



3. Pérdida de suelo

3.1 Tipos de suelos

Dada la complejidad y prácticamente la infinita variedad con que los suelos se presentan en la naturaleza, cualquier intento de sistematización científica, debe ir precedido por otro de clasificación completa. La mecánica de suelos desarrolló éstos sistemas de clasificación desde un principio. Primeramente, dado el escaso conocimiento que sobre los suelos se tenía, fundándose en criterios puramente descriptivos; nacieron así varios sistemas, de los cuales, los basados en las características granulométricas, ganaron popularidad rápidamente. Es evidente que un sistema de clasificación que pretenda cubrir hoy las necesidades correspondientes, debe estar basado en las propiedades mecánicas de los suelos, por ser éstas lo fundamental para las aplicaciones ingenieriles.

A la vez esta base debe ser preponderantemente cualitativa, puesto que un sistema que incluyese relaciones cuantitativas y de detalle respecto a las propiedades mecánicas resultaría, sin duda, excesivamente complicado y de engorrosa aplicación práctica; además, un sistema útil de clasificación debe servir para normar el criterio del técnico para que sepa en qué dirección profundizar su investigación.

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos está basado en el de Aeropuertos, hasta el grado que puede decirse que es el mismo con ligeras modificaciones. El sistema cubre los sistemas gruesos y finos, distinguiendo ambos por el cribado a través de la malla 200; las partículas gruesas son mayores que dicha malla y las finas, menores. Un suelo se considera grueso si más del 50% de sus partículas, en peso, son finas.

A continuación se describirá la clasificación de suelos.

3.1.1 Suelos Gruesos

El símbolo de cada grupo está formado por dos letras mayúsculas, las que son las iniciales de los nombres ingleses de los suelos más típicos de de grupo.

a) Gravas y suelos en que predominen éstas. Símbolo genérico G (gravel).





b) Arenas y suelos arenosos. Símbolo genérico **S** (sand).

Las gravas y las arenas se separan con la malla No. 4, de manera que un suelo pertenece al grupo genérico **G**, si más del 50% de su fracción gruesa (retenida en la malla 200) no pasa la malla No. 4, y es del grupo genérico **S**, en caso contrario.

Las gravas y las arenas se subdividen en 4 tipos:

1. Material prácticamente limpio de finos, bien graduado. Símbolo **W** (*well graded*). En combinación con los símbolos genéricos, se obtienen los grupos **GW** y **SW**.

2. Material prácticamente limpio de finos, mal graduado. Símbolo **P** (*poorly graded*). En combinación con los símbolos genéricos da lugar a los grupos **GM** y **SP**.

3. Material con cantidad apreciable de finos no plásticos. Símbolo **M** (del sueco *mo* y *mjala*). En combinación con los símbolos genéricos, da lugar a los grupos **GM** y **SM**.

4. Material con cantidad apreciable de finos plásticos. Símbolo **C** (*clay*). En combinación con los símbolos genéricos, da lugar a los grupos **GC** y **SC**.

A) Grupos GW y SW

Según se dijo, estos suelos son bien graduados y con pocos finos o limpios por completo. La presencia de los finos que pueden contener estos grupos no debe producir cambios apreciables en las características de resistencia de la fracción gruesa, ni interferir con su capacidad de drenaje. Los anteriores requisitos se garantizan en la práctica, especificando que en estos grupos el contenido de partículas finas no sea mayor de un 5%, de peso. Para considerar una grava bien graduada se exige que su coeficiente de uniformidad sea mayor que 4, mientras el de curvatura debe estar comprendido entre 1 y 3. En el caso de las arenas bien graduadas, el coeficiente de uniformidad será mayor que 6, en tanto el de curvatura debe estar entre los mismos límites anteriores.





B) Grupos **GM** y **SP**

Estos suelos son mal graduados; es decir, son de apariencia uniforme o presentan predominio de un tamaño o de un margen de tamaños, faltando algunos intermedios; en laboratorio, deben satisfacer los requisitos señalados para los dos grupos anteriores en lo referente a su contenido de partículas finas, pero no cumplen los requisitos de graduación indicados para su consideración como bien graduados. Dentro de éstos grupos están comprendidas las gravas uniformes, tales como las que se depositan en los lechos de los ríos, las arenas uniformes, de médanos y playas y las mezclas de gravas y arenas finas, provenientes de estratos diferentes obtenidas durante un proceso de excavación.

C) Grupos **GC** y **SC**

Como antes, el contenido de finos de estos grupos de suelo debe ser mayor que 12%, en peso, y por las mismas razones expuestas para los grupos **GM** y **SM**. Sin embargo, en estos casos, los finos son de media a alta plasticidad; es ahora requisito que los límites de plasticidad sitúen a la fracción que pase la malla No. 40 sobre la línea A, teniéndose, además, la condición de que el índice plástico sea mayor que 7.

A los suelos gruesos con contenido de finos comprendido entre 5% y 12%, en peso, el Sistema Unificado los considera casos de frontera, adjudicándoles un símbolo doble. Por ejemplo el símbolo doble **GP-GC** indica una grava mal graduada, con un contenido entre 5% y 12% de finos plásticos (arcillosos).

Cuando un material no cae claramente dentro de un grupo, deberán usarse también símbolos dobles, correspondientes a casos de frontera. Por ejemplo, el símbolo **GW-SW** se usará para un material bien graduado, con menos de 5% de finos y formada su fracción gruesa por iguales proporciones de grava y arena.

También en este caso el Sistema considera a los suelos agrupados, formándose el símbolo de cada grupo por dos letras mayúsculas, elegidas





con un criterio similar al usado para los suelos gruesos, y dando lugar a las siguientes divisiones:

- ✓ Limos inorgánicos, de símbolo genérico **M**.
- ✓ Arcillas inorgánicas, de símbolo genérico **C**.
- ✓ Limos y arcillas orgánicas, de símbolo genérico **O**.

Cada uno de estos tres tipos de suelos se subdividen, según su límite líquido, en dos grupos. Si éste es menor de 50%, es decir, si son suelos de compresibilidad baja o media, se añade al símbolo genérico la letra **L** (low compresibility), obteniéndose por esta combinación los grupos **ML**, **CL**, y **OL**. Los suelos finos con límite líquido mayor de 50%, o sea de alta compresibilidad, llevan tras el símbolo genérico la letra **H**, teniéndose así los grupos **MH**, **CH** y **OH**.

Nótese que las letras **L** y **H** no se refieren a baja o alta plasticidad, pues esta propiedad del suelo, como se ha dicho, se debe expresar en función de dos parámetros (**LL** e **I_p**), mientras que en caso actual solo el valor del límite líquido interviene. Por otra parte, la compresibilidad de un suelo es mayor con respecto a mayor límite líquido.

También es preciso tener en cuenta que el término de compresibilidad tal como aquí se trata, se refiere a la pendiente del tramo virgen de la curva de compresibilidad y no a la condición actual del suelo inalterado, pues éste puede estar seco parcialmente o preconsolidado. Los suelos altamente orgánicos, usualmente fibrosos, tales como turbas y suelos pantanosos, extremadamente compresibles forman un grupo independiente de símbolos **Pt**.

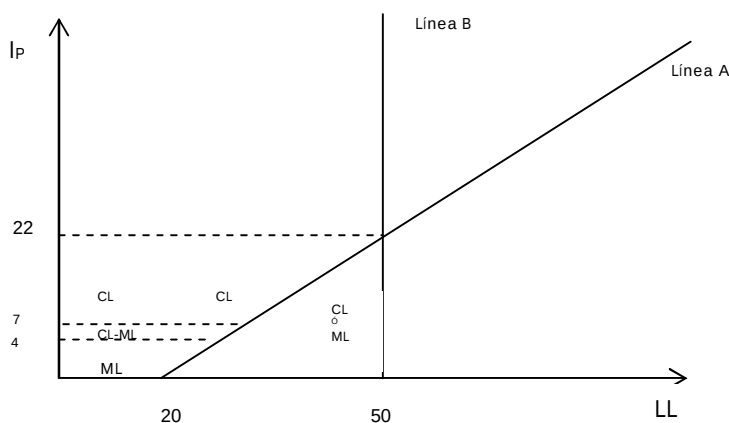


Figura 3.1 Carta de plasticidad actualizada.





El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos introdujo una modificación en la Carta de Plasticidad, tal como se mostró en la figura anterior. La modificación se refiere a los suelos arriba a la Línea A con índice plástico comprendido entre 4 y 7, y cambia la clasificación de los suelos que caen en la zona punteada de la figura 3.1.

D) Grupos **CL** y **CH**

En este grupo se encasillan las arcillas inorgánicas. El grupo **CL** comprende a la zona sobre la Línea A, definida por $LL < 50\%$ e $I_p > 7\%$.

El grupo **CH** corresponde a la zona arriba de la Línea A, definida por $LL > 50\%$. Las arcillas formadas por descomposición química de cenizas volcánicas, tales como la bentonita o la arcilla del Valle de México, con límites líquidos de hasta 500%, se encasillan en el grupo **CH**.

E) Grupos **ML** y **MH**

El grupo **ML** corresponde a la zona bajo la línea A, definida por $LL < 50\%$ y la porción sobre la línea A con $I_p < 4$. El grupo **MH** corresponde a la zona debajo de la línea A definida por $LL > 50\%$.

En estos grupos quedan comprendidos los limos típicos inorgánicos y limos arcillosos. Los tipos comunes de limos inorgánicos y polvo de roca, con $LL < 30\%$, se localizan en el grupo **ML**. Los depósitos eólicos, del tipo de Loess, con $25\% < LL < 35\%$ usualmente, caen también en este grupo.

Un tipo interesante de suelos finos que caen en esta zona son las arcillas del tipo caolín, derivados de los feldespatos de rocas graníticas; a pesar de que el nombre de arcillas está muy difundido para estos suelos, algunas de sus características corresponden a limos inorgánicos; por ejemplo su resistencia en estado seco es relativamente baja y en estado húmedo muestran cierta reacción a la prueba de dilatancia; sin embargo, son suelos finos y suaves con un alto porcentaje de partículas de tamaño de arcilla, comparable con el de otras arcillas típicas, localizadas arriba de la línea A. En algunas ocasiones estas arcillas caen en casos de frontera **ML-CL** y **MH-CH**, dada su proximidad con dicha línea.





Las tierras diatomáceas prácticamente puras suelen no ser plásticas, por más que su límite líquido pueda ser mayor que 100% (**MH**). Sus mezclas con otros suelos de partículas finas son también de los grupos **ML** o **MH**.

Los suelos finos que caen sobre la línea A y con $4\% < I_p < 7\%$ se consideran como casos de frontera, asignándoles el símbolo doble **CL-ML**.

F) Grupos **OL** y **OH**

Las zonas correspondientes a estos dos grupos son las mismas que las de los grupos **ML** y **MH**, respectivamente, si bien los orgánicos están siempre en lugares próximos a la línea A.

Además una pequeña adición de materia orgánica es la misma que las de los grupos **ML** y **MH**, respectivamente.

G) Grupos **Pt**

Las pruebas de límites pueden ejecutarse en la mayoría de los suelos turbosos, después de un completo remoldeo. El límite líquido de estos suelos suele estar entre 300% y 500%, quedando su posición en la Carta de Plasticidad netamente debajo de la línea A; el índice plástico normalmente varía entre 100% y 200%.

Similarmente al caso de los suelos gruesos, cuando un material fino no cae claramente en uno de los grupos, se usarán para él símbolos dobles de frontera. Por ejemplo, **MH-CH** representará un suelo fino con $LL > 50\%$ e índice plástico tal que el material quede situado prácticamente sobre la línea A.

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos no se concreta a ubicar al material dentro de uno de los grupos enumerados, sino que abarca, además, una descripción del mismo, tanto alterado como inalterado. Esta descripción puede jugar un papel importante en la formación de un sano criterio técnico y, en ocasiones, puede resultar de fundamental importancia para poner de manifiesto características que escapan a la mecánica de las pruebas que se realizan. Un ejemplo típico de ello es la compacidad.

En los suelos gruesos, en general, deben proporcionarse los siguientes datos: nombre típico, porcentajes aproximados de grava y arena, tamaño máximo de las partículas, angulosidad y dureza de las mismas,





características de su superficie, nombre local y geológico y cualquier otra información pertinente, de acuerdo con la aplicación ingenieril que se va a hacer del material.

En suelos gruesos en estado inalterado, se añadirán datos sobre la estratificación, compacidad, cementación, condiciones de humedad y características de drenaje.

En los suelos finos, se proporcionarán, en general, los siguientes datos: nombre típico, grado y carácter de su plasticidad, cantidad y tamaño máximo de las partículas gruesas, color del suelo húmedo, olor, nombre local y geológico y cualquier otra información descriptiva pertinente, de acuerdo con la aplicación que se vaya a hacer del material.

Con respecto al suelo en estado inalterado, deberá agregarse información relativa a su estructura, estratificación, consistencia en los estados inalterado y remodelado, condiciones de humedad y características de drenaje.

3.2 Identificación de suelos

El identificar un suelo es, en rigor, agruparlo dentro de un sistema previo de clasificación. La identificación permite conocer, en forma cualitativa, las propiedades mecánicas e hidráulicas del suelo, atribuyéndole las del grupo en que se sitúe.

En el Sistema Unificado hay criterios para clasificación de suelos en el laboratorio; en aquellos casos que no se disponga de equipo de laboratorio para efectuar las pruebas necesarias para una identificación estricta.

3.2.1 Identificación de campo de suelos gruesos

Los materiales constituidos por partículas gruesas se identifican en el campo sobre una base prácticamente visual. Extendiendo una muestra seca del suelo sobre una superficie plana puede juzgarse, en forma aproximada, su graduación, tamaño de partículas, forma y composición mineralógica. Para distinguir las gravas de las arenas puede usarse el tamaño $\frac{1}{2}$ cm como equivalente a la malla No. 4, y para la estimación del contenido de finos





basta considerar que las partículas de tamaño correspondiente a la malla No. 200 son aproximadamente las más pequeñas que pueden distinguirse a simple vista.

En lo referente a la graduación del material, se requiere bastante experiencia para diferenciar, en examen visual, los suelos bien graduados de los mal graduados. Esta experiencia se obtiene comparando graduaciones estimadas, con las obtenidas en el laboratorio, en todos los casos en que se tenga oportunidad. Para examinar la fracción fina contenida en el suelo, deberán ejecutarse las pruebas de identificación de campo de suelos finos que se detallarán adelante, sobre la parte que pase la malla No. 40; si no se dispone de esta malla, el cribado puede sustituirse por una separación manual equivalente.

En ocasiones puede ser importante juzgar de la integridad de las partículas constituyentes de los suelos, en cuyo caso será preciso un examen especialmente cuidadoso. Las partículas procedentes de rocas ígneas sanas se identifican fácilmente; las partículas intemperizadas se reconocen por las decoloraciones y la relativa facilidad con que se desintegran.

3.2.2 Identificación de campo de suelos finos

Una de las grandes ventajas del Sistema Unificado es, como se dijo, el criterio para identificar en el campo los suelos finos. Las principales bases de criterio para identificar suelos finos en el campo son la investigación de las características de dilatación, de tenacidad y de resistencia en estado seco. El color y el olor del suelo pueden ayudar, especialmente en suelos orgánicos.

El conjunto de pruebas citadas se efectúa en una muestra de suelo previamente cribado por la malla No. 40 o, en ausencia de ella, previamente sometido a un proceso manual equivalente.

3.2.2.1 Consistencia

En esta prueba, una muestra con el contenido de agua necesario para que el suelo adquiera una consistencia suave, pero no pegajosa, se manipula alternativamente en la palma de la mano, golpeándola secamente contra la otra mano, manteniéndola apretada entre los dedos. Un suelo fino, no plástico, adquiere una apariencia de “hígado”, mostrando agua libre en su





superficie, mientras se le agita, en tanto que al ser apretado entre dedos, el agua superficial desaparece y la muestra se endurece, hasta que finalmente, empieza a desmoronarse como un material frágil, al aumentar la presión. Si el contenido de agua de la muestra es el adecuado, una nueva manipulación dará que los fragmentos producto del desmoronamiento vuelvan a constituirse.

La velocidad con la que la muestra cambia su consistencia y con la que el agua aparece y desaparece define la intensidad de la reacción indicando el carácter de los finos del suelo. Una reacción rápida es típica en arenas finas uniformes, no plásticas (**SP** y **SM**) y en algunos limos inorgánicos (**ML**), particularmente el tipo polvo de roca; también en tierras diatómicas (**MH**). Al disminuir la uniformidad del suelo, la acción se hace menos rápida. Contenidos ligeros de arcilla coloidal aportan algo de plasticidad al suelo, por lo que la reacción en estos materiales se vuelve más lenta; esto sucede en los limos inorgánicos y orgánicos ligeramente plásticos (**ML**, **OL**), en arcillas muy limosas (**CL-ML**) y en muchas arcillas del tipo caolín (**ML**, **ML-CL**, **MH** y **MH-CH**). Una reacción extremadamente lenta o nula es típica de arcillas situadas sobre la línea A (**CL**, **CH**) y de arcillas orgánicas de alta plasticidad (**OH**).

El fenómeno de aparición de agua en la superficie de la muestra es debido a la compactación de los suelos limosos y, aún en mayor grado, de los arenosos, bajo la acción dinámica de los impactos contra la mano; esto reduce la relación de vacíos del material; expulsando el agua de ellos. El amasado posterior aumenta de nuevo la relación de vacíos del material, expulsando el agua de ellos. El amasado posterior aumenta de nuevo la relación de vacíos y el agua se restituye a esos vacíos. Los suelos arcillosos no sufren esos efectos bajo cargas dinámicas, por lo que no producen reacción.

3.2.2.2 Tenacidad

La prueba se realiza sobre un espécimen de consistencia suave, similar a la masilla. Este espécimen se rola hasta formar un rollito de unos 3 mm de diámetro aproximado, que se amasa y vuelve a rolar varias veces. Se observa cómo aumenta la rigidez del rollito a medida que el suelo se acerca al límite plástico. En suelos ligeramente sobre la línea A (**CL**, **CH**), es más rígido y tenaz el rollito cerca del límite plástico y más rígida también se





nota la muestra al romperse entre los dedos, abajo del límite plástico. En suelos ligeramente sobre la línea A, tales como arcillas glaciales (**CL, CH**) los rollitos son de media tenacidad cerca de su límite plástico y la muestra comienza pronto a desmoronarse en el amasado, al bajar su contenido de agua. Los suelos que caen bajo la línea A (**ML, MH, OL** y **OH**) producen rollitos poco tenaces cerca del límite plástico, casi sin excepción; en el caso de suelos orgánicos y micáceos, que caigan muy abajo de la línea A, los rollitos se muestran muy débiles y esponjosos. También en todos los suelos bajo la línea A, excepto los **OH** próximos a ella, la masa producto de la manipulación entre los dedos posterior al rolado, se muestra suelta y se desmorona fácilmente, cuando el contenido de agua es menor que el correspondiente al límite plástico.

Cuando se trabaje en lugares en que la humedad ambiente sea casi constante, el tiempo que transcurra hasta que se alcance el límite plástico, es una medida relativamente tosca del índice plástico de suelo.

3.2.2.3 Resistencia al estado seco

La resistencia de una muestra de suelo, previamente secado, al romperse bajo presiones ejercidas por los dedos, es un índice del carácter de su fracción coloidal.

Los limpios **ML** o **MH** exentos de plasticidad no presentan prácticamente ninguna resistencia en estado seco y sus muestras se desmoronan con muy poca presión digital; polvo de roca y la tierra diatomácea son ejemplos típicos. Una resistencia en estado seco baja es representativa de todos los suelos de baja plasticidad, localizados bajo la línea A y aun de algunas arcillas inorgánicas muy limosas, ligeramente sobre la línea A (**CL**). Resistencias medias definen generalmente arcillas de grupo **CL** o, en ocasiones, otras de los grupos **CH, MH**, (arcillas tipo caolín) u **OH**, que se localicen muy cerca de la línea A. La mayoría de las arcillas **CH** tienen resistencias altas, así como las **CL** localizadas muy arriba de la línea A, también exhiben grandes resistencias. Por último resistencias muy altas son típicas de arcillas inorgánicas del grupo **CH**, localizadas en posiciones muy elevadas respecto a la línea A.





3.2.2.4 Color

En exploraciones de campo el color del suelo suele ser un dato útil para diferenciar los estratos y para identificar tipos de suelo, cuando se posea experiencia local. En general, existen también algunos criterios relativos al color; por ejemplo, el color negro y otros de tonos oscuros suelen ser indicativos de la presencia de materia orgánica coloidal. Los colores claros y brillantes son propios, más bien, de suelos inorgánicos.

3.2.2.5 Olor

Los suelos orgánicos (**OH** y **OL**) tienen por lo general un olor distintivo, que puede usarse para identificación; el olor es particularmente intenso si el suelo está húmedo, y disminuye con la exposición al aire, aumentando, por el contrario, con el calentamiento de la muestra húmeda.

3.3 Carta de plasticidad y las propiedades físicas del suelo

Se ha mencionado que las propiedades físicas del suelo fino quedan cualitativamente definidas en forma aproximada a partir de la ubicación de ese suelo en la Carta de Plasticidad, la práctica de laboratorio ha indicado que la compresibilidad de los suelos, al igual carga de pre consolidación, es aproximadamente proporcional al límite líquido, de manera que dos suelos con el mismo límite líquido son similarmente compresibles. Al comparar las propiedades físicas de los suelos que tengan el mismo límite líquido, se encuentra que, creciendo el índice plástico, aumentan las características de tenacidad y resistencia en estado seco, en tanto que disminuye la permeabilidad. El comportamiento de los suelos, al variar sus características de plasticidad puede resumirse en la tabla 3.1.

Así al comparar las características de plasticidad de dos suelos, puede tenerse una estimación relativa de algunas de sus propiedades físicas.

En la tabla 3.1 se menciona la razón de la variación volumétrica, con respecto a la rapidez con la que los suelos cambian su volumen cuando varían las condiciones de esfuerzo al que están sometidos.

Una representación gráfica de los datos contenidos en la tabla 3.1, se muestra en la figura 3.2. En ellas se ve en forma clara la dirección de





variación de algunas propiedades de interés, tomando en cuenta tanto los cambios de límite líquido, como índice plástico de los suelos.

Características	Límite líquido constante, pero índice plástico creciente	Índice plástico constante, pero límite líquido creciente
Compresibilidad	Prácticamente la misma	Crece
Permeabilidad	Decrece	Crece
Razón de variación volumétrica	Decrece	-----
Tenacidad	Crece	Decrece
Resistencia en un estado seco	Crece	Decrece

Tabla 3.1. Comportamiento de los suelos con respecto a la plasticidad

3.4 Instrumentos y técnicas de medición

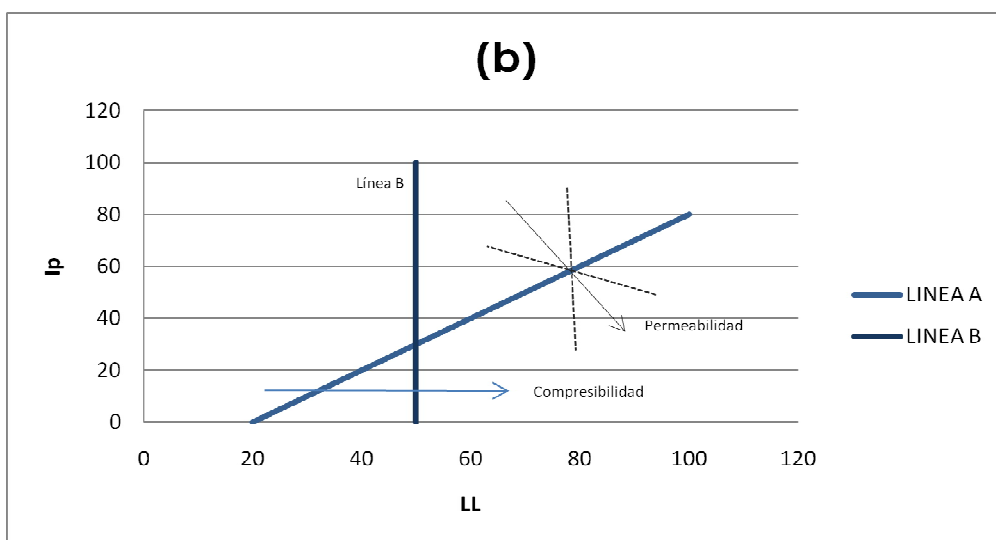
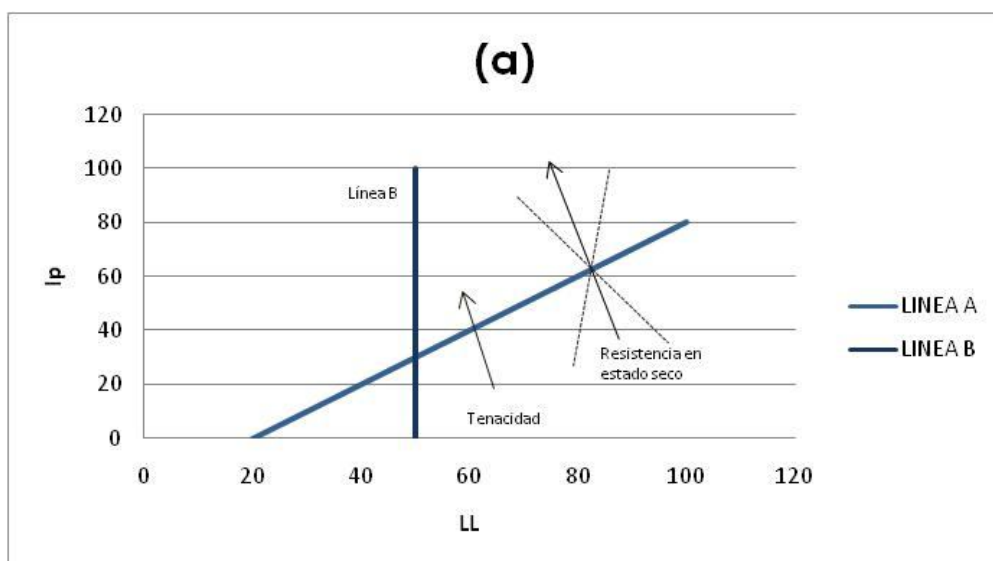
3.4.1 Tipos de sondeos

Los tipos principales de sondeos que se usan en mecánica de suelos para fines de muestreo y conocimiento del subsuelo, en general, son los siguientes:

- Pozos a cielo abierto con muestreo alterado o inalterado.
- Perforaciones con posteadora, barrenos helicoidales o métodos similares.
- Métodos de lavado.
- Método de penetración estándar.
- Métodos de penetración cónica.
- Perforaciones en boleos y gravas (con barretones, etc.)

A continuación se describirán los métodos.





Figuras 3.2. Dirección de variación de algunas propiedades físicas de los suelos en la Carta de Plasticidad.





a) Pozos a cielo abierto

Cuando este método sea practicable debe considerarse como el más satisfactorio para conocer las condiciones del subsuelo, ya que consiste en excavar un pozo de dimensiones suficientes para que un técnico pueda directamente bajar y examinar los diferentes estratos de suelo en su estado natural, así como darse cuenta de las condiciones precisas referentes al agua contenida en el suelo. Desgraciadamente estas excavaciones no pueden llevarse a grandes profundidades a causa, sobre todo, de la dificultad de controlar el flujo de agua bajo nivel freático; naturalmente que el tipo de suelo de los diferentes estratos atravesados también influye grandemente en los alcances del método en sí. La excavación se encarece mucho cuando son necesarios ademes y excesivos traspaleos a causa de la profundidad.

Debe cuidarse especialmente los criterios para distinguir la naturaleza del suelo "in situ" ya que la misma, se modifica por la excavación realizada. En efecto, una arcilla dura puede, con el tiempo, aparecer como suave y esponjosa a causa del flujo de agua hacia la trinchera de excavación; análogamente, una arena compacta puede presentarse como semifluida y suelta por el mismo motivo. Se recomienda que siempre se haga un pozo a cielo abierto se lleve un registro completo de las condiciones del subsuelo durante la excavación, hecho por un técnico conocedor.

Si se requiere ademe en el pozo puede usarse madera o acero; por lo regular, el ademe se hace con tablones horizontales, pero deberán ser verticales y bien hincados si se tuviesen suelos friccionantes situados bajo el nivel freático. En estos pozos se pueden tomar muestras alteradas o inalteradas de los diferentes estratos que se hayan encontrado. Las muestras alteradas son simplemente porciones de suelo que se protegerán contra pérdidas de humedad introduciéndolas en frascos o bolsas emparafinadas. Las muestras inalteradas deberán tomarse con precauciones, generalmente labrando la muestra en una oquedad que se practique al efecto en la pared del pozo. La muestra debe protegerse contra perdidas de humedad envolviéndola en una o más capas de manta debidamente impermeabilizada con brea y parafina.





b) Perforaciones con posteadora, barrenos helicoides o métodos similares

En estos sondeos exploratorios la muestra de suelo obtenida es completamente alterada, pero suele ser representativa del suelo en lo referente a contenido de agua, por lo menos en suelo muy plástico. La muestra se extrae con herramientas del tipo: barrenos helicoides y posteadora.

Los barrenos helicoides pueden ser de muy diferentes tipos no solo dependiendo del suelo por atacar, sino también de acuerdo con la preferencia particular de cada perforista. Un factor importante es el paso de la hélice que debe ser muy cerrado para suelos arenosos y mucho más abierto para el muestreo en suelos plásticos.

Posiblemente más usadas en México que los barrenos son las posteadoras, figura 3.3 b a las que se hace penetrar en el terreno ejerciendo un giro sobre el maneral adaptado al extremo superior de la tubería de perforación.

Las herramientas se conectan al extremo de una tubería de perforación, formadas por secciones de igual longitud, que se van añadiendo según aumenta la profundidad del sondeo.

En arenas colocadas bajo el nivel de aguas freáticas estas herramientas no suelen extraer muestras y en esos casos es preferible recurrir al uso de cucharas especiales, de las que también hay gran variedad de tipos. En la figura 3.4 aparecen esquemáticamente dos de las más comunes. Las muestras de cuchara son generalmente más alteradas todavía que las obtenidas por barrenos helicoidales y posteadoras; la razón es el efecto del agua que entra en la cuchara junto con el suelo, formando en el interior una seudosuspensión parcial del mismo. Es claro que en todos estos casos las muestras son cuando mucho apropiadas solamente para pruebas de clasificación y, en general, para aquellas pruebas que no requieren muestra inalterada.

El contenido de agua de las muestras de barreno suele ser mayor del real, por lo que el método no excluye la obtención de muestras más apropiadas, por lo menos cada vez que se alcanza un nuevo estrato.





Frecuentemente se hace necesario ademar el pozo de sondeo, lo cual se realiza con tubería de hierro, hincada a golpes, de diámetro suficiente para permitir el paso de las herramientas muestreadoras. En la parte inferior una zapata afilada facilita la penetración. A veces, la tubería tiene secciones de diámetros decrecientes, de modo que las secciones de menor diámetro vayan entrando en las de mayor. Los diferentes segmentos se retiran al final del trabajo usando gatos apropiados.

Para el manejo de los segmentos de tuberías de perforación y de ademe, en su caso, se usa un trípode provisto de una polea, a una altura que permita las manipulaciones necesarias. Los segmentos manejados se sujetan a través de una polea con “cable de manila” o cable metálico inclusive: los operadores pueden intervenir manualmente en las operaciones, guiando y sujetando los segmentos de tubería de perforación por medio de llaves de diseño especial propias para esas maniobras y para hacer expedita la operación del atornillado de los segmentos.

Un inconveniente serio de la perforación con barrenas se tiene cuando la secuencia estratigráfica del suelo es tal que a un estrato firme sigue blando. En estos casos es muy frecuente que se pierda la frontera entre ambos o aun la misma presencia del blando.

El error anterior tiende a atenuarse accionado el barreno helicoidal tan adelantado respecto al ademe como lo permita el suelo explorado.

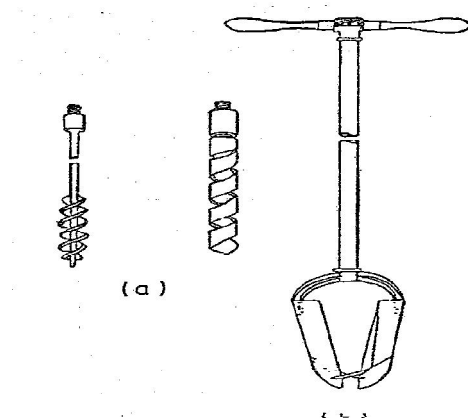


Figura 3.3. Herramientas para sondeos exploratorios por rotación
a) Barrenos helicoidales
b) Posteadora



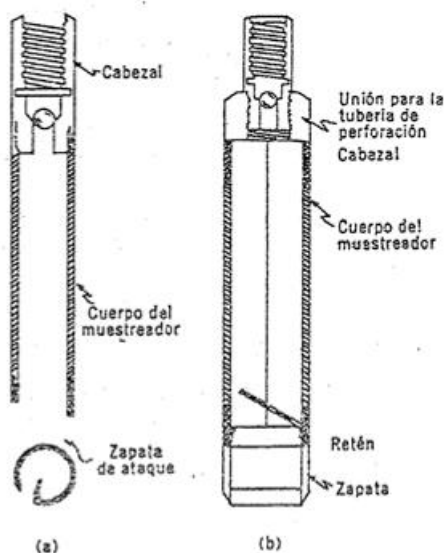


Figura 3.4 Tipos de cucharas muestradoras

c) Método de lavado

Este método constituye un procedimiento económico y rápido para conocer aproximadamente la estratigrafía del subsuelo (aun cuando la experiencia ha comprobado que pueden llegar a tenerse errores hasta de 1m al marcar la frontera entre diferentes estratos). El método se usa también en ocasiones como auxiliar de avance rápido en otros métodos de exploración. Las muestras obtenidas en lavado son tan alteradas que prácticamente no deben ser consideradas como suficientemente representativas para realizar ninguna prueba de laboratorio. El equipo necesario para realizar la perforación incluye un trípode con polea y martinete suspendido, de 80 a 150 kg de peso, cuya función es hincar en el suelo a golpes el ademe necesario para la operación. Este ademe debe ser de mayor diámetro que la tubería que vaya a usarse para la inyección del agua. En el extremo inferior de la tubería de inyección debe ir un trépano de acero, perforado, para permitir el paso del agua a presión. El agua se impulsa de la tubería por medio de una bomba.





La operación consiste en inyectar agua en la perforación, una vez hincado el ademe, la cual forma una suspensión con el suelo en el fondo del pozo y sale al exterior a través del espacio comprendido entre el ademe y la tubería de inyección; una vez fuera es recogida en un recipiente en el cual se puede analizar el sedimento. El procedimiento de ir complementando en todos los casos por un muestreo con una cuchara sacamuestras apropiada, colocada al extremo de la tubería en lugar del trépano; mientras las características del suelo no cambien será suficiente obtener una muestra cada 1.50 m aproximadamente, pero al notar un cambio en el agua eyectada debe procederse de inmediato a un nuevo muestreo. Al detener las operaciones para un muestreo debe permitirse que el agua alcance en el pozo un nivel de equilibrio, que corresponde al nivel freático (que debe registrarse). Cualquier alteración de dicho nivel que sea observada en los diferentes muestreos debe reportarse.

En la figura 3.5 aparece un esquema del equipo de perforación.

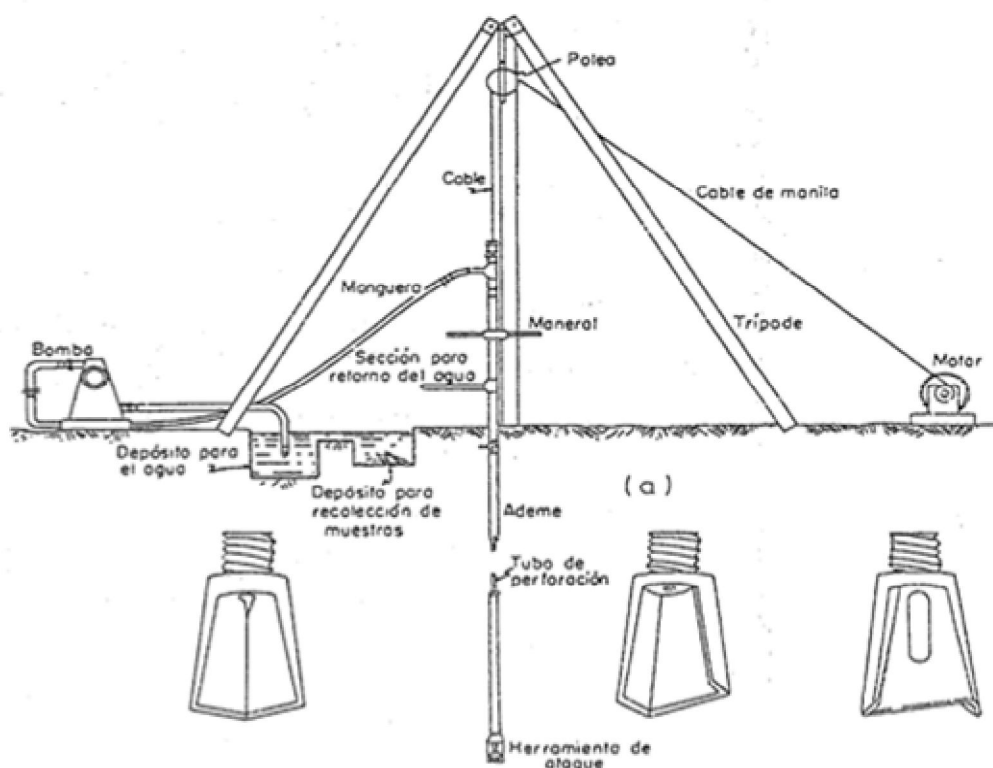


Figura 3.5. Dispositivo para el sondeo por lavado a) Conjunto, b) Barrenos de perforación.



En la figura 3.6 se muestran algunos de los modelos más usados de muestreadores que se colocan en el extremo inferior de la tubería de inyección a fin de obtener muestras representativas. Los tipos (a), (b) y (c) se introducen a golpes en el suelo y de ellos quizá el más común es el de media caña, así llamado por poder dividirse longitudinalmente para facilitar la extracción de la muestra. El muestreador de trampa de muelles tiene en su parte inferior unas hojas metálicas que dejan entrar la muestra en la cámara inferior, pero que dificultan su salida. El cucharón raspador (c), es de utilidad para el muestreo de arenas bajo el nivel freático y funciona, naturalmente, por rotación.

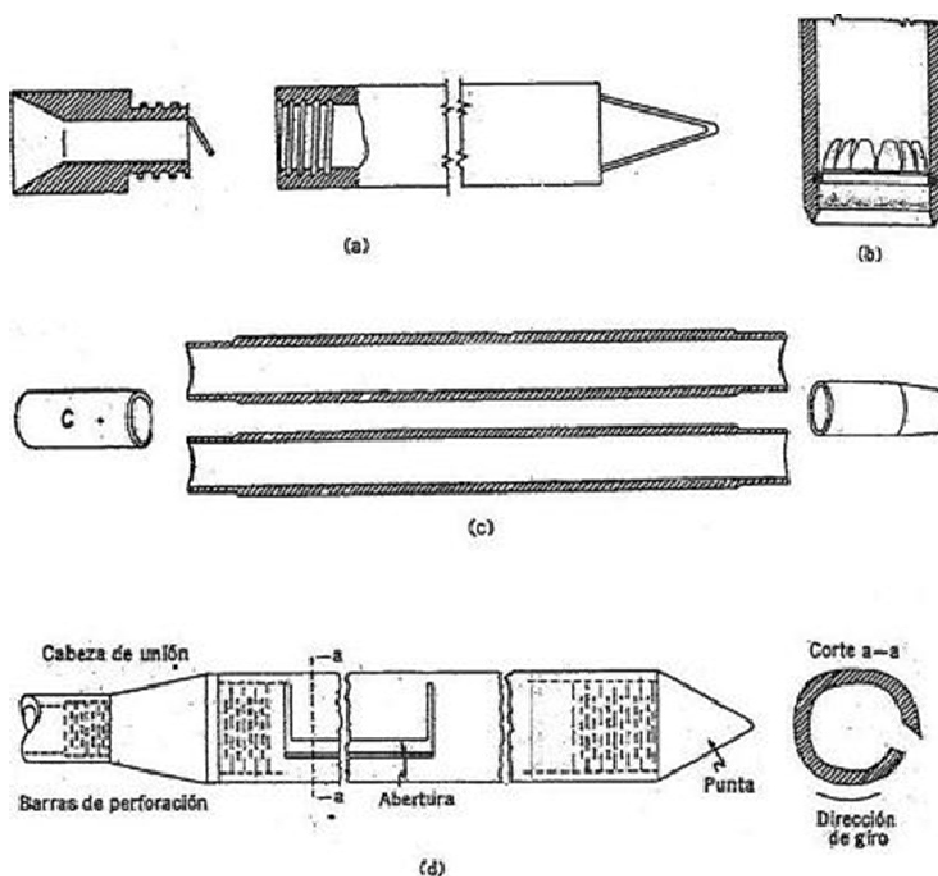


Figura 3.6 Tipos de muestreadores

d) Método de penetración estándar

Este procedimiento es, entre todos los procedimientos preliminares, quizá el que rinde mejores resultados en la práctica y proporciona una útil información en torno al subsuelo y no sólo en lo referente a descripción; probablemente es también el más ampliamente usado para esos fines en México.

En suelos puramente friccionantes la prueba permite conocer la compacidad de los mantos que, es la característica fundamental respecto a su comportamiento mecánico. En suelos plásticos la prueba permite adquirir una idea, si bien tosca, de la resistencia a la compresión simple. Además el método lleva implícito un muestreo, que proporciona muestras alteradas representativas del suelo en estudio.

El equipo necesario para aplicar el procedimiento consta de un muestrador especial (muestrador o penetrómetro estándar) de dimensiones establecidas, que aparece esquemáticamente en la figura 3.7.

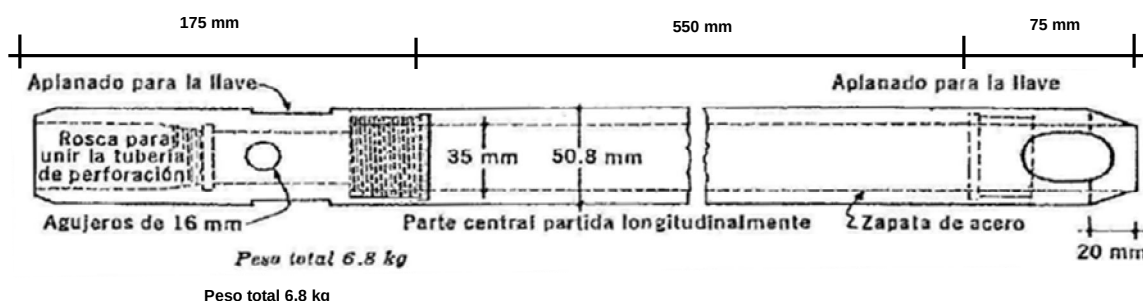


Figura 3.7 Penetrómetro Estándar

Es normal que el penetrómetro sea de media caña, para facilitar la extracción de la muestra que haya penetrado en su interior. El penetrómetro se enrosca al extremo de la tubería de perforación y la prueba consiste en hacerlo penetrar a golpes dados por un martinete de 63.5 g que cae desde 76 cm, contando el número de golpes necesario para lograr una penetración, en cada avance de 60 cm debe retirarse al penetrómetro, removiendo al suelo de su interior, el cual constituye la muestra.



El fondo del pozo debe ser previamente limpiado de manera cuidadosa, usando posteadora o cuchara del tipo de las mostradas en la figura 3.4.

Una vez limpio el pozo el muestreador se hace descender hasta tocar fondo y, seguidamente, a golpes, se hace que el penetrómetro entre 15 *cm* dentro del suelo. La utilidad e importancia mayor de la prueba de penetración estándar radican en las correlaciones realizadas en el campo y en el laboratorio en diversos suelos, sobre todo arenas, que permiten relacionar aproximadamente la compacidad, el ángulo de fricción interna, ϕ , en arenas y el valor de la resistencia a la compresión simple, q_u , en arcillas, con el número de golpes necesarios en ese suelo para que el penetrómetro estándar logre entrar los 20 *cm* especificados.

Para obtener estas relaciones es suficiente realizar la prueba estándar en estratos accesibles o de los que se puedan obtener muestras inalteradas confiables y a los que se pueda determinar los valores de los conceptos señalados por los métodos usuales de laboratorio; haciendo suficiente número de comparaciones pueden obtenerse correlaciones estadísticas dignas de confianza. En la práctica esto se ha logrado en los suelos friccionantes, para los que existen gráficas confiables y aplicables al trabajo práctico; en el caso de suelos arcillosos plásticos las correlaciones de la prueba estándar con q_u menos confiables. Al aumentar el número de golpes se tiene mayor compacidad relativa en la arena y, consecuentemente, mayor ángulo de fricción interna. También arenas limpias medianas o gruesas para el mismo número de golpes, se tiene un ϕ mayor que en arenas limpias finas o que en arenas limosas. La presión vertical no se toma en cuenta sobre el número de golpes.

El valor de q_u en kg/cm^2 se obtiene dividiendo entre 8 el número de golpes. Sin embargo cabe mencionar que las correlaciones solo deben usarse como norma de aproximación de criterio, pues los resultados prácticos han demostrado que pueden existir serias dispersiones y, por lo tanto, las resistencias obtenidas por este procedimiento no deben servir de base para el proyecto.



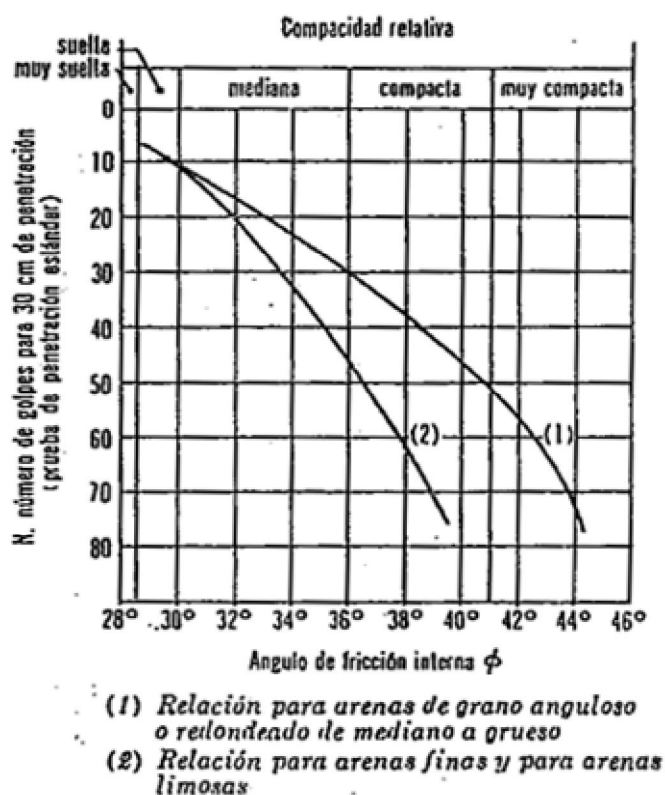


Figura 3.8 Correlación entre el número de golpes para 30 cm de penetración estándar y el ángulo de fricción interna de las arenas.

Consistencia	No. De golpes	Resistencia a la compresión simple q_u kg/cm^2
Muy blanda	<2	<0.25
Blanda	2-4	0.25-0.50
Media	4-8	0.50-1.0
Firme	8-15	1.0-2.0
Muy Firme	15-30	2.0-4.0
Dura	>30	>4.0

Tabla 3.2. Relación entre la penetración estándar, la presión vertical y la compacidad relativa para arenas.



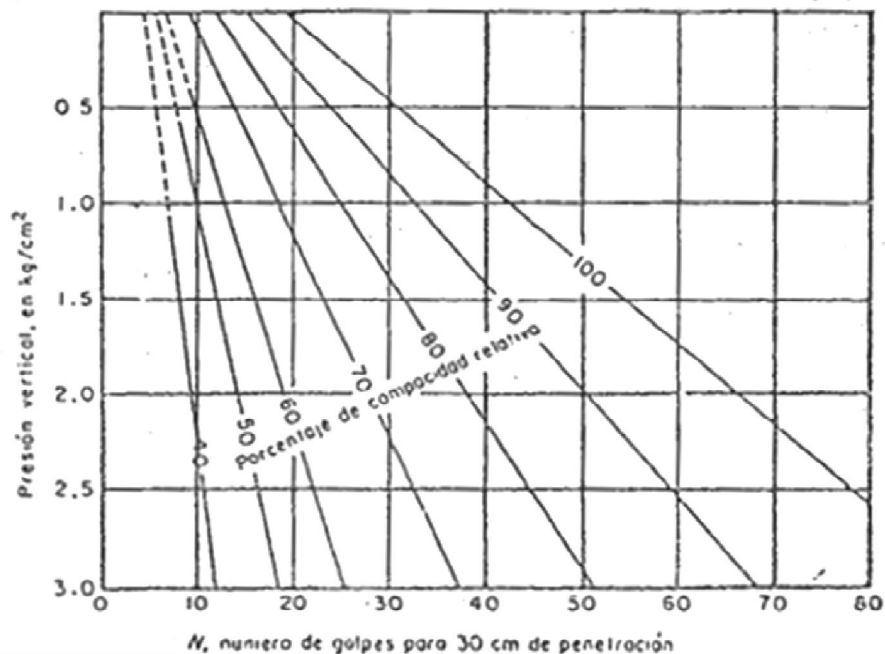


Figura 3.9. Relación entre la penetración estándar, la presión vertical y la compactación relativa para arenas.

e) Método de la penetración cónica

Estos métodos consisten en hacer penetrar una punta cónica en el suelo y medir la resistencia que el suelo ofrece. Existen diversos tipos de conos. Dependiendo del procedimiento para hincar los conos en el terreno, estos métodos se dividen en estáticos y dinámicos. En los primeros la herramienta se hince a presión, medida en la superficie con un gato apropiado; en los segundos el hincado se logra a golpes dados con peso que cae. En la prueba dinámica puede usarse un penetrómetro del tipo c) de la figura 3.10, atornillado al extremo de la tubería de perforación, que se golpea en su parte superior de un modo análogo al descrito para la prueba de penetración estándar. Es normal usar para esta labor un peso de 63.5 kg, con 76 cm de altura de caída, la misma energía para la penetración usada en la prueba estándar. También se cuentan los golpes para 30 cm de penetración de la herramienta.





La prueba se ha usado frecuentemente por dos razones: su economía y su rapidez, pues al no haber operaciones de muestreo, no existe dilación de la prueba estándar para retirar la tubería de perforación y obtener la muestra, cada vez que se efectúe la prueba. Si la prueba se hace sin ademe existe gran fricción lateral sobre la tubería de perforación, pero si se pone ademe se pierden las ventajas de la economía sobre la prueba estándar, por lo menos parcialmente.

La prueba dinámica de cono da en general un número de golpes del orden del doble del que se obtendría en prueba estándar, a condición, de que la energía aplicada al cono sea la correspondiente a la prueba estándar.

En arcillas, el uso de la penetración cónica dinámica adquiere caracteres aún más peligrosos potencialmente. Las pruebas de penetración estática de conos pueden hacerse usando herramientas tipo danés, holandés, para ensaye dinámico y de inyección. En general el cono se hinca aplicando presión estática a la parte superior de la tubería de perforación con un gato hidráulico, empleando un marco fijo de carga que puede estar sujeto al ademe necesario para proteger la tubería de perforación de la presión lateral. La velocidad de penetración suele ser constante y del orden de 1 *cm/seg*. A veces se obtiene una gráfica de presión aplicada contra penetración lograda con esa presión; otras veces se anotan contra la profundidad los valores de la presión que haya sido necesaria para lograr una cierta penetración.

A modo de resumen podría decirse que las pruebas de penetración cónica, estática o dinámica, son útiles en zonas cuya estratigrafía sea ampliamente conocida a priori y cuando se desee simplemente obtener información de sus características en un lugar específico; pero son pruebas de interpretación problemática en lugares no explorados a fondo previamente.



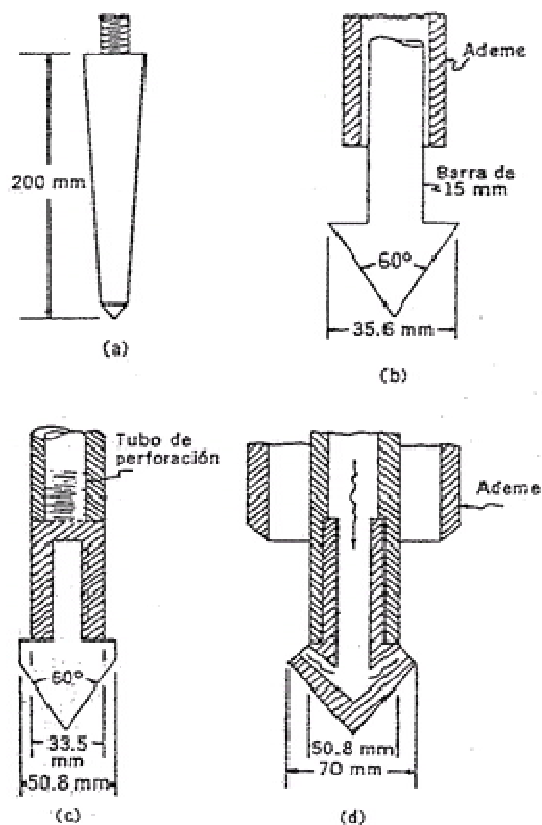


Figura 3.10. a) Tipo danés, b) Tipo holandes, c) tipo reensaye dinámico, d) Tipo de inyección

f) Perforaciones con boleos y gravas

Con frecuencia es necesario atravesar durante las perforaciones estratos de boleos o gravas que presentan grandes dificultades para ser perforados con las herramientas hasta aquí descritas. En estos casos se hace necesario el empleo de instrumentos más pesado, del tipo de barretones con taladros de acero duro, que se suspenden y dejan caer sobre el estrato en cuestión, manejándolos con cables. En ocasiones se ha recurrido, inclusive, al uso localizado de explosivos para romper la resistencia de un obstáculo que aparezca en el sondeo.





3.4.2 Métodos de sondeo definitivo

Se incluyen aquí los métodos de muestreo que tienen por objeto rendir muestras inalteradas en suelos, apropiadas para pruebas de compresibilidad y resistencia.

Cuando la clasificación del suelo permita pensar en la posibilidad de la existencia de problemas referentes a asentamientos o a falta de la adecuada resistencia al esfuerzo cortante en los suelos, se hará necesario recurrir a los métodos que a continuación se mencionan:

a) Muestreo con tubos de pared delgada

Bajo ninguna circunstancia puede obtenerse una muestra de suelo que pueda ser rigurosamente considerada como inalterada. En efecto, siempre será necesario extraer al suelo de un lugar con alguna herramienta que inevitablemente alterará las condiciones de esfuerzo en su vecindad. La remoción de la muestra del muestreador al llegar al laboratorio produce inevitablemente otro cambio en los esfuerzos, pues la fase líquida deberá trabajar a tensión y la fase sólida a compresión en la medida necesaria para que se impida la expansión de la muestra, originalmente confinada en el suelo y ahora libre. Cuando en mecánica de suelos se habla de muestras “inalteradas” se debe entender en realidad un tipo de muestra obtenida por cierto procedimiento que trata de hacer mínimos los cambios en las condiciones de la muestra “in situ”.

El grado de perturbación que produce el muestreador depende principalmente del procedimiento usado para su hincado, si se desea un grado de alteración mínimo aceptable, ese hincado debe efectuarse ejerciendo presión continuada y nunca a golpes ni con algún otro método dinámico. Hincado el tubo a presión, a velocidad constante y para un cierto diámetro de tubo, el grado de alteración parece depender esencialmente de la llamada “relación de áreas”.

$$A_r(\%) = \frac{D_e^2 - D_i^2}{D_e^2} \quad 3.1$$

Dónde

D_e Diámetro exterior del tubo

D_i Diámetro interior del tubo



La expresión anterior equivale a la relación entre el área de la corona sólida del tubo y el área exterior del mismo. Dicha relación no debe ser mayor de 10% en muestreadores de 5cm de diámetro interior.

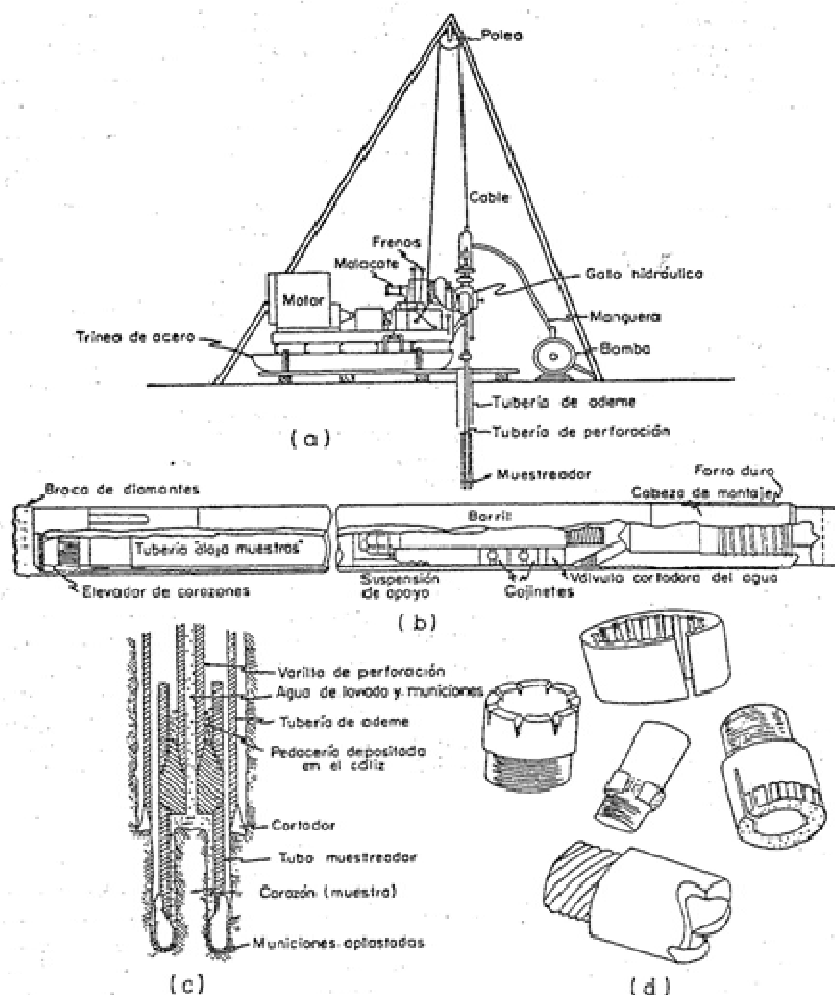


Figura 3.11 Muestreadores de tubo de pared delgada: a) Tipo Shelby, b) de pistón, c) Dispositivo hincado por presión de *un diferencial*.

La figura 3.11 muestra un esquema de un dispositivo aplicador de presiones de hincado que puede usarse cuando no se disponga de una máquina perforadora que aplique la presión mecánicamente; un procedimiento alternativo al mostrado en la figura, será cargar la varilla de perforación con peso muerto utilizando gatos hidráulicos.



3.5 Tipos de erosión en Suelos

Se denomina erosión al proceso de sustracción o desgaste de la roca del suelo intacto (roca madre), por acción de procesos geológicos exógenos como las corrientes superficiales de agua o hielo glaciar, el viento, o los cambios de temperatura. El material erosionado puede ser: por la propia acción del viento, aguas superficiales, glaciares y expansión-contracción térmica por variaciones estacionales o diurnas.

Usualmente, la erosión es considerada como un proceso más de la degradación de los suelos. Sin embargo, en términos más rigurosos, debería diferenciarse entre los mecanismos de degradación o deterioro y los de pérdida del recurso.

La erosión puede ser definida, de forma amplia, como un proceso de arrastre del suelo por acción del agua o del viento; o como un proceso de desprendimiento y arrastre acelerado de las partículas de suelo causado por el agua y el viento (Suárez, 1980). Esto implica la existencia de dos elementos que participan en el proceso: uno pasivo que es el suelo, y uno activo que es el agua, el viento, o su participación alterna; la vegetación por su parte actúa como un regulador de las relaciones entre ambos elementos.

3.5.1 Causas de la erosión

Los agentes erosivos son más eficaces dependiendo de qué tipo de tierra sea, la capa que la protege (hierbas, árboles, rocas, etc.), la cantidad de agua existente, el viento y su uso. Uno de los principales factores es el agua.

En general depende de que tan resistente sea la capa vegetal, en las áreas de precipitación intensa, la arena se corroe por las cuestas y se va por las corrientes del agua. En las zonas donde se encuentre más arcilla la erosión será de menor intensidad. Como la capa protectora de vegetación protege a la tierra de la erosión, cuando esta se retira (ya sea por desastre natural o por la construcción de cultivos, carreteras, etc.) el riesgo de erosión se hace grande, pues existe la posibilidad de que, sin su capa protectora, la tierra se corra por las pendientes y las corrientes de agua. Los caminos son los principales aumentos de riesgo en la erosión, la capa





protectora de vegetación ha sido retirada y un camino sin drenaje a los lados produce que la capa de asfalto se levante poco a poco produciendo problemas al conducir, y por supuesto, problemas de erosión, en los caminos que se encuentran al lado de una pendiente sufren más riesgo de ser erosionados.

a) Erosión de suelos de forma natural

La erosión Natural y progresiva es la que se desarrolla alrededor de varios años y en torno de algo natural. Se le puede denominar erosión geológica. En esta erosión el proceso suele ser lento y se prolonga por millones de años, suelen intervenir la lluvia, nieve, frío, calor y viento. En los climas áridos es el calor que agrieta el suelo (pues este se expande) y el viento lleva granos de arena formando dunas y montes de baja altura. En este tipo de erosión los factores moldean perfectamente el paisaje, creando algo considerado hasta ahora bello e impresionante.

La erosión Acelerada es la que se desarrolla rápidamente y sus efectos se sienten en poco tiempo. Es cuando intervienen de forma exagerada todos los factores involucrados, principalmente se debe a la mano del hombre y sus actividades.

Un deslave en una montaña, también es un ejemplo de erosión acelerada, en este caso, el agua ha debilitado el suelo y este se deslavó. Se le puede definir cuando un alud desciende de las alturas de una montaña débil o humedecida de agua (comúnmente llamado deslave).

b) Erosión marina

La erosión de la costa se produce principalmente por las olas, corrientes y mareas. Estas modelan las costas del mar y les dan forma. De cierta forma ocurre que la corriente dominante de la zona se lleva los sedimentos de la playa, y entre éstos se lleva arena, grava, piedras e incluso rocas. Estas al sedimentarse forman barras y bancos de arena. Las olas suelen dar forma a acantilados, arcos y rocas aisladas de la costa.





c) Erosión eólica

Se presenta cuando el viento transporta partículas diminutas que chocan contra alguna roca y se dividen en más partículas que van chocando con otras cosas. Se suelen encontrar en los desiertos en formas de dunas y montañas rectangulares o también en zonas relativamente secas. Lo que conlleva un tiempo más largo, debido al tiempo que tarda en erosionar.

d) Erosión hídrica

En términos generales, la erosión hídrica es aquella producida por el agua de lluvia a través del golpeteo de sus gotas sobre la superficie del terreno y cambios en regímenes de humedad generando desprendimiento, arrastre de partículas y masas de suelo.

La intensidad de lluvia es el factor primordial del fenómeno, ya que la velocidad de penetración del agua en el suelo es frecuentemente insuficiente cuando ésta cae con gran intensidad; la llegada al suelo de una elevada cantidad de agua en un período corto de tiempo, produce rápidamente escurrimiento. No es entonces tan importante el total de la lluvia como la intensidad misma. A este respecto, **Hudson (1982)** expone que los intensos aguaceros típicos de los trópicos tienen un efecto mucho más catastrófico que las suaves.

e) Erosión Kárstica

Se da cuando el agua se interna dentro de la tierra y disuelve las rocas y granos de tierra cercanos. Se suele presentar en ríos subterráneos y ojos de agua, cuando la tierra ya es muy débil para sostener la superficie, se hunde y forma un boquete o agujero más o menos grande. Esta erosión se presenta en lugares de agua abundante y forma cuevas y grutas, en las ciudades se suele presentar cuando hay una fuga de agua subterránea. También se suele presentar como una reacción química en agua ligeramente ácida sobre las rocas internas, esta producen también el hundimiento de la tierra.

f) Erosión biótica

En esta se involucran todos los procesos químicos que se llevan a cabo en las rocas. Intervienen factores como calor, frío, agua, compuestos





biológicos y reacciones químicas del agua con las rocas. Este tipo de erosión depende del clima, en los climas polares y secos las rocas se destruyen por los cambios de temperatura; y en los lugares tropicales y templados pues la humedad, el agua y los desechos orgánicos reaccionan con las rocas y las destruye. A veces forma un proceso llamado meteorización.

3.6 Fórmula Universal de la Pérdida del Suelo (RUSLE)

Fue descrito por **Mannaerts (1999)**, y puede ser usada para:

- ✓ Predecir la pérdida de suelo promedio a largo plazo de condiciones de campo específicas, usando un sistema específico de manejo.
- ✓ Para predecir erosión entre surcos y en surcos, en pastos, cultivos y sitios en construcción.
- ✓ La pérdida de suelo calculado por el modelo, es la cantidad de sedimento perdido por el perfil, no la cantidad de sedimento que deja la cuenca o el terreno.
- ✓ El perfil del paisaje es definido por una longitud de la pendiente, la cual es la longitud del origen del flujo superficial hasta el punto donde el flujo alcanza una mayor concentración o una mayor área de deposición como en las pendientes cóncavas y cerca de los límites del terreno.
- ✓ Para estimar las tasas de erosión que son removidas del suelo, de partes críticas del paisaje y que guían a la elección de las prácticas de control de la erosión hasta un nivel de pérdida de suelo tolerable.

El RUSLE tiene la expresión matemática:

$$A=R*K*LS*C*P \qquad 3.2$$





Donde:

- A Pérdida de suelo promedio anual en $(t/ha/año)$
R Factor erosividad de las lluvias en $(MJ/ha*mm/hr)$
K Factor erodabilidad del suelo en $(t/ha.MJ*ha/mm*hr)$
- LS Factor topográfico (función de longitud-inclinación-forma de la pendiente), adimensional.
C Factor ordenación de los cultivos (cubierta vegetal), adimensional.
P Factor de practicas de conservación (conservación de la estructura del suelo), adimensional.

3.6.1. Erosividad de la lluvia (Factor R)

Es el potencial erosivo de la lluvia que afecta el proceso de erosión del suelo. La erosión por gotas de lluvia se incrementa con la intensidad de la lluvia. Una suave y prolongada lluvia puede tener la misma energía total que una lluvia de corta duración y más intensa.

Cuando la energía se combina con la intensidad de la lluvia, el resultado es un buen predictor del potencial erosivo (EI : energía por intensidad).

“ EI ” es el valor de la tormenta total por el máximo de intensidad de la tormenta en 30 minutos. El término indica como el desprendimiento de las partículas es combinado con la capacidad de transporte.

La suma de los promedios anuales de “ EI ” para una localidad en particular es el “Índice de Erosividad de la lluvia” R :

$$R = \sum (EI_{30})_i / N \quad 3.3$$

Donde:

- R Erosividad anual (tal como las unidades de EI_{30})
 $(EI_{30})_i$ Para tormenta i .
N Tormentas erosivas (ej. $P > 10 \text{ mm}$) en un periodo de N años.





Por tanto, la energía de la tormenta (E o R) indica el volumen de lluvia y escurrimiento, pero una larga y suave lluvia puede tener el mismo valor de E que una lluvia de corta y más alta intensidad.

Se calcula en base a la formula de Brown y Foster:

$$E = 0.29 * (1 - 0.72 * \exp(-0.05(I))) \quad 3.4$$

Donde:

E Energía cinética de 1 mm de lluvia ($MJ/ha*mm$)

I Intensidad de lluvia en (mm/hr)

Clase	R ($MJ/ha*mm/hr$)
Muy baja	<500
Baja	500-1000
Mediana	1000-3000
Alta	3000-6000
Muy alta	>6000

Tabla 3.3. Clasificación del factor R.

3.6.2. Erodabilidad del suelo (K)

Se entiende como la facilidad con la cual el suelo es desprendido por el salpicamiento, durante una lluvia o por flujo superficial. Esta propiedad del suelo está relacionada con el efecto integrado de la lluvia, escurrimiento e infiltración.

Los suelos generalmente llegan a ser menos erosivos con una reducción en la fracción de limo a pesar del correspondiente incremento de la fracción de arcilla o arena.





El factor K representa el efecto de las propiedades del suelo y de las características del perfil del suelo en la pérdida de suelo. Los valores de K son asignados usando el nomograma (figura 3.12) de erodabilidad del suelo, que combina el efecto del tamaño de las partículas, código de la estructura del suelo y la clase de permeabilidad del perfil.

Suelos de textura fina con alto contenido de arcilla tienen bajos valores de K (0.05-0.15), ya que son resistentes al desprendimiento.

Suelos de textura gruesa tales como suelos arenosos, tiene valores bajos de K (0.15-0.2), debido al bajo escurrimiento, aunque estos suelos son fácilmente desprendibles.

Suelos de textura mediana (franco limoso) tienen valores de K moderados (0.25-0.4), porque son moderadamente susceptibles al desprendimiento y producen moderados escurrimientos. (Mannaerts, 1999).

El factor de erodabilidad del suelo se calcula con la ecuación del nomograma de Wischmeier citado por Mannaerts (1999).

$$K = (1/7.594) * [(2.1 * 10^{-4} * (12 - OM) * M^{1.14} + 3.25(s-2) + 2.5(p-3)] / 100 \quad 3.5$$

Donde:

K	Factor de erodabilidad del suelo ($t./ha.MJ*ha/mm*hr$)
OM	Materia orgánica (%)
S	Código de la estructura del suelo
P	Código de permeabilidad
M	Producto de las fracciones del tamaño de las partículas primarias ó (% limo + % arena muy fina)*(100 - % arcilla)

A continuación se presenta la tabla 3.4 con los datos de agua del suelo para las clases principales de textura de suelo: (Mannaerts,1999)

