.
NLT 254:1999	Ensayo de colapso en suelos.
NLT 251:1996	Determinación de la durabilidad al desmoronamiento de rocas blandas.