

ANEXOS

A. PROSPECCION DE SUELOS.

Se expone a continuación los principales aspectos que comprende la prospección e identificación de suelos. La información presentada, no entra en excesivos detalles, sino más bien es de carácter referencial y para conocimiento general, ya que escapa del alcance de este manual y existe una variada bibliografía que abarca el tema en forma más profunda.

Se incluye además, una pauta para la identificación visual de suelos para de esta forma obtener sin ensayos de laboratorio, una clasificación primaria del terreno.

A.1. RECONOCIMIENTOS GEOTECNICOS.

El objetivo de los reconocimientos geotécnicos, es la preparación de las bases necesarias para la elaboración del proyecto y ejecución de obras técnica y económicamente correctas.

Los reconocimientos deben entregar información acerca de la estratigrafía, inclinación y espesor de los diferentes estratos, situación del agua subterránea y propiedades de los suelos desde el punto de vista de la ingeniería a partir de la toma de muestras. Es importante que el reconocimiento abarque todas las capas y área circundante que pueda tener influencia sobre los asientos y estabilidad de la obra.

Estos reconocimientos deben realizarse con suficiente antelación para a partir de los resultados obtenidos, determinar el tipo de estructura, cimentación, método constructivo, calidad de materiales a utilizar, etc. En cuanto a costo, el valor de la investigación dependerá de la envergadura de la obra, pero se justifica plenamente, ya que la ausencia de una completa información se traduce, en la mayoría de los casos, en aumentos significativos de los costos debido a modificaciones ó reparaciones necesarias de ejecutar y que no estaban contempladas originalmente.

A.1.1. Exploraciones superficiales. Este tipo de exploración está referido a todos aquellos datos, antecedentes y estudios generales que guarden directa relación con la superficie del terreno del sector en estudio.

Entre la información preliminar que se puede obtener, se encuentran: mapas (topográficos, geológicos, orográficos, etc.), fotografías aéreas, climatología, construcciones vecinas, etc.

Los métodos de reconocimiento solo entregan indicaciones aproximadas de las probables condiciones del sub-suelo, pero proporcionan datos valiosos para plantear de un modo racional el tipo de reconocimiento de sub-suelo a que se deba recurrir.

- **Estudio geológico.** Su objetivo es determinar la naturaleza de los depósitos subyacentes en el lugar de la investigación. De esta forma, se podrá determinar los tipos de suelos y roca que probablemente se encontrarán, para así seleccionar el mejor método de exploración profunda. También se podrá obtener información acerca de fallas, erosiones, defectos en la roca, presencia de minerales, cursos de agua, etc.
- **Reconocimiento aero-fotogramétrico.** Este tipo de reconocimiento permite que se extienda el análisis geológico más allá del reconocimiento terrestre, resultando económico para estudios de áreas muy grandes. La correcta interpretación podrá identificar las formaciones del suelo, tipo de vegetación, uso del suelo, afloramientos rocosos, etc., de los cuales podrán deducirse las características del sub-suelo. Esta técnica no es aplicable a zonas de bosques muy densos o áreas con mucha construcción.
- **Reconocimiento geofísico.** El objetivo de este tipo de reconocimiento es detectar y localizar las masas de tierra y roca del sub-suelo, obtener información acerca del nivel freático, dureza relativa de los suelos y algunas propiedades físicas. La ventaja de este reconocimiento es que consisten en pruebas rápidas, económicas y no destructivas. Como desventaja está que los resultados se derivan de mediciones indirectas.

Los métodos más conocidos y utilizados con mayor frecuencia son el de resistividad eléctrica y el de refracción sísmica.

Método eléctrico. La técnica de resistividad eléctrica, se basa en la capacidad del suelo o roca para conducir electricidad. La resistencia que opone al paso de la electricidad, dependerá en gran parte de la densidad y humedad del suelo.

El procedimiento consiste en enviar mediante dos electrodos impolarizables, una corriente eléctrica de intensidad i , de ser posible continua y medir la diferencia de potencial Δv existente entre otros dos electrodos (figura A.1.). El conocimiento de Δv e i , permite calcular una resistividad que se compara con un ábaco o patrón de referencia. En la tabla A.2. se indican algunos valores típicos de resistividades.

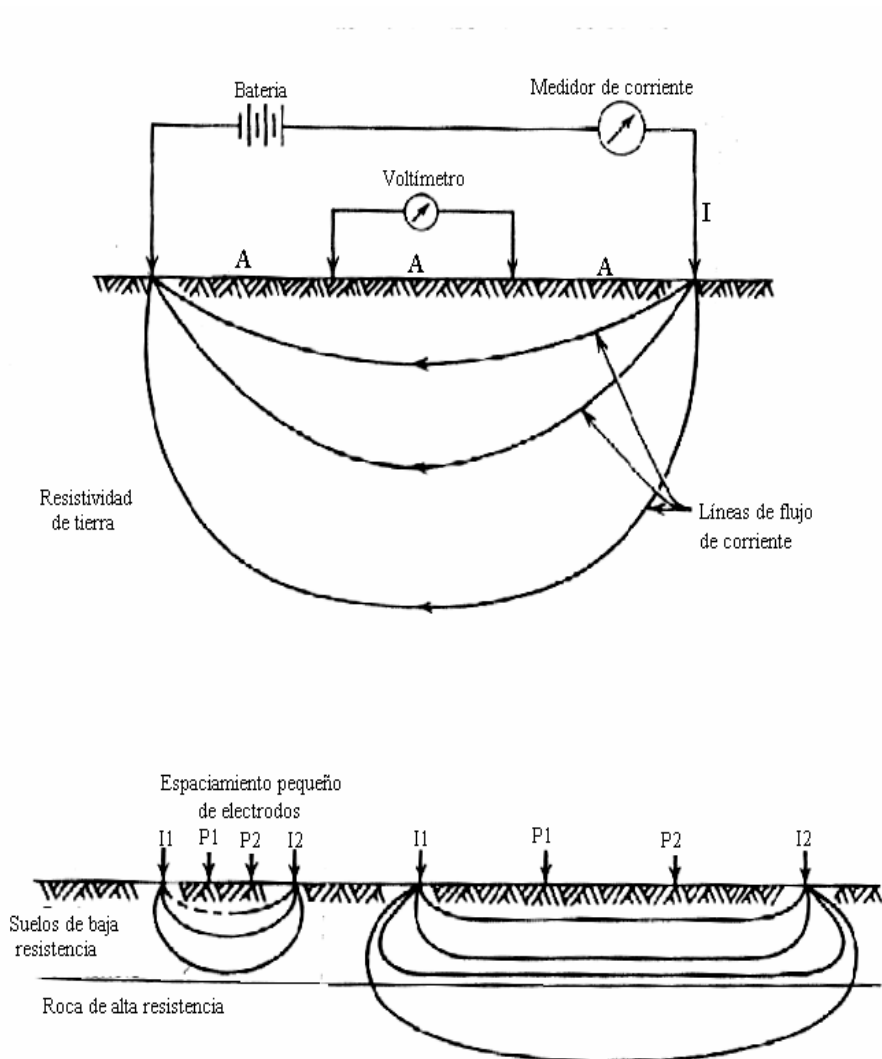


Figura A.1. Esquema del principio del método eléctrico.
 Fuente: Fletcher G. y Smoots V., 1978.

Tipo de Suelo	Resistividad (Ohms * cm)
Arcilla o limo orgánico saturado	500 - 2000
Arcilla o limo inorgánico saturado	1000 - 5000
Arcillas y limos duros semisaturados, arenas y gravas saturadas	5000 - 15000
Lutitas, arcillas y limos secos	10000 - 50000
Areniscas, arenas y gravas secas	20000 - 100000
Rocas cristalinas, sanas	100000 - 1000000

Figura A.2. Resistividad eléctrica de suelos y rocas (Sowers G.B. y Sowers G.F., 1975).

Método sísmico. Este método permite determinar espesores de los diferentes estratos, midiendo la velocidad de propagación de ondas sísmicas. Para su interpretación, los estratos superiores deben presentar velocidades de propagación inferiores a las de los estratos que lo subyacen y estos deben ser relativamente paralelos entre sí.

La técnica de refracción sísmica, consiste en crear ondas de impacto y vibración en el interior del terreno. Esto se produce golpeando la superficie del suelo con un martillo, cualquier peso o mediante el estallido de una pequeña carga explosiva enterrada en el suelo.

A cierta distancia del lugar donde se producirá el impacto, se colocan unos detectores llamados geófonos, dispuestos en línea recta y a distancias que vayan aumentando entre ellos (figura A.3.). A través de un sismógrafo, se registra el tiempo empleado por la onda elástica en llegar a cada detector y por medio de una ecuación se determina el espesor del estrato en estudio. Cuanto más denso sea el material, tanto más rápido se desplazarán las ondas a través de él. En la tabla A.4. se indican algunos valores típicos de velocidades de ondas sísmicas de algunos suelos.

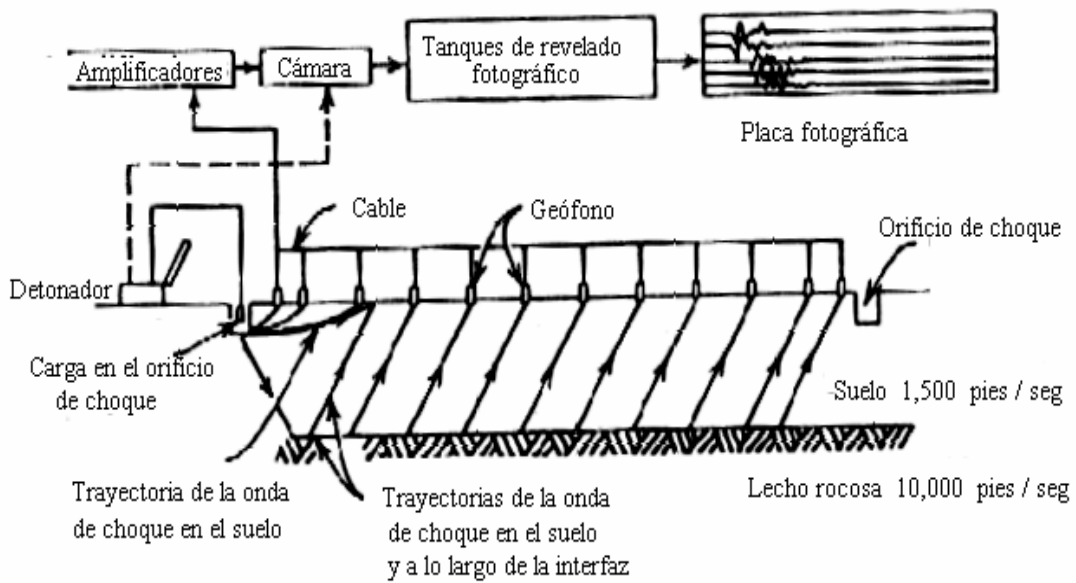
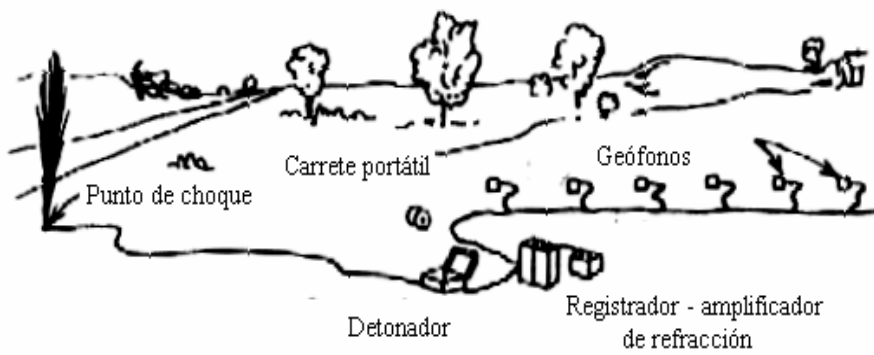


Figura A.3. Disposición del equipo en terreno y esquema de funcionamiento.
Fuente: Fletcher G. y Smoots V., 1978.

Tipo de suelo	Velocidad (mt / seg)
Arena suelta seca	150 - 450
Arcilla dura parcialmente saturada	600 - 1200
Suelo seco saturado	1600
Suelo saturado	1200 - 3000
Roca sana	2000 - 6000

Figura A.4. Tabla de velocidades de la onda sísmica en suelos y rocas. Fuente: Sowers G.B. y Sowers G.F., 1975.

A.1.2. Exploraciones profundas. Este tipo de exploración, está referido a obtener una información exacta acerca de las condiciones y características del sub-suelo del sector en estudio.

Los métodos de reconocimiento más utilizados, corresponden a los pozos o calicatas y a las diversas variedades de sondeos. El método a utilizar dependerá en gran parte del estudio previo de la superficie del terreno, así como de la disponibilidad de equipos y la accesibilidad de éstos al lugar de ensayo.

Entre la información que se obtiene, se encuentran la naturaleza del depósito, profundidad y composición de los estratos de suelo y roca, aguas subterráneas y propiedades físico-mecánicas.

Pozos de exploración. El método se emplea habitualmente para profundidades reducidas, ya que se encuentra limitado por el nivel freático y la cohesión del suelo. Permite la inspección visual de los estratos encontrados, entregando normalmente la información más completa y confiable posible. La sección mínima recomendada es de 0,8 * 1,0 mt., a fin de permitir una adecuada inspección de las paredes. El costo de la excavación aumenta con la profundidad y de manera muy rápida si se hace manualmente o es necesario entibar. Por ello resulta poco práctico alcanzar profundidades mayores a 5 mt. La excavación de los pozos no debe realizarse en el sitio que esta proyectada estimativamente la ubicación de una cimentación, pero sí en las proximidad de éstas.

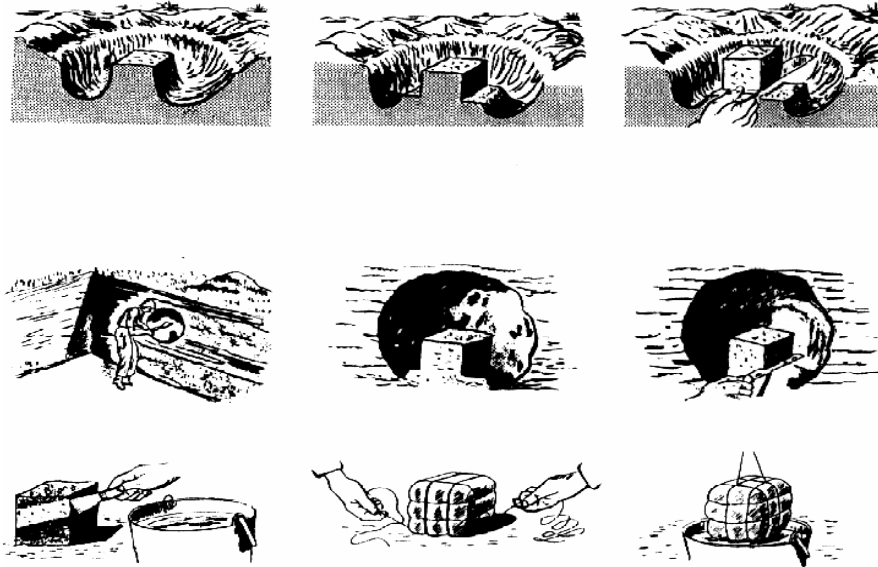
La obtención de muestras inalteradas es la gran ventaja de este método. En un suelo cohesivo, bastará cortar o tallar cuidadosamente un bloque dispuesto en forma de pedestal, el que se deposita dentro de un recipiente hermético de dimensiones apropiadas al tamaño de la muestra. En caso que ésta tenga la suficiente cohesión para poder ser transportada por su peso propio, bastará sólo recubrirla con cera o parafina sólida con el objeto de que no pierda humedad (figura A.5.).

Los suelos granulares deberán tener un mínimo de humedad que permita la cohesión entre sus partículas. Una vez tallado el bloque en forma de pedestal, se fuerza en el suavemente una caja o molde con su extremo libre. Cuando se encuentre completamente enterrado, se enrasa la superficie, se sella con parafina sólida y se coloca la tapa. Con una pala se corta la muestra varios centímetros por debajo del molde y se invierte de modo de repetir el procedimiento de sellado.

También es posible obtener muestra a través de moldes especiales que cuentan con sus extremos cortantes, tipo molde CBR, que son golpeados contra la superficie del suelo, quedando la muestra en el interior del molde, para luego enrasarla y sellarla.

El traslado de muestras a laboratorio deberá efectuarse tomando todas las medidas precautorias necesarias de modo que no sufran vibraciones o

golpes que las hagan disminuir de volumen o alterar sus características naturales.



a) Muestra inalterada tomada y untada en parafina

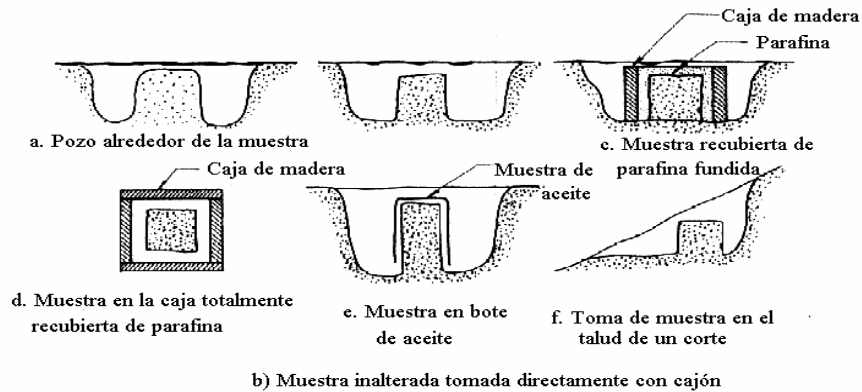


Figura A.5. Obtención de muestras inalteradas.
Fuente: Geotecnia LNV., 1993.

Sondeos. Este método de reconocimiento, se emplea cuando se precisa conocer las características del sub-suelo a profundidades imposibles de alcanzar por medio de pozos o calicatas.

Los equipos, generalmente mecánicos e hidráulicos (figura A.6.), pueden perforar desde suelos blandos hasta durísimas rocas y su transporte se facilita al estar montados sobre camiones. Sin embargo, la información en cuanto a la estratigrafía del sub-suelo que entrega un sondeo, es más difícil de interpretar que la de un pozo o calicata, pero es más completa debido a la profundidad alcanzada.

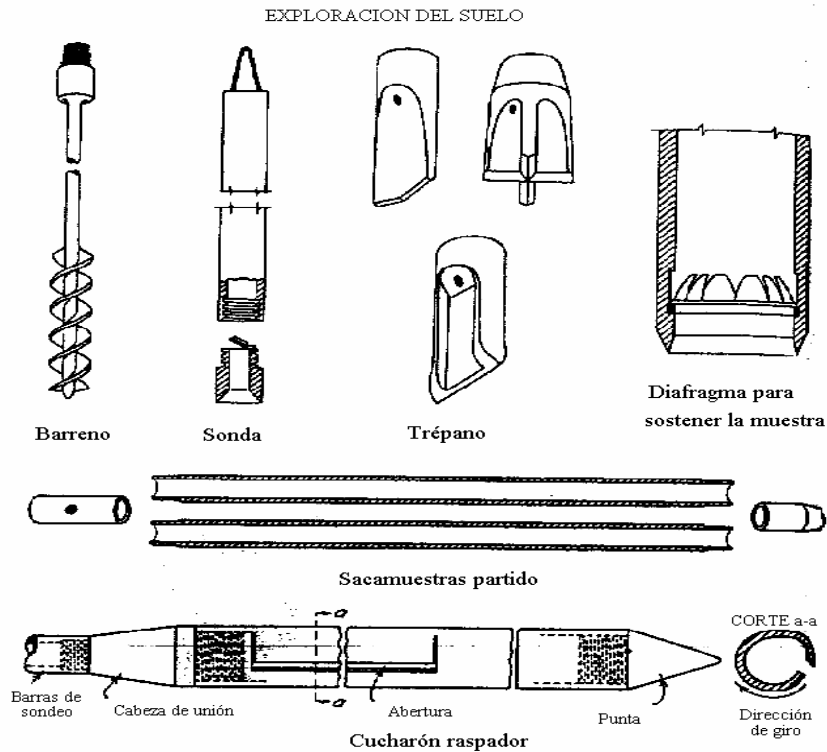


Figura A.6. Herramientas de muestreo para perforaciones exploratorias. Fuente: Terzaghi K. y Peck R., 1980.

Las limitaciones de este método son el tamaño reducido de las muestras obtenidas y el alto costo de operación.

Sondeo por percusión. Se utiliza generalmente en depósitos de grava gruesa, arcilla dura y capas delgadas de roca.

Este sistema se caracteriza porque la perforación se logra mediante golpes alternados de subida y bajada de un trépano que golpea el fondo de la perforación, provocando el desprendimiento del suelo. En el fondo del pozo, se mantiene un nivel de agua de algunos metros que permite el trabajo efectivo del trépano al evitar que se caliente excesivamente.

Cuando se haya acumulado una cantidad importante de recortes o trozos de suelo, la acción del trépano se verá obstaculizada, por lo que será necesario suspender la perforación. De la barra de accionamiento, se retira el trépano y se acopla un sacamuestras tipo cuchara, al hacerlo bajar, quedará retenido el suelo desprendido.

Al subir la cuchara a la superficie, se retira el material extraído y se deposita en cajas de madera con separadores que indican las distintas profundidades.

Las desventajas, son la obtención de muestras alteradas y en caso de encontrar un terreno o estrato de poca cohesión, deberán revestirse las paredes de la perforación mediante tubos o camisas metálicas para evitar desmoronamientos.

Sondeo por rotación. Se utiliza generalmente en suelos duros y rocas. Este sistema se caracteriza porque la perforación se realiza mediante la rotación de una corona diamantada, que a la vez permite la extracción de testigos de pequeños diámetros, que se utilizarán para determinar la composición, firmeza y características de los estratos a grandes profundidades.

Para llevar los testigos desde la perforación hacia la superficie y para producir la refrigeración de la herramienta de rotación, se utiliza la constante

circulación de un fluido que frecuentemente no está constituido por agua, sino por una especie de barro compuesto por una suspensión de bentonita, que además mantiene las paredes de la perforación en forma estable en caso de atravesar algún estrato de poca o baja cohesión, evitando así tener que revestir las paredes.

Las ventajas del método son la obtención a través de los testigos de muestras inalteradas y la elaboración de un perfil estratigráfico continuo.

Taladros helicoidales. También denominados barrenos (figura A.7.), proporcionan información sobre el sub-suelo sacando el material para poder ser examinado pero no alcanzan profundidades mayores.

Se utiliza en suelos cohesivos que contengan una cierta humedad. Estos suelos se adhieren a las paredes del taladro y de esta forma se extrae el material en la superficie para ser examinado, repitiendo la operación para una nueva toma de muestras. No es aconsejable utilizarlo en suelos granulares muy secos o sin cohesión, ya que será imposible que produzca la adherencia de estos al taladro.

Las desventajas del método son lo difícil que es establecer la profundidad a la cual se obtuvo el material de la muestra y la alteración completa de ésta, por lo que puede obtenerse muy poca información acerca de las características del suelo en estado natural. En caso de atravesar estratos de baja cohesión, deberán revestirse las paredes.

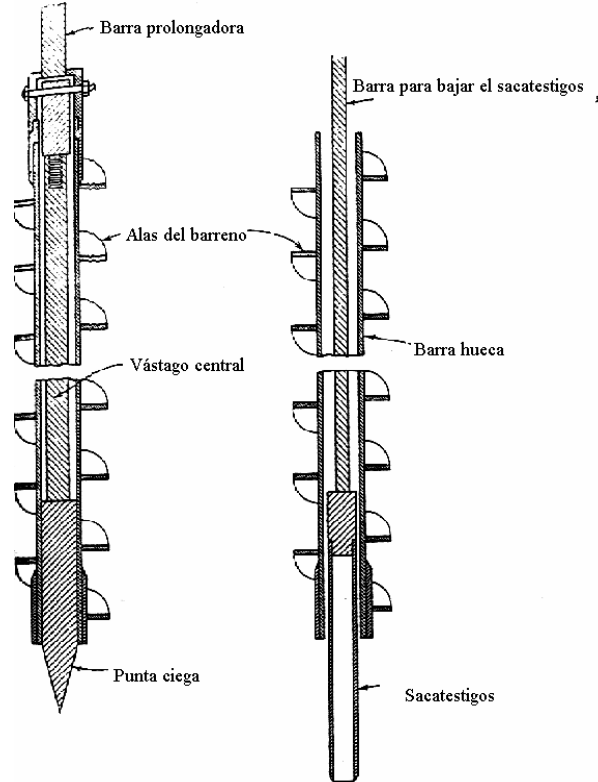


Figura A.7. barreno de barra hueca con opción Peck R.1980).

Secciones de sacatestigo(Terzaghi K. y

Inyección de agua. Este sistema combina la utilización de un equipo de perforación con otro que produce agua a presión, la cual va lavando el material del sub-suelo a medida que se introduce una varilla o tubo hueco (figura A.8.).

Las muestras del material salen junto con el agua de lavado y por su color y textura de los materiales lavados, se puede estimar la clase de material y establecer los espesores de los diferentes estratos.

Las desventajas del método son la entrega de una información ligera y aproximada de los estratos que conforman el sub-suelo y por el hecho de guiarse por el color y apariencia que trae el agua expulsada, puede inducir a caer en interpretaciones erróneas. Además no se pueden obtener las características naturales del suelo por medio de los trozos extraídos, ya que se encuentran completamente alterados.

Este método solo da una idea muy general de la naturales de los estratos perforados, sin embargo es útil para la determinación de los estratos duros y estimar su dureza, en base a la velocidad de avance de la perforación. En la tabla de la figura A.9. se muestra un resumen de los tipos de muestreos.

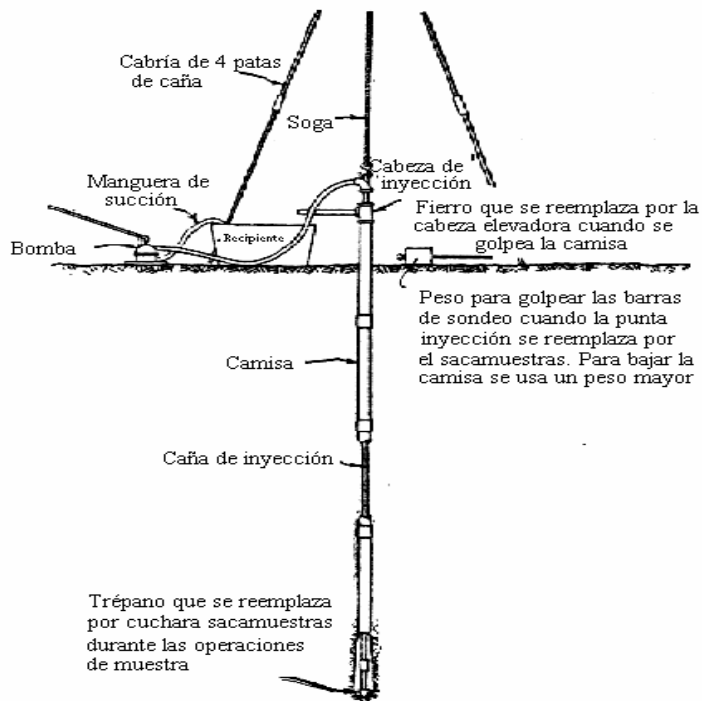


Figura A.8.
Aparato para ejecutar

perforaciones con inyección de agua.
Fuente: Terzaghi K. y Peck R., 1980.

UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALPARAISO
 ESCUELA DE INGENIERIA EN CONSTRUCCION
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

SONDEOS

Proyecto :
 Ubicación :
 Descripción del suelo :
 Clima :
 Nivel de agua :
 Perforación N° :
 Revestimiento usado (características) :
 Fecha de muestreo :

Muestra N°	Cotas de Perforación		Distancias		Equipo utilizado	Tipo muestreado	Tiempo	Longitud de muestra	Descripción de muestra
	Inicio	Término	Parcial	Acumulada					

Observaciones :

UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALPARAISO
 ESCUELA DE INGENIERIA EN CONSTRUCCION
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

INSPECCION VISUAL DE POZOS DE EXPLORACION

Proyecto :
 Ubicación :
 Descripción del suelo :
 Profundidad napa de agua :
 Fecha de muestreo :
 Fecha de ensayo :

Prospección N°		1	2	3	4
Profundidad	Desde (mt)				
	Hasta (mt)				
Granulometría estimada					
Tamaño máximo					
% Bolones					
% Grava					
% Arena					
% Finos					
Características del suelo					
Color					
Olor					
Humedad					
Graduación					
Estructura					
Plasticidad					
Cementación					
Forma de las partículas					
Densificación					
Presencia de materia orgánica					
Origen					
Clasificación USCS					
Nombre local					
Muestreo (cantidad kgs)					

Observaciones :

Tipo de muestreo	Tipo de tomamuestras	Diámetro mínimo mm.	Diámetro recomendado mm.	Método de hinca	Tipo de suelo idóneo	Calidad de la muestra obtenida	Tipo de suelo en que no se aplicable
Manual	Bloque	150	150	Tallada a mano	Suelos cohesivos de consistencia media a dura	Excelente	Arenas flojas. Suelos disgregables. Gravas.
	Cilindro	150	250	Percusión a mano	Suelos cohesivos de consistencia blanda a media.	Excelente a buena	Arenas sueltas. Gravas. Suelos muy compactos.
	Abierto de pared delgada (Shelby)	76	88	Presión o percusión	Suelos arcillosos de consistencia blanda a media. Arenas sobre el nivel freático no muy compactas.	Buena a regular	Grava. Arena bajo el nivel freático. Suelos arcillosos de consistencia compacta o muy compacta. Suelos estratificados gruesos.
	Abierto de pared gruesa (tubo bipartido)	76	88	Percusión	Como el anterior con elementos gruesos hasta 20 mm.	Regular a mediocre	Grava. Arena bajo el nivel freático. Suelos arcillosos de consistencia compacta o muy compacta. Suelos estratificados gruesos.
Mecánico	Pistón, pared delgada	76	76	Presión	Suelos arcillosos de consistencia muy blanda a media. Suelos sensibles. Arenas muy sueltas a sueltas.	Buena a regular	Grava. Arenas compactas. Arcillas de consistencia compacta a dura. Suelos de grano grueso.
	Pistón, pared gruesa	76	88	Presión	Suelos arcillosos de consistencia blanda a muy compacta. Suelos sensibles.	Regular	Grava, arena. Arcilla compacta a dura. suelos de grano grueso.
	Batería de perforación	76	100	Rotación	Suelos arcillosos de consistencia dura.	Regular a buena (según terreno)	Gravas, bolones, arenas. Arcillas blandas a medias.
	Tubo doble con interior retráctil.	76	100	Rotación	Suelos arcillosos de consistencia dura.	Regular a buena (según terreno)	Gravas, bolones, arenas. Arcillas muy blandas a compactas.

Figura A.9. Tabla de resumen y aplicabilidad de métodos de muestreo. Fuente: Rodríguez J., Serra J. y Oteo C., 1982.

A.2. ENSAYOS DE PENETRACION.

Los ensayos de penetración in situ están muy difundidos hoy en día, principalmente por su sencillez y por su costo relativamente accesible, pero debemos agregar que en muchos casos su interpretación es muy difícil.

Los penetrómetros son barras metálicas que se introducen en el terreno para medir determinadas propiedades del mismo y generalmente están constituidas por las varillas, la punta que se introduce en el terreno y el dispositivo de accionamiento.

Constituyen un método auxiliar en la investigación de las características del terreno, sus resultados permiten obtener ciertos datos sobre la densidad de los suelos y la consistencia de suelos cohesivos, así como compresibilidad y resistencia al corte. Son usados generalmente para determinar los límites de las capas, niveles rocosos o estratos resistentes y las cavidades del terreno. También sirven para comprobar rápidamente la uniformidad del terreno, en combinación con otro reconocimiento, como por ejemplo los sondeos.

Los ensayos de penetración pueden ser dinámicos, que consisten en hincar mediante golpes una varilla o tubo, o pueden ser estáticos, que consisten en medir la resistencia a la penetración de la varilla, la que se hinca lentamente, de modo que los efectos dinámicos resultan despreciables, es decir, la punta es forzada hacia adelante a una velocidad regulada.

A.2.1. Tipos de penetrómetros.

- Penetrómetros estáticos. El mas típico es el holandés (cono estático), el cual se hinca mediante una fuerza estática, dada por gatos mecánicos o hidráulicos. Consta de un tubo, en cuyo interior se aloja una varilla, que lleva en la punta un cono (figura A.10.). Se mide el esfuerzo necesario para la hinca del conjunto y de vez en cuando sólo se hinca la varilla interior móvil, lo que da la fuerza necesaria para la hinca del cono, es decir, la resistencia del terreno a la punta del cono. Por diferencia, es posible obtener la resistencia por el fuste, debida a la adherencia y el rozamiento entre el tubo y el terreno.
- Los resultados de la penetración estática se representan gráficamente de la siguiente manera: se grafica en ordenadas la profundidad y en abscisas la resistencia por la punta (kgs/cm^2) o su resistencia total y el roce del tubo de revestimiento (fuste).
- Los ensayos de penetración estática dan buenas indicaciones sobre la resistencia del terreno, pero tienen la desventaja de que en suelos densos o muy densos, el equipo pueda quedar bloqueado al no poder imprimir una fuerza mayor de penetración, con lo cual es imposible llegar a grandes profundidades.

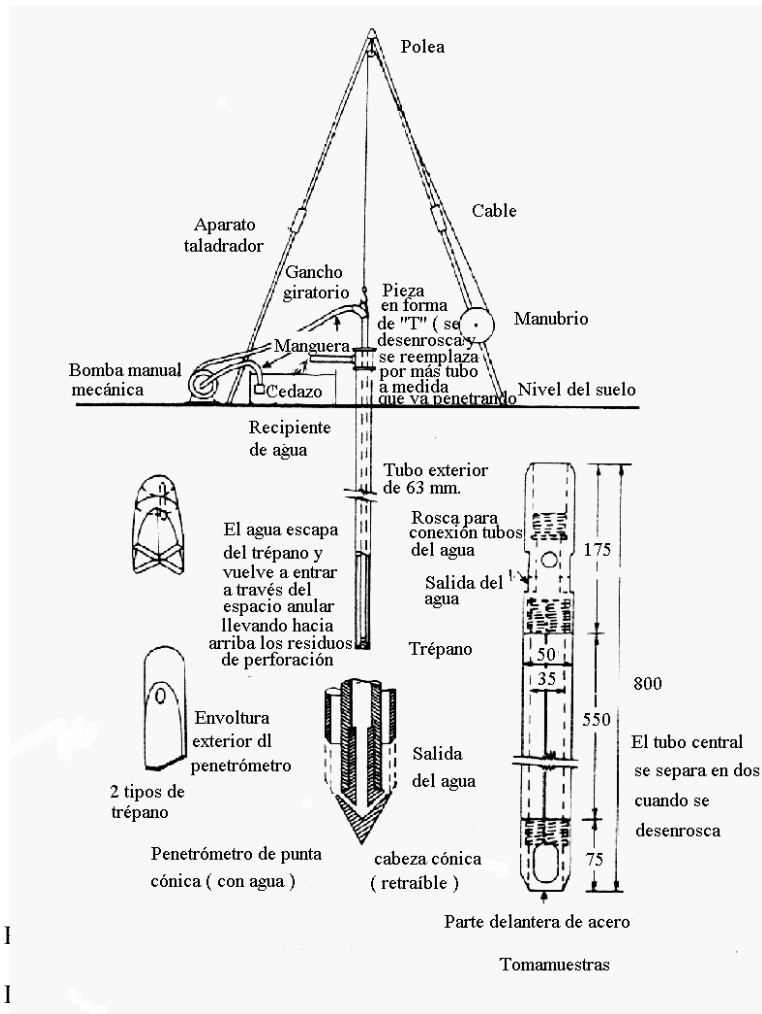


Figura A.10. I
Fuente:

I
a
under V., 1977.

- Penetrómetros dinámicos. La manera más simple de obtener información sobre el grado de compactación in situ (compacidad en suelos granulares; consistencia en suelos finos), consiste en golpear una barra y medir lo que penetra en el terreno en función del número de golpes. En comparación con el penetrómetro estático, la interpretación es más difícil, sin embargo la ejecución del ensayo es más sencilla, por ello este tipo de ensayos está ampliamente difundidos.

La mayor ventaja del penetrómetro dinámico sobre el estático es que no necesita el lastre o anclaje de reacción de éste último, que muchas veces puede ser de varias toneladas, como consecuencia tenemos que los penetrómetros dinámicos son mucho más manejables baratos y rápidos.

Existen varios tipos de penetrómetros dinámicos, por ejemplo el tipo DIN 4094, el penetrómetro estándar ASTM D-1586, penetrómetros manuales, etc.

- Penetrómetros manuales. Este tipo de penetrómetros se hincan en el terreno mediante golpes dados generalmente con un mazo de madera. Como es usual al resto de los penetrómetros, es posible registrar el número de golpes y las profundidades de penetración. También se pueden obtener pequeñas muestras del terreno mediante una ranura longitudinal y los huecos superiores que comúnmente poseen.
- Penetrómetro DIN-4094. Existen dos tipos: ligero y pesado. El penetrómetro ligero puede emplearse en suelos no muy compactos hasta profundidades de unos 8 metros. Para profundidades mayores y suelos más rígidos se utiliza el penetrómetro pesado. Las características de estos equipos se indican en la tabla de la figura A.11.

Penetrómetro	Peso del mazo (kgs)	Altura de caída(cm)	Varillas	Largo de varillas(mt)
Ligero	10	50	Tubo 22 * 4,5	1,0
Pesado	50	50	Varilla de sondeo	1,0 a 2,0

Figura A.11. Características de penetrómetros según DIN-4094.
Fuente: Schulze W. y Simmer K., 1970.

A.2.2. Ensayo de penetración normal (SPT), según norma ASTM D-1586-64T.

Este método es ampliamente conocido y relativamente simple. Consiste en contar el número de golpes que se requieren para hincar 30 cm. una cuchara sacamuestras en el terreno, con un peso determinado y una altura de caída fija. El muestreador usado, comúnmente llamado cuchara normal, es de 2" de diámetro y se hincan en el fondo del pozo mediante la acción de golpes de un martinete que pesa 65 kgs., el que cae desde una altura de 75 cm.

Para efectuar el ensayo es preciso avanzar con un sondeo normal. Al llegar al punto que se desea ensayar se introduce la cuchara de 2" hasta el fondo. En esta perforación previa se debe retirar todo el material perturbado o suelto (si el suelo es cohesivo generalmente las paredes mantienen su posición, pero si se trata de suelos de paredes inestables se suele entubarán con revestimiento metálico o lodos tixotrópicos).

Una vez introducida la cuchara en el fondo de la perforación haciéndola penetrar unos 15 cms. mediante golpes a las cabezas de las varillas, se inicia entonces el ensayo de penetración, contando el número de golpes (N) necesarios para hacer penetrar la cuchara 30 cms. No debe contarse el número de golpes necesarios para introducirla los primeros 15 cms. ya que se supone que el terreno se puede encontrar alterado en el fondo del sondeo. Se cuentan sin embargo los golpes necesarios para introducirla los 30 cm. siguientes y este será el número de penetración estándar N.

Un criterio de rechazo a la penetración, es cuando el avance es menor a 1" por cada 50 golpes. Terminado el ensayo, se gira la cuchara y se extrae la muestra, se desarma el muestreador retirando la camisa interior que posee dicha muestra.

La información que entrega este ensayo es muy valiosa pero su interpretación y análisis requiere de extremada prudencia, fundamentalmente por las limitaciones que se presentan en la ejecución del ensayo y factores atribuibles a las características del terreno mismo, por ejemplo, valores de N distintos para un mismo estrato debido a que los suelos no siempre se encuentran uniformemente distribuidos, siendo la causante de esta variación, la presencia de partículas gravosas, rellenos u otros materiales similares.

El SPT entrega una buena referencia acerca de la compacidad de los suelos arenosos, sin embargo, en estratos de grava la cuchara no puede hincarse, pues la afilada punta de la cuchara se dobla.

En suelos arcillosos los resultados no son muy confiables, existiendo circunstancias conocidas que justifican la falta de garantía de los resultados obtenidos. Primero, la arcilla exhibe cierta viscosidad o resistencia a la deformación rápida, lo cual influye en el ensayo, sin que tenga correspondencia en la resistencia del terreno a cargas permanentes. Segundo, se ha podido comprobar que una gran parte de la resistencia a la penetración de la cuchara en arcillas, se debe a la adherencia a la superficie lateral, pero ésta tratándose de un fenómeno tan rápido, queda influido por la sensibilidad de la arcilla, su tixotropía y en general, por la capacidad de este suelo a adherirse casi instantáneamente a una superficie metálica.

- Toma de muestras. La muestra se retira de la camisa que la contiene y se coloca en envases o recipientes especiales, sellándola con parafina sólida. Se rotula para su identificación y se envía a laboratorio para los ensayos pertinentes. Esta muestra debe considerarse como remoldeada, ya que el espesor de las paredes del tubo es muy grande con relación a su diámetro interior.

En cada ensayo que se ejecute se deben anotar los datos relativos al sondaje mismo, como por ejemplo fecha, número del sondeo, método de perforación, sistema de recubrimiento del pozo, profundidad, nivel freático, límites o cotas de los estratos, identificación de los suelos, registro del índice de penetración y tiempo de duración del ensayo.

- Interpretación del SPT. En las tablas de las figuras A.12 y A.13 se entregan diversas relaciones entre el N y la densidad relativa para las arenas o la consistencia para las arcillas.

N (para hundir 30 cm.)	Densidad relativa
0 - 4	Muy suelta

4 - 10	Suelta
10 - 30	Medianamente densa
30 - 50	Densa
> 50	Muy densa

Figura A.12. Tabla de relación **N** con respecto a densidad relativa de las arenas. Fuente: Terzaghi K. y Peck R., 1980.

N (para hundir 30 cm.)	Consistencia
2	Muy blanda
2 - 4	Blanda
4 - 8	Media
8 - 15	Rígida
15 - 30	Muy rígida
> 30	Dura

Figura A.13. Tabla de relación **N** con respecto a la consistencia de las arcillas. Fuente: Maña F., 1978.

En la tabla de la figura A.14. se indican las conclusiones obtenidas por Meyerhof sobre la densidad y el ángulo de rozamiento interno de las arenas.

Compacidad	N (SPT)	ϕ
Muy suelta	< 4	< 30
Suelta	4 - 10	30 - 35
Compacta	10 - 30	35 - 40
densa	30 - 50	40 - 45
Muy densa	> 50	> 45

Figura A.14. Relación entre N, densidad y ϕ para arenas (Maña F., 1978).

Los valores más bajos mencionados en la tabla anterior, corresponden a arenas uniformes, en cambio los valores altos a arenas bien graduadas. Cuando las arenas sean algo arcillosas, el valor inferior debe reducirse en un mínimo de 5° y cuando se trate de arenas mezcladas con gravas, el límite superior puede incrementarse en 5°.

Finalmente, Meyerhof relacionó la resistencia por punta del cono dinámico (holandés) y el número de golpes (N) del SPT, mediante la siguiente expresión:

$$R_p = n * N$$

donde:

R_p = resistencia por punta (kgs/cm²)

N = índice de penetración estándar SPT

n = valor de tabla según el tipo de suelo (figura A.15.)

n	Tipo de suelo
2,5	Limo arenoso
3,6	Arena y arena con gravas
4,0	Arena fina y arena limosa
4,8	Arena fina a media
8 - 18	Arena y grava
12 - 16	Grava arenosa

Figura A.15. Tabla de valor n según el tipo de suelo.

Fuente: Maña F., 1978.

Es necesario ser prudente en la aplicación de estos valores debido a que se han obtenido de ciertos tipos de suelos y no son extrapolables a otros.

A.2.3. Ensayo de cono dinámico (CPT). Este ensayo y sus resultados, están basados en los mismos principios del ensayo de penetración normal, pero los equipos usados son distintos, ya que en este caso, son mucho más simples, de fácil transporte e instalación.

Básicamente consta de un trípode metálico, una masa que cae gravitacionalmente y barras atornilladas a las que se les incorpora una punta cónica que penetra en el terreno ante la energía entregada por golpes de masa en caída libre.

Las dimensiones transversales de la punta son mayores que la de la varilla que la empuja y el rozamiento o adhesión entre ésta y el terreno no existe, o al menos, está muy disminuído, por ello se admite que la resistencia media corresponde sólo a la punta. Esta diferencia de secciones hace imposible extraer la varilla con la punta después del ensayo, por ello la varilla va sólo acoplada en la punta y al tirarla se desprende quedando la punta cónica perdida dentro del terreno.

Al igual que para el SPT, el índice de penetración **N** (CPT) se obtiene contando el número de golpes necesarios para penetrar 30 centímetros el cono en el terreno.

A.3. IDENTIFICACION VISUAL.

La identificación visual, es el reconocimiento preliminar del suelo sin necesidad de empleo de equipos o ensayos de laboratorio, los cuales más tarde nos darán una confirmación y permitirán ampliar la información obtenida en terreno.

Esta identificación es una etapa previa para el estudio de Mecánica de Suelos, de ahí su gran importancia. A pesar de que los ensayos son muy simples de realizar, la identificación visual requiere de cierta experiencia para poder diferenciar los distintos tipos de suelos. Los términos usados para designar a los tipos de suelos son: grava, arena, limo y arcilla; pero es sabido que los suelos naturales generalmente son una mezcla de dos o más de éstos y muchos contienen una cantidad de materia orgánica en un estado de descomposición parcial o total. Sin embargo, es posible discernir el componente predominante y asimilar las muestras a un grupo y los demás constituyentes del suelo se indican como adjetivos. Así, una arcilla limosa tiene las propiedades de una arcilla, pero contiene una cantidad importante de limo; un limo orgánico está compuesto prioritariamente por limo, pero contiene una cantidad significativa de materia orgánica.

Se conoce como suelos granulares a las arenas y a las gravas, y como suelos finos a las arcillas y limos. Esta distinción está basada en la visibilidad o no, a simple vista de las partículas individuales del suelo en cuestión. En laboratorio, la diferencia entre suelo fino y grueso, está normalizada y se consideran suelos finos los que pasan por la malla N° 200 ASTM (0.074 mm.).

A.3.1. Identificación y descripción de suelos finos. Para conocer si un suelo fino es limo o arcilla, se recurre a dos experiencias sencillas: el ensayo de sacudimiento ó dilatancia y el de amasado.

- Ensayo de sacudimiento o dilatancia. Para esta experiencia se toman unos 5 cc. de suelo al que se le agrega agua hasta formar una bolita de suelo, la que debe contener una humedad tal que el agua casi aparezca en la superficie. Luego se coloca en la palma de la mano y se sacude horizontalmente golpeándola en forma reiterada y fuerte contra la otra mano.

Se dice que el suelo tiene reacción rápida al sacudimiento cuando la pasta cambia de forma y muestra el agua en su superficie con unos pocos golpes, en este caso se puede asegurar que se trata de un limo. Si la reacción del suelo es muy lenta o no hay reacción, es decir, no hay cambio de forma en la pasta de suelo y el tiempo necesario para que el agua brille en la superficie del suelo es mucho mayor, se puede concluir que se trata de una arcilla.



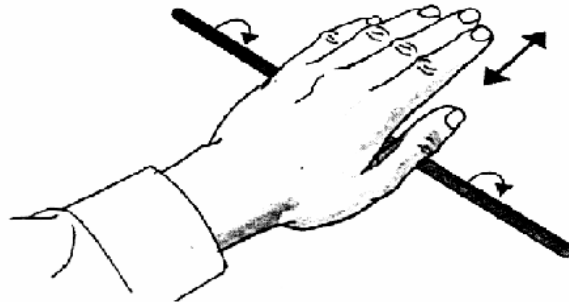
Figura
sacudimiento.

A.16. Prueba de

Reacciones intermedias dejan una interrogante para identificar el suelo y por ello es necesario recurrir a un ensayo de amasado para despejar la interrogante. Sin embargo, en el caso en que el tipo de suelo fino se pueda definir sólo con el ensayo de sacudimiento, es siempre conveniente continuar con el ensayo de amasado que se enuncia a continuación.

- Ensayo de amasado o de tenacidad. Para realizar este ensayo se toma la pasta usada en el ensayo de sacudimiento y se amasa entre las manos, formando un tipo de bastón que decrece en diámetro. Cuando este elemento alcance un diámetro de aproximadamente 3 mm., se reconstituye la bolita y se amasa nuevamente, formando el bastón con las características dadas anteriormente, lo que se repite hasta que este bastón se rompa en varias partes al ser amasado (figura A.17.).

En los ciclos finales la bolita se debe oprimir fuertemente entre los dedos, debido a la pérdida de humedad que sufre la pasta de suelo al ser amasada en forma reiterada.



Prueba de tenacidad.

Figura A.17.

Durante el ensayo se deben observar las características del suelo analizado.

- Resistencia que opone el suelo al amasado cuando está cerca de las condiciones de ruptura descritas: una arcilla opone mucha resistencia al amasado, en cambio un limo opone una baja resistencia.

- Plasticidad: durante el amasado el suelo está constantemente perdiendo humedad y durante todo el proceso de amasado, el suelo se comporta plásticamente, pero deja de hacerlo una vez que alcanza la humedad que tiene el bastón al romperse.
- Brillo: cuando se alcanza la rotura del bastón de suelo, se pueden unir sus partes al oprimirlas entre sí fuertemente con los dedos, se frota entonces el suelo contra la uña observando si éste se produce en la superficie frotada (las arcillas presentan una superficie brillante que va en aumento según el crecimiento de la plasticidad, es decir, es más brillante si la arcilla es más plástica).

A.3.2. Identificación y descripción de suelos granulares. En comparación a los suelos finos, los suelos granulares son más fáciles de identificar. En terreno se considera un tamaño de 5 mm. para separar las gravas de las arenas.

Las gravas pueden separarse en gruesas (80 mm. a 20 mm.) y finas (20 mm. a 5 mm.). En laboratorio las arenas pueden separarse en arenas gruesas, medias y finas, según sea su tamaño dominante.

- Arenas gruesas. Entre la malla N° 4 ASTM (4,76 mm.) y la malla N° 10 ASTM (2 mm.).
- Arenas medias. Entre la malla N° 10 ASTM y la malla N° 40 ASTM (0,42 mm.).
- Arenas finas. Entre la malla N° 40 ASTM y la malla N° 200 ASTM (0,074 mm.).

En la descripción de un suelo granular se deben incluir ciertas características particulares de importancia, las cuales van a influir en el comportamiento de éste.

- Suelo predominante (grava arenosa, arena con grava, etc.).
- Porcentaje estimado de bolones (este porcentaje junto con el tamaño de los bolones debe ser estimado, de ser posible, en el pozo de reconocimiento y no en la muestra obtenida).
- Tamaño máximo de las gravas o bolones en pulgadas.
- Tamaño de los granos dominantes (para los suelos pobremente graduados, es decir, que no tienen una buena distribución de tamaños, se debe indicar si las arenas son gruesas, medias o finas, al igual que las gravas si son gruesas o finas, aunque para esto se requiere de cierta experiencia).
- Forma de los granos (deben emplearse términos como: redondeados, sub-redondeados, angulares y sub-angulares (figura A.18.)).

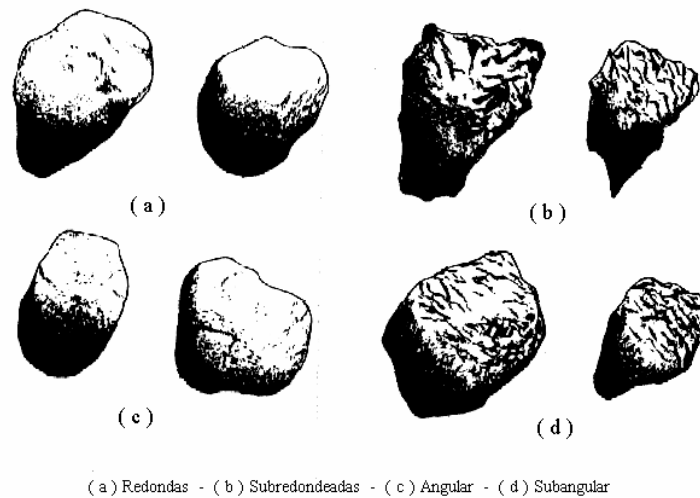


Figura A.18. Forma de las partículas.

Fuente: Geotecnia LNV, 1993.

- Porcentaje de finos (es siempre conveniente dar rangos del contenido de finos que posee el suelo).
- Estado de las partículas (si el mineral constituyente de los granos no es sano y está en estado de alteración, las partículas pueden romperse entre las manos).
- Plasticidad de los finos (este dato puede ser entregado de acuerdo a los procedimientos indicados en la identificación de suelos finos).

A.3.3. Descripciones comunes en suelos finos y granulares. Las características que a continuación se señalan, deben acompañar a la descripción de un suelo, además de las indicadas anteriormente para suelos granulares.

- Tamaño. Los suelos gruesos en que más de la mitad de las partículas son visibles. En la estimación se excluyen las partículas mayores a 80 mm. (3"). Este porcentaje debe estimarse visualmente y debe ser independiente del material inferior a 80 mm.

La fracción gruesa comprende los tamaños de gravas y arenas y la fracción fina limos y arcillas. En caso de suelos mixtos, la muestra se identifica sobre la base de la fracción predominante usando los adjetivos que se señalan para la fracción menos representativa:

- Indicios	:	0 - 10%	
- Poco	:		10 - 20%
- Algo	:		20 - 35%
- Abundante	:	35 - 50%	

- Olor. Las muestras recientes de suelos orgánicos tienen un olor característico de materias orgánicas descompuestas que ayudan a su identificación. Este olor puede hacerse manifiesto cuando es calentada una muestra húmeda. No es necesario indicar que un suelo no posee olor.
- Color. La variación de humedad varía el color de un suelo, por lo que se debe indicar el color predominante in situ (colores muy oscuros son indicación de contenidos orgánicos. Por el contrario colores claros indican por lo general suelos inorgánicos).
- Humedad. Debe indicarse el estado de humedad, es decir, seco, húmedo, muy húmedo, saturado, etc.
- Estructura. Si el material presenta capas alternadas de varios tipos ó colores se denominará estratificado; si las capas o colores son delgadas menores a 6 mm. será laminado; si presenta grietas definidas se llamará laminar; si presenta inclusión de suelos de textura diferente se llamará lenticular; si hay presencia de agujeros de raíces o de aberturas porosas se llamará vesicular; etc.
- Cementación. Algunos suelos muestran evidencia definida de cementación en estado inalterado, si así fuera, debe destacarse e indicar el grado de cementación (débil o fuerte). Se deberá verificar con ácido clorhídrico si es debida a carbonatos y su intensidad debe definirse como ninguna, débil o fuerte.
- Clasificación. Se debe indicar la clasificación probable. Pueden usarse clasificaciones dobles cuando un suelo no pertenece claramente a uno de los grupos, pero tiene fuertes características de ambos grupos. Debe indicarse entre paréntesis para indicar que han sido estimadas.
- Densificación. Es el estado de densificación o firmeza que tiene el suelo en terreno. Para suelos granulares se habla de compacidad y existen estados densos, medios y sueltos. Para suelos finos se habla de consistencia y sus estados se conocen como firmes, medios y blandos. En la tabla de la figura A.19. se indica la clasificación del suelo según su consistencia.

Consistencia	Valor estimado de cohesión (c) Kgs/cm ²	Apreciación en terreno
Muy blanda	< 0,10	Fluye entre los dedos
Blanda	0,10 a 0,25	Moldeable con presión suave
Media	0,25 a 0,50	Moldeable con presión fuerte
Firme	0,50 a 1,00	Ahuellable con la yema del dedo
Dura	1,00 a 2,00	Marcable sólo con la uña
Tenaz	> 2,00	No se puede marcar con la uña

Figura A.19. Tabla de clasificación del suelo según su consistencia.

Fuente: Dujisin D., 1974.

- Nombre local: el uso de nombres típicos como caliche, maicillo, pumucita, cancagua, etc., además de su designación según el sistema de clasificación de suelo, ayuda a identificar sus condiciones naturales.
- **Observaciones.**
 - Para suelos finos la resistencia del suelo seco, que es realizada con las manos sobre un trozo de suelo, nos entrega una información adicional para su identificación. Se puede decir que resistencias bajas corresponden a limos y resistencias altas corresponden a arcillas.
 - Un suelo granular es reconocido como:
 - bien graduado, si tiene una buena distribución de tamaños,
 - pobremente graduado, si faltan tamaños intermedios o
 - uniforme, si todos los granos tienen un tamaño muy igual.
 - **Modelos de descripción de suelos.** Los modelos de descripción de suelos deben ser directos y breves, a continuación se dan algunos ejemplos breves:
 - Arena fina limpia y uniforme, de color gris claro, de cantos redondeados, compacidad media a densa, bastante seca.
 - Arena limosa con bastante grava, de color café grisáceo; grava de cantos angulares y tamaño máximo de 1/2"; arena de cantos redondeados y sub-angulares; los finos de 10 a 15% son limos de baja resistencia para la probeta seca, sin plasticidad; densa y húmeda en estado no perturbado.
 - Limo orgánico de mediana plasticidad, de color gris negruzco, de consistencia media a firme y ruptura frágil en estado no perturbado muy blanda y adherente (pegajosa) en estado remoldeado, húmedo.
 - Arcilla de alta plasticidad, de color amarillo claro, de consistencia media a blanda en estado inalterado, blanda y adherente cuando está remoldeada.

