

300615



UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE INGENIERIA
Incorporada a la U. N. A. M.

5
2ej

EXPLORACIONES GEOTECNICAS EN OBRAS GARRETERAS

TESIS CON
FOLIO DE ORIGEN

Tesis Profesional

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A :

GERMAN FCO. CARNIADO RODRIGUEZ

Asesor de Tesis:

M. en I. Fco. Javier Ribé Martínez de Velasco



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

I N D I C E

		PAGINA
INTRODUCCION		I
CAPITULO I	Minerales, Rocas y Suelos	1
1.1	Generalidades	2
1.2	Minerales Constitutivos de Rocas	3
1.3	Algunas Rocas Comunes en la Naturaleza	7
1.4	Descripción e Identificación de los Suelos	15
1.5	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos	21
CAPITULO II	Programación para Estudios de Exploración	23
2.1	Tipos de Exploración	24
2.2	Exploración de Suelos	26
2.3	Tipos de Muestras	29
2.4	Programa de Exploración	30
CAPITULO III	Métodos de Exploración	36
3.1	Método Geofísico de Refracción Sísmica	37
3.2	Método Geofísico de Resistividad Eléctrica	40
3.3	Método del Cono Eléctrico	42
3.4	Utilización de Lodos en la Exploración	51
3.5	Prueba de Penetración Estándar	55
3.6	Pozo a Cielo Abierto	63
3.7	Método de Lavado	64
3.8	Método Mediante Tubo Shelby	67
3.9	Método con Muestreador Dunison	69
3.10	Método de Rotación en Roca	70
CAPITULO IV	Problemas y Recomendaciones de Exploración	76
4.1	Detección de Cavernas y Problemas en los Métodos de Exploración	77
4.2	Problemas en el Equipo	90
4.3	Problemas de Campo	96

CAPITULO V	Aspectos Económicos e Interpretaciones de resultados	103
5.1	Aspectos Económicos Dentro de la Exploración e Interpretación de Resultados de Campo	104
CONCLUSIONES		116
BIBLIOGRAFIA		117

INTRODUCCION

Dado los acontecimientos que hemos vivido en los últimos años, hemos podido comprobar que la optimización en todos los aspectos de las vías terrestres son de carácter prioritario.

Los sistemas de perforación necesarios para llevar a cabo los estudios de cimentaciones en obras de Ingeniería Civil son de gran importancia, ya que en el diseño de las vías de comunicación se consideran diversos aspectos como son, la topografía del lugar, la intercepción de flujos de agua y el cruce de caminos actuales, entre otros puntos que se deben considerar. Por ende es necesario la construcción de puentes, pasos inferiores, superiores, etc; en los que es imprescindible la correcta interacción suelo-estructura, siendo afín, un minucioso estudio de Mecánica de Suelos.

El estudio del suelo requiere que el ingeniero y el perforista cuenten con una serie de conocimientos especializados que incluyen la correcta selección del lugar del estudio, del equipo a emplear, del número de sondeos a realizar, de los diámetros de los mismos y de su profundidad.

En nuestro México puede observarse que la mayoría de las dependencias gubernamentales encargadas de realizar este tipo de estudios, requieren de los parámetros necesarios para la correcta estimación de los costos de los mismos. La complejidad para la obtención de un costo real, referente a los trabajos de exploración, reside en factores que incluyen la cuantificación económica del

equipo a ser empleado en cada estrato que se va encontrando en la perforación, así como los accenos al sitio de trabajo.

En el presente trabajo se proporcionan los diversos métodos, procedimientos y parámetros aproximados para realizar un estudio de exploración.

CAPITULO I MINERALES, ROCAS Y SUKLOS

1.1 GENERALIDADES

De manera general, nuestro planeta está constituido por un núcleo formado fundamentalmente de hierro y níquel y rodeando a éste, existe un manto fluido llamado magma. Posteriormente se encuentra la corteza terrestre formada principalmente por silicatos; esta capa tiene un espesor medio de 30 a 40 kms. en las plataformas continentales.

La última pequeña capa de la corteza terrestre formada por la disgregación y descomposición de los materiales aquí presentes, es lo que forma el suelo el que además está expuesto a cambios climatológicos, sufriendo por lo tanto, alteraciones debidas a variaciones en su temperatura. Asimismo, también sufre otro tipo de alteraciones por el cambio de presiones y por los movimientos tectónicos por mencionar algunos de los factores que con el tiempo, van modificando el suelo que es la parte que nos interesa en la Mecánica de Suelos ya que es aquí donde se desplantan las cimentaciones de las obras ingenieriles por lo que se muestra indispensable la selección correcta del equipo para realizar las perforaciones.

1.2 MINERALES CONSTITUTIVOS DE ROCAS

Aunque un suelo se encuentra constituido también por rocas, en términos de Ingeniería Civil una roca es un agregado natural de granos minerales unidos por grandes y permanentes fuerzas de cohesión. Mientras que un suelo es un agregado natural de granos minerales, con o sin componentes orgánicos, que pueden separarse por medios mecánicos comunes. Estas definiciones representan un problema, ya que en la práctica no existe diferencia tan sencilla de probar.

Los principales minerales formadores de rocas son:

Cuarzo:

Es uno de los minerales que más existen en la naturaleza. Es de gran dureza, brillo vítreo, es incoloro pudiendo ser rosado ó hasta negro.

Es el constituyente esencial de las arenas, areniscas y cuarcitas.

Limonita:

Es un óxido de hierro hidratado. Es la resultante de la consolidación del Limo. Se presenta en masas de variado aspecto (fibrosas, terrosas, etc.). Es de tono pardo aún negro. Es la mena más importante del hierro.

Magnetita:

Es un óxido salino del hierro. Es de brillo metálico, de color negro a negro pardusco. Cristaliza en sistema cúbico. Es atraída fácilmente por el imán.

Hematita:

Es de color gris acero y brillo metálico ó ferroso. Cristaliza en el Sistema Hexagonal. Es un mineral del fierro.

Calcita.

Después del Cuarzo es el mineral más frecuente y abundante. Es una variedad alotrópica del carbonato de calcio.

Dolomita.

Es un carbonato doble de magnesio y calcio. Es transparente a translúcido, incoloro a color amarillo, aún negro. Cristaliza en forma regular.

Yeso.

Sulfato calcico hidratado. Se presenta compacto o terroso. Generalmente es de color blanco, tenaz y bastante blando.

Caolinita:

Es un silicato hidratado de aluminio. Es un mineral terroso, al tacto es grasoso. Es plástico cuando se humedece.

Talco

Es un silicato básico de magnesio. Es de coloración variada: amarillo, gris, azul, verde pero de tonalidad clara. Al tacto resulta grasoso.

Serpentina:

Es un grupo complejo de silicatos hidratados de magnesio. Generalmente se presenta en forma maciza. Es suave al tacto, algunas veces graso, es translúcido u opaco. Su raspadura es de color blanco.

Olivino:

Es un silicato de hierro. Es de color verde castaño a rojo y es de brillo vítreo. Se asemeja al cuarzo pero de menor tamaño.

Biotita.

Es del grupo de las micas. Es un silicato complejo de hierro y magnesio. Es negra ó parda oscura, su brillo es aperlado ó vítreo.

Es de raspadura verdosa.

Piroxeno.

Es un silicato principalmente de calcio, magnesio, con algo de hierro y aluminio. Es de color blanco, verde o negruzco. Sus cristales son prismáticos de ocho caras. Una variedad común es la Augita.

Moscovita:

Es un silicato complejo de potasio y aluminio. Sus cristales son en forma de escamas delgadas. Puede ser incolora, gris ó verde claro. Su lustre es aperlado a vitreo.

Clorita.

Es del grupo de silicatos metamórficos, hidratados que se presentan en pagitas menudas de color verde y brillo anacarado. Su raspadura es de color verdosa. Sus cristales son tubulares de seis caras.

Algunas otras propiedades de los minerales antes mencionados son:

Tabla 1.

MINERAL	GRUPO ESPECIFICO	DUREZA EN LA ESCALA DE MOHS.
Yeso	2.32	2.0
Serpentina	2.50 - 2.65	2.5 - 3.5
Caolinita	2.6	1.0 - 2.0
Clorita	2.60 - 3.00	1.0 - 2.5
Cuarzo	2.65	7.0
Talco	2.70	1.0
Calcita	2.72	3.0
Moscovita	2.80 - 2.90	2.0 - 3.0
Dolomita	2.87	4.0
Biotita	3.00 - 3.10	2.5 - 3.0
Olivino	3.20 - 3.60	6.5 - 7.0
Piroxeno	3.20 - 3.60	5.0 - 6.0
Limonita	3.80	1.0 - 5.5
Magnetita	5.17	5.5 - 6.5
Hematita	5.20	5.0 - 6.5

1.3 ALGUNAS ROCAS COMUNES EN LA NATURALEZA

Rocas Sedimentarias.

Son aquellas que se van formando por la descomposición meteórica de las rocas y algunos compuestos orgánicos; y se han ido depositando, dando lugar a nuevas formaciones rocosas. A continuación se enumeran las principales rocas sedimentarias.

Grava:

Dado el origen de este material, las aristas han sufrido desgaste, y por consiguiente son redondas. Se les encuentra en abundancia en las orillas de ríos y mares. Tiene gran utilidad en la construcción ya que se emplea en la elaboración de concreto y en terraplenas.

Las gravas consolidadas forman un duro macizo de naturaleza caliza llamado *Conglomerado*.

Se le llama *Brecha*, cuando las aristas de las gravas permanecen agudas debido a que no han sufrido arrastre. Además sufren una consolidación formando un macizo rocoso.

Arena:

Se acumulan en los lechos de los ríos y en las desembocaduras de éstos.

Las arenas consolidadas constituyen las areniscas, ya sean de grano grueso, mediano ó fino. Dependiendo de su compactación puede ser arenisca suave ó dura.

Limo:

Es un material muy fino que aunque se encuentran depósitos de hasta 20 mt. de altura, no tienen poder cementante. La roca que proviene de este material consolidado es la *Limonita*.

Arcilla:

Es el material más fino que pueden arrastrar las corrientes, y generalmente cubre al material formado por elementos de mayor tamaño.

La Arcilla proviene de un silicato hidratado de aluminio, y aunque es una roca porosa y se satura fácilmente, es impermeable ya en este estado. Generalmente es utilizada para el revestimiento de canales. Es un gran cementante.

La Arcilla consolidada dá lugar a la *Argilita*, y cuando la Arcilla se encuentra mezclada con Carbonato de Calcio produce las *Margas*, que dependiendo de la característica relativa de los componentes, la roca puede llamarse *Arcilla Margosa*. *Marga Arcillosa* ó *Caliza Margosa*.

Cuando las Gravas, Arenas, Limos y Arcillas se encuentran mezcladas heterogeneamente y sin consolidar, dan origen a un *Aglomerado Sedimentario*.

A las rocas Limosas, Margosas y Arcillosas, se les dá el nombre de *Lutitas*.

Médanos:

Son acumulaciones de arena transportadas por el viento. Por esta razón llega a presentar problemas a la Ingeniería, ya que son fácilmente erosionables. Se ha visto que la siembra en este material regula el problema.

Loess:

Es un producto limoso transportado por el viento. Contiene Cuarzo y algo de Arcilla. No tiene consistencia.

De origen calcáreo:

Calizas:

El Carbonato de Calcio forma la roca caliza, la cual es compacta, de grano fino, su color va del gris claro al casi blanco. Tiene una dureza de 3 en la escala de Mohs. Es una roca bastante soluble en agua. Esto genera que se formen conductos a través de su masa, por lo que se va ensanchando paulatinamente no solo por solución sino también por abrasión, llegándose a formar verdaderas cavernas dentro de la masa de las rocas.

Tiene gran aplicación industrial, ya que se emplea en la fabricación del cemento y de la cal hidratada.

Yeso:

Es de origen salino, sus cristales varían de tamaño desde un metro de largo por 10 cms. de ancho, hasta los pequeños agrupados en una masa de textura sacaróide. Tiene dureza de 2. Cuando se le calcina, pierde su agua de constitución y si se le agrega nuevamente, se fragua, desprende calor y aumenta de volúmen.

Turba:

De naturaleza carbonada. Como combustible tiene poco poder calorífico, pero éste aumenta si el material es comprimido.

La Turba en el suelo es perjudicial para las cimentaciones ya que, debido a su compresibilidad, provoca grandes asentamientos. Es una masa fibrosa y porosa de color café obscuro.

Hulla:

Llamado también Carbón de Piedra. Es de color gris obacuro ó negro, su peso específico es ente 1.2 y 1.5. Su grano es compacto pero el carbón es frágil.

Rocas Metamórficas

Son formadas por los cambios de presión, temperatura y acción de gases que han sufrido las rocas sedimentarias e ígneas.

Cuarzita:

Es el resultado del metamorfismo de una arenisca formada por granos de Cuarzo. Es sumamente dura y se aprecian claramente los granos que la forman. Es un material difícil para su explotación.

Esquistos:

Contienen gran porción de minerales ferro-magnesianos lo que da lugar a Esquistos Micáceos, Esquistos de Hornblenda, Esquistos de Clorita. Se dividen en láminas muy delgadas.

Gneis:

Varias rocas pueden dar lugar a su formación generalmente el Granito y la Diorita. Algunas veces es posible distinguir en campo la roca original.

Mármol:

Resulta de la metamorfización de las calizas. Es de tamaño y color muy variable, ya que puede ser desde un blanco muy puro hasta el negro. Esta roca es compacta pero frágil, tiene dureza de 3, es fácil de trabajar.

Pizarra.

Las arcillas sujetas a metamorfización, se convierten en pizarras. Son de color oscuro y de finos granos. Tiene la facultad de poderse separar en placas ó láminas que son utilizables en la industria.

Serpentina:

En esta roca es fácil encontrar asbesto. Está compuesta de Silicato de Magnesio y tiene un tacto suave y resbaloso.

Rocas Igneas

Son de origen profundo, forzadas de alguna manera a salir a la superficie de la corteza terrestre. Las rocas que se enfrían sobre la superficie se llaman Extrusivas ó Volcánicas, y las que se enfrían en el interior de la corteza, se llaman rocas Intrusivas ó Plutónicas.

Extrusivas.

Andesita:

Es difícil encontrarla en estado sano, ya que casi siempre se encuentra intemperalizada. Esta roca puede utilizarse para mampostería, como base y sub-base en carreteras. Como roca triturada se utiliza como cementante.

Basalto

Tiene un peso específico de 3.1. Es de color oscuro. Se genera en grandes masas, resistente y dura por lo cual se requiere de explosivos para su explotación.

Cuenta con granos finos y llega a presentar cavernas y mucha porosidad, entonces se llama *Tezontle*, que es de color negro o rojo, debido a la oxidación. Es ligero e impermeable ya que sus poros no están comunicados.

El *Olivino* siempre está presente y se distingue por su color verde olivo. Si el grano es fino, cerrado y se encuentra como macizo duro y de color negro se llama *Diabasa*. La *Dolerita* es una roca intermedia entre la *Diabasa* y el *Basalto*.

Riolita:

Contiene cristales de Cuarzo alargados en dirección a la corriente, ya que estas se encuentran en los ríos y mares. Es muy útil en la construcción, ya que es muy dura y resistente y además es impermeable. Se presenta en grandes masas alternando con *Tobas*.

Intrusivas.

Diorita:

Su textura es granitoide, por lo que se puede confundir con el Granito. Tiene un peso específico que va entre 2.8 y 3.0. Es más pesado que el Granito pero menos dura. Es muy resistente.

Granito:

Compuesta de cristales de Cuarzo y de Feldespato Ortoclasa y comunmente Mica.

Se presenta en grandes masas, es sano, impermeable y muy resistente, soporta de 1.0 ton./cm.2 a 1.4 ton./cm.2.

Su densidad es de 2.7. Se requiere de explosivos para su explotación. Es un excelente material para la construcción.

Pegmatita:

Es un granito cuyos elementos constitutivos han alcanzado un gran desarrollo: grandes cristales de Cuarzo y Feldespatos, grandes láminas de Micas.

Dado que la pegmatita es una modificación del Magma granítico, se le encuentra en los lugares donde existe el Granito en forma de segregaciones en la masa de aquél. Sus propiedades son parecidas pero dado el tamaño de sus constituyentes, no se le usa como material de construcción, además de no encontrarse en grandes cantidades.

Piedra Pómez

Es una roca ígnea vítrea sumamente porosa, tan ligero que flota fácilmente en el agua, por lo que se usa para la fabricación de material ligero para la construcción. Por ejemplo: ladrillo, tabique y rellenos ligeros para dar pendientes en azoteas, etc.

1.4 DESCRIPCION E IDENTIFICACION DE LOS SUELOS.

Los términos principales de los ingenieros para describir un suelo son: *grava, arena, limo y arcilla*.

La mayoría de los suelos naturales están formados por uno o más de estos elementos, además pueden o no contar con material orgánico.

A la mezcla se le da el nombre del elemento que parezca tener mayor influencia en su comportamiento, y los otros componentes se usan como adjetivos.

SUELOS DE GRANO GRUESO:

Se les denomina así a las gravas y arenas. Son fragmentos minerales que pueden identificarse por el tamaño de las partículas.

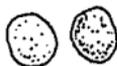
Para tener una descripción completa del suelo de grano grueso, hay que proporcionar la graduación del material, composición mineralógica y la forma de las partículas, ya que esta última influye en la compacidad y estabilidad del depósito del mismo.

La graduación nos permite conocer la proporción de partículas, variando de gruesas a finas, la uniformidad y su granulometría.

Figura 1 Formas típicas de las partículas gruesas.



REDONDEADAS



SUBREDONDEADAS



ANGULARES



SUBANGULARES

SUELOS DE GRANO FINO:

Se les denomina así a los Limos y a las Arcillas.

Los Limos inorgánicos constituyen la porción gruesa de la fracción microscópica de los suelos, tienen poco ó ninguna plasticidad ó cohesión. Las variedades menos plásticas que consisten de granos de Cuarzo muy finos y redondeados, se llaman polvo de roca. Las variedades plásticas que contienen una cantidad apreciable de partículas en forma de laminillas, se llaman Limo plástico.

La Arcilla está formada por un agregado constituido predominantemente por minerales de tamaño microscópico en forma de laminillas cristalinas. Además, tienen las propiedades típicas de los coloides, como son la plasticidad y la cohesión.

Debido a que la distinción entre un Limo y una Arcilla no es posible determinarse basándose únicamente por el tamaño de las partículas que los conforman, deberán aplicarse los siguientes criterios:

Resistencia en estado seco:

Se moldea un prisma de suelo húmedo que se deja secar al aire libre. Luego se rompe y se toma un pedazo de aproximadamente 3mm. y se aprieta entre el dedo índice y el pulgar. Así conocemos su resistencia que puede ser muy baja, media, alta ó muy alta. El fragmento de arcilla se rompe solamente haciendo un gran esfuerzo, mientras que el limo se rompe fácilmente.

Prueba de agitado ó dilatancia.

Una característica de los limos es que son más permeables que las arcillas. Para realizar ésta prueba, se toma en la palma de la mano una porción de suelo con agua, se golpea el dorso de la mano ligeramente y si el suelo es limoso, el agua sube rápido a la superficie, dándole una apariencia brillante

En contraposición a lo anterior, en la arcilla dicho proceso es mucho más lento.

Prueba de plasticidad:

La plasticidad constituye una propiedad característica de las arcillas.

Si una muestra de suelo puede amasarse y deformarse entre las palmas de las manos sin desmoronarse, y además es posible formar con ella cilindros largos y delgados de 3mm. aproximadamente de diámetro, soportando su propio peso, indudablemente contiene una gran cantidad de arcilla.

Prueba de Dispersión:

Esta prueba consiste en el depósito de una muestra de suelo en el interior de una probeta con agua. Ordinariamente las arenas se asientan en un tiempo de 30 a 60 segundos. Sin embargo, los limos tardan de 15 a 60 minutos, y las arcillas permanecen en suspensión varias horas o días.

Las combinaciones de materiales orgánicos, no siempre se reconocen fácilmente. Sin embargo, la presencia de materia orgánica debe siempre tomarse en cuenta si el suelo tiene color pardo obscuro, gris obscuro ó negro. Ej. La Turba. Algunas veces se puede distinguir el olor de materia orgánica.

Tabla 2 LIMITES DE LOS TAMAÑOS DE LOS COMPONENTES DEL SUELO SEGUN LA A.S.T.M.

(En milímetros)

Grava	Mayor a 4.75
Arena Gruesa	De 4.75 a 2.0
Arena Mediana	De 2.0 a 0.425
Arena Fina	De 0.425 a 0.075
Finos (Mezclas de limo y arcillas)	Menores de 0.075

Tabla 3. Identificación de los Suelos Finos Con Pruebas Manuales: (Parte I)

NOMBRE TIPICO	RESISTENCIA KN ESTADO SECO	DILATANCIA	TENACIDAD	TIEMPO DE SEDIMENTACION EN LA PRUEBA DE DISPERSION
Limo arenoso	De ninguna a muy baja	Rápida	De débil a baja	De 30 a 60 min
Limo	De muy baja a baja	Rápida	De débil a baja	De 15 a 60 min
Limo arcilloso	De baja a media	De rápida a lenta	Media	De 15 min. a varias horas
Arcilla arenosa	De baja a alta	De lenta a ninguna	Media	De 30 min. a varias horas
Arcilla limosa	De media a alta	De lenta a ninguna	Media	De 15 min. a varias horas

Tabla 3. Identificación de los Suelos Finos Con Pruebas Manuales:
(Parte II)

NOMBRE TÍPICO	RESISTENCIA EN ESTADO SECO	DILATANCIA	TERNACIDAD	TIEMPO DE SEDIMENTACION EN LA PRUEBA DE DISPERSION
Arcilla	De alta a muy alta	Ninguna	Alta	De varias horas a días
Limo orgánico	De baja a media	Lenta	De débil a baja	De 15 min. a varias horas
Arcilla orgánica	De media a muy alta	Ninguna	Alta	De varias horas a días

1.5 SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELO.

El sistema divide a los suelos en dos grandes fracciones:

La gruesa, comprendida por partículas mayores que la malla No. 200 y menores que la malla No. 3; y la fina que comprende las partículas que pasan la malla No. 200.

Un suelo se considera grueso si más del 50% de sus partículas son gruesas y viceversa.

A las gravas se les asigna el símbolo G.

A las arenas y suelos arenosos se les asigna el símbolo S.

Las gravas y arenas se subdividen en:

- 1) Material limpio de finos, bien graduado. Símbolo W de donde se obtienen los grupos GW y SW.
- 2) Material con cantidad apreciable de finos, mal graduados. Símbolo P. Esto dá lugar a los grupos GP y SP.
- 3) Material con apreciable cantidad de finos no plásticos. Símbolo M. Dando lugar a los grupos GM y SM.
- 4) Material con cantidad apreciable de finos plásticos. Símbolo C. dando lugar a los grupos GC y SC.

LOS SUELOS FINOS.

Se agrupan dándoles dos letras mayúsculas con un criterio similar al de los suelos gruesos.

- 1) Limos inorgánicos. Símbolo M.
- 2) Arcillas inorgánicas. Símbolo C.
- 3) Limos y arcillas orgánicas. Símbolo O.

Si los suelos son de media o baja compresibilidad, se les agrega el símbolo L, dando lugar a los grupos ML, CL, y OL.

Si son de alta compresibilidad llevan el símbolo H, obteniendo así los grupos MH, CH y OH.

Los suelos altamente orgánicos, usualmente fibrosos, extremadamente compresibles forman un grupo independiente con símbolo PT. Ej. la Turba.

CAPITULO II PROGRAMACION PARA ESTUDIOS DE EXPLORACION

2.1 TIPOS DE EXPLORACION

Existen dos tipos de formas para llevar a cabo una exploración:

- 1.- Exploración Directa.
- 2.- Exploración Indirecta.

La diferencia entre ambos tipos estriba en que en los primeros se obtienen muestras y en los segundos no.

La exploración de suelos de tipo directo, puede ser de caracter preliminar ó definitiva, dependiendo de la importancia de la obra y de la erraticidad del suelo; estos dos conceptos se toman también en cuenta para definir el número, espaciamento y profundidad de los sondesos.

Dentro de la exploración indirecta se cuenta con los métodos Geofísicos, los cuales han tenido una mayor aplicación a los estudios Geológicos y de Minería que a los referentes a la Mecánica de suelos. Resultando impropios para estudios de cimentaciones debido a que la información obtenida, carece de seguridad. Este tipo de exploración resulta rápida para explorar grandes extensiones, pudiendo aplicarse a estudios preliminares, ya sea en la localización de perfiles de roca o lugares donde sea factible cimentar presas.

Para que una exploración resulte con éxito, se debe contar con un equipo adecuado y material humano especializado, además de criterio y experiencia en las personas que conforman la brigada de exploración y del ingeniero supervisor.

 2.2 EXPLORACION DE SUELOS

EXPLORACION DIRECTA	A) MANUAL	1.- PERCUSION 2.- ROTACION 3.- PRESION
	B) CON EQUIPO MECANICO	
EXPLORACION INDIRECTA	A) REFRACCION SISMICA B) RESISTIVIDAD ELECTRICA C) CONO ELECTRICO	

Tabla 4. Métodos Manuales.

METODO	TIPO DE MUESTREO	TIPO DE SUELOS EN QUE SE APLICA	PROCEDIMIENTO DE MUESTREO
Pozo a cielo abierto	Inalterado Alterado	T o d o s	Labrado manual
Taladros manuales Posteador Barrenos helicoidales	Alterado	En todos aquellos que tengan cierta cohesión	Manual

METODOS EMPLEANDO EQUIPO MECANICO

- 1.- Percusión (empleando martinete-tubo partido)
- 2.- Rotación (brocas, barreno helicoidal)
- 3.- Presión (a base de gatos, tubo de pared delgada o Shelby)

Tabla 5.

MURS-TREADOR	TIPO DE MUESTRA	MODO DE OPERACION	TIPO DE SUELO EN QUE SE EMPLEA
Penetrómetro ó tubo partido.	Alterada	Percusión	Todos los suelos excepto los que tengan mucha grava
Tubo de pared delgada tipo Shelby	Inalterada	Presión	Arcillas, limos con poco material arenoso de consistencia blanda a poco firme
Tubo de pistón	Inalterada	Presión	Arcillas y limos blandos poco firmes
Denison	Alterada Inalterada	Rotación Presión	Arcillas y limos sin gravas abajo del N.A.F.
T.A.M.S	Alterada Inalterada	Rotación Presión	Arcillas y limos sin gravas abajo del N.A.F.
Wire Line	Alterada Inalterada	Rotación Presión	Todos los suelos y rocas
Barri-les	Alterada Inalterada	Rotación Presión	Gravas con cantos rodados, rocas

Los métodos directos e indirectos serán ampliamente descritos mas adelante.

2.3 TIPOS DE MUESTRAS

A continuación se especifican los dos tipos de muestras existentes:

1. Alteradas.-

Son aquellas muestras que no conservan las propiedades que poseían "in-situ", es decir que han variado sus componentes, estructura ó ambos.

2. Inalteradas.-

Se les denomina así a las muestras que conservan hasta donde es posible todas sus propiedades que originalmente poseían "in-situ".

DATOS QUE DEBE LLEVAR UNA MUESTRA AL SER EXTRAIDA

- a.) Número de muestra.
- b.) Tipo de muestra.
- c.) Tipo de muestreador usado.
- d.) Profundidad de muestreo.
- e.) Clasificación del suelo muestreado.
- f.) Nombre del jefe de la brigada de exploración.

2.4 PROGRAMA DE EXPLORACION

En todo estudio de Mecánica de suelos, debe efectuarse un programa de exploración de suelos, el cual debe constar de lo siguiente:

- 1) Número de sondeos.
- 2) Tipo de sondeos.
- 3) Localización.
- 4) Espaciamiento.
- 5) Profundidad.

Cada uno de los puntos anteriores están en función del tipo de construcción, área, uniformidad y regularidad de los depósitos del suelo.

Localización de los sondeos.-

Se localizan, de preferencia, en el centro de carga de la estructura y en los ejes principales que se encuentren sobre cargados.

Espaciamiento de los sondeos.-

Para tener una idea clara de los sondeos en obras de ingeniería, se presenta a continuación una tabla de valores, los cuales pueden duplicarse, en el caso de encontrar suelos con estratigrafías regulares y se disminuye su magnitud cuando se encuentren estratigrafías irregulares.

Tabla 6

ESTRUCTURA U OBRA	ESPACIAMIENTO (m)
Carretera (investigación de la subrasante)	300-600
Presa de tierra, diques	30-60
Excavación para préstamo	30-120
Edificio de varios pisos	15-30
Edificio industrial de un piso.	30-90

El espaciamiento en puentes y pasos en carreteras puede variar entre 10m y 60m.

Profundidad de los sondeos.-

En las obras carreteras, la profundidad de los sondeos en puentes y viaductos es alrededor de 15m, con la limitante de garantizar 6m en suelos resistentes ($N > 40$) ó 3m en roca sana; mientras que en un PIV, PSV y PIPG, (Paso inferior de vehículos, Paso superior de vehículos y Paso inferior peatonal y ganado, respectivamente), basta tan solo con P.C.A. Un criterio simple para determinar la profundidad aproximada de los sondeos en lo referente a estructuras destinadas a oficinas u hospitales, es el que relaciona la profundidad del sondeo con el número de pisos.

Cabe mencionar la importancia de tomar en cuenta la elevación del brocal de perforación para graficar la estratigrafía y poder calcular la cimentación.

Tabla 7

ESTRUCTURAS	PROFUNDIDAD EN MTS.
Ligeras de acero ó estrecha de concreto	$z = 68'0.7$
Pesada de acero ó ancha de concreto.	$z = 68'0.7$

Donde:

z = Profundidad aproximada del sondeo.

S = Número de pisos.

Tabla 8 Recomendaciones para definir el programa de exploración. (Parte I).

EXPLORACION PARA	NUMERO Y LOCALIZACION DE SONDEOS	PROFUNDIDAD MINIMA DEL SONDEO (d)
Sitios inexplorados de gran extensión.	$a = 0.1A$	
Sitios con suelos blandos de gran espesor	$30 < B < 60 M$	
Estructuras grandes, cimentadas en zapatas aisladas.	$b=15m$ y en sitios de concentración de cargas.	

Tabla 8 Recomendaciones para definir el programa de exploración.
(Parte II).

EXPLORACION PARA	NUMERO Y LOCALIZACION DE SONDEOS	PROFUNDIDAD MINIMA DEL SONDEO (d)
Almacenes de gran área para cargas ligeras	n=5,4 en las esquinas y 1 en el centro. Intermedios si son necesarios para definir la estratigrafía.	d=10m, ó hasta que el incremento en esfuerzo vertical sea menor de 0.1 del esfuerzo vert. impuesto por la estructura. ó $d=cB$ ($1 < c < 2$)
Cimentaciones rígidas aisladas con área $250 < A < 1000 \text{ m}^2$	n=3,2 en el perímetro y 1 en el centro. Intermedios si son necesarios para definir la estratigrafía.	
Cimentaciones rígidas aisladas con área $A < 250 \text{ m}^2$	n=2 en esquinas opuestas. Intermedios, si son necesarios para definir la estratigrafía.	
Taludes	$3 < n < 5$ en la sección crítica.	Tal que la superficie probable de falla se halle por arriba del fondo del sondeo. $d=0.5$ del ancho de la base del dique de tierra ó 1.5 de la altura para dique pequeños de concreto.
Diques y estructuras de retención de líquidos	Preliminares $b=60\text{m}$ Detalle $b=30\text{m}$ y en zonas críticas.	

Tabla 8 Recomendaciones para definir el programa de exploración.
(Parte III).

EXPLORACION PARA	NUMERO Y LOCALIZACION DE SONDEOS	PROFUNDIDAD MINIMA DEL SONDEO (d)
Aeropuertos para tránsito ligero	b=30m en el eje de la pista, intermedios para definir la estratigrafía.	d=3m

donde:

- a = área tributaria máxima por sondeo, m²
- b = espaciamiento entre sondeos, m.
- n = número de sondeos.
- d = profundidad mínima de sondeo a partir de la profundidad de desplante de la cimentación, m².
- A = área de la cimentación, m².
- B = ancho de la cimentación, m.

En sitios cuya estratigrafía sea muy heterogénea, se debe incrementar el número de sondeos propuestos en la tabla anterior para poder obtener la información necesaria. La profundidad mínima de exploración debe cubrir al menos la zona en que los esfuerzos verticales sufran un incremento de 0.1 del esfuerzo vertical impuesto por la estructura, y se podrá reducir en suelos de gran resistencia o en roca sana.

Con el propósito de lograr una exploración aceptable, ésta debe realizarse en dos etapas:

1.- ETAPA PRELIMINAR:

Esta etapa tiene como base proporcionar una idea aproximada del subsuelo, permitiendo, en forma simultánea, definir el programa de exploración de la etapa definitiva.

2.- ETAPA DEFINITIVA:

Una vez teniendo el conocimiento de los depósitos del subsuelo, se realiza esta etapa utilizando el equipo adecuado que proporcione muestras representativas.

En algunos casos, dependiendo del sitio, criterio y experiencia del Ingeniero, los estudios preliminares, llegan a ser definitivos, resultando económicos y rápidos de concluir.

CAPITULO III**METODOS DE EXPLORACION**

3.1 METODO GEOFISICO DE REFRACCION SISMICA.

Este método indirecto tiene como objetivo deducir las posibles características estratigráficas de un sitio y las propiedades mecánicas de los suelos, a partir de la interpretación de los tiempos de arribo de ondas refractadas en los estratos de mayor densidad.

El equipo que requiere este método consta básicamente de tres unidades: el mecanismo de generación de la onda, el conjunto de geófonos captadores y el aparato registrador.

Mecanismo de generación de la onda.- El más simple es un martillo pesado equipado con un micro-interruptor montado en un mango, que al golpear una placa metálica asentada en la superficie genera la onda y simultáneamente opera al micro-interruptor que a su vez activa al aparato registrador para indicar el inicio de la prueba. El martillo se emplea para estudios someros (10 m. de profundidad aprox.); para los de mayor profundidad, la onda se genera con la explosión de una pequeña carga de explosivos colocada en una perforación de menos de 1m. de hondo, mediante un detonador eléctrico instantáneo.

Geófonos.- Son dispositivos electromagnéticos que captan las oscilaciones del suelo y las transforman en señales eléctricas. Los geófonos comunes únicamente registran la componente vertical del movimiento y su sensibilidad varía entre 5 y 100 cps.

Aparato registrador.- Es un oscilógrafo cuyos elementos sensibles (canales) son de 2 a 12 pequeños galvanómetros que vibran al recibir la señal de los geófonos. Los galvanómetros llevan adheridos pequeños espejos, en los que inciden rayos de una fuente luminosa fija y los reflejan a papel fotosensible con una escala de tiempo, registrándose así el arribo de las ondas. Además de los anteriores, existen oscilógrafos que registran el fenómeno ya sea en cinta magnética, en pantalla luminosa ó digitalmente.

Tabla 9. Características de los oscilógrafos portátiles.

PERTURBACION PROVOCADA POR	REGISTRO	FUENTE DE PODER	NUMERO CANALES	INTERVALO DE TIEMPO en (ms)	PESO (kg)	PROF. en m.
Martillo	Digital Pantalla luminosa	Pilas	1 a 2	0-10	5	10
Explosivos	Papel fotosensible Cinta magnética	Batería recargable	2 a 12	0-100	10	100
			12 o más	0-1000	30	100

ms = milisegundos

En esta prueba se colocan usualmente, de 6 a 12 geófonos alineados, en un extremo se ubica el aparato que genera la onda y en el opuesto se coloca el oscilógrafo.

La longitud total de la línea de geófonos se condiciona a tres veces la profundidad a la cual interese hacer la exploración; los geófonos se ubican equidistantes entre sí o bien, más cercanos en el extremo en el que se genera la onda pero nunca a menos de 2m. y a distancias mayores en la parte más alejada pero no a más de 20m.

Cuando la estratigrafía es homogénea, en que las fronteras entre estratos sean paralelas a la superficie, una sola prueba podrá dar información suficiente; pero por lo general, es necesario realizar una segunda prueba, generando la onda en el otro extremo de la línea.

3.2 METODO GEOFISICO DE RESISTIVIDAD ELECTRICA.

Este método deduce las posibles características estratigráficas de un sitio y la posición del nivel freático, a partir de la interpretación de las resistividades medias de los suelos.

El equipo de medición está compuesto por una fuente de poder, un voltímetro, un amperímetro, cuatro electrodos y cables conductores.

Tabla 10. Características de algunos equipos portátiles.

FUENTE DE PODER	CAPACIDAD en mts.	INTENSIDAD CORRIENTE en mA	INTERVALO DE MEDICIONES	PESO TOTAL en kgs.
Baterías recargables	30	20	0.1 a 1000	20
	20	50	0.1 a 1000	15
	300	100 a 150	0.002 a 10	60
	200	0 a 1000	0.002 a 100	75

mA = miliamperes.

Los electrodos son varillas normalmente de bronce de 2 cm. de diámetro y 50 cm de longitud, con un extremo en punta para hincarse en el terreno. Los cables de conexión son de cobre forrados con neopreno.

El campo eléctrico se induce al terreno con dos electrodos, denominados de corriente, que se hincan y conectan mediante el cable a la fuente de poder y el amperímetro; entre estos electrodos se hincan dos de potencial conectados al voltímetro. Con el amperímetro se mide la intensidad de la corriente inducida al terreno y con el voltímetro la diferencia de potencial entre los electrodos centrales.

En este método el arreglo más utilizado es el de Wenner (figura 2) debido a su simplicidad. Se colocan los electrodos alineados con separación equidistante h ; con este arreglo la medición hecha es representativa del material a la profundidad d .

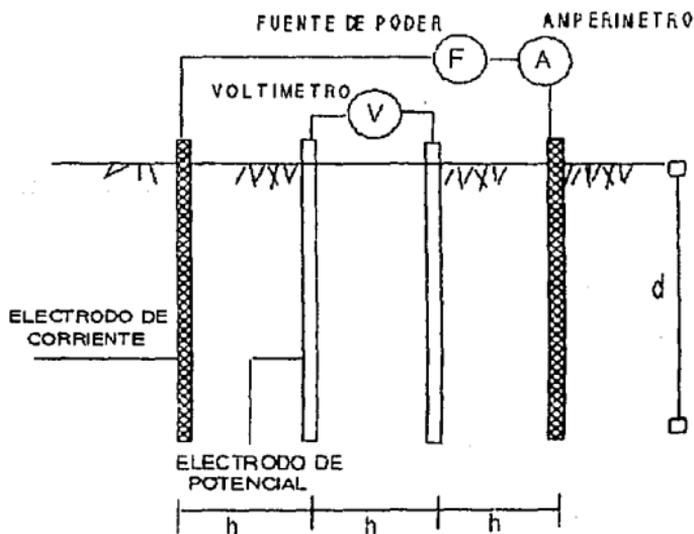


Figura 2 Arreglo de Wenner.

3.3 METODO DEL CONO ELECTRICO.

Con este método se determinan las variaciones con la profundidad de las resistencias a la penetración de punta y fricción del cono; la interpretación de estos parámetros permite definir con precisión cambios en las condiciones estratigráficas del sitio y estimar la resistencia al corte de los suelos mediante correlaciones empíricas.

El cono eléctrico.-

Es una celda de carga con dos unidades sensibles instrumentadas con deformómetros eléctricos; usualmente tiene 2 ton. de capacidad de carga y resolución de +- 1kg, pero en el caso de suelos duros podrá alcanzar una capacidad de 5 ton. y resolución de +- 2kg. El cono generalmente tiene 3.6 cm de diámetro exterior, aunque para suelos blandos se han utilizado hasta de 7.0 cm.

Como se observa en la figura 3, la fuerza que se desarrolla en la punta cónica (1) se mide en la celda inferior (2), y la que se desarrolla en la funda de fricción (3) se mide en la celda superior (4).

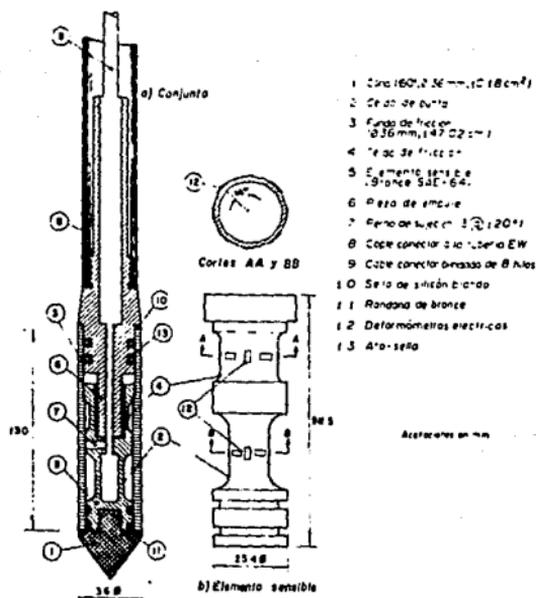


Figura 3 Corte longitudinal del Cono Eléctrico.

La señal de salida del cono se transmite con cables a la superficie. La recibe un aparato receptor y la transforma en señal digital, impresión numérica o directamente en una gráfica.

El cono se hince en el suelo empujándolo con una columna de barras de acero, usualmente de 3.8 cm de diámetro exterior, pudiéndose utilizar cualquier diámetro conocido: las de diámetro grande son más rígidas y permiten aplicar mayor presión con menor riesgo de pandeo, pero tienen la desventaja de que la fricción desarrollada en el fuste es mayor, por lo que requieren máquinas más potentes. Las barras de menor diámetro, en cambio, son fáciles de manejo durante la operación. Por el interior de éstas sale el cable que lleva la señal a la superficie.

La fuerza necesaria para el hincado se logra con un sistema hidráulico, o con una máquina perforadora convencional adaptándole simplemente unas mordazas para la penetración y extracción. Es conveniente instalar un manómetro en la perforadora para medir la presión ejercida.

La velocidad de hincado del cono, es normalmente de 2 cm/seg. Es importante que durante la prueba, la velocidad de penetración se conserve constante, ya que es inevitable que al entrar en contacto con las capas duras el cono pierda velocidad y al pasarla, se acelere.

Para llevar a cabo con facilidad una exploración con cono eléctrico se recomienda lo siguiente:

a) Instalar la máquina perforadora en el punto preciso donde se desea explorar, comprobando que al conectar las barras, queden verticales.

b) Para máquinas ligeras cuyo peso total es del orden o menor que la fuerza máxima que se estima necesitar durante la ejecución, se debe aplicar un lastre o anclaje que sea capaz de proporcionar la reacción necesaria. La capacidad del lastre o anclaje se debe comprobar, empujando las barras apoyándolas sobre madera, sin conectar el cono.

c) Colocar las barras en posición horizontal, se comprueba que estén rectas y las cuerdas en buenas condiciones. En caso de encontrar barras defectuosas se deberán eliminar.

d) Ordenar las barras colocando alternadamente en el mismo lado, la cuerda interior y la exterior, de manera que pueda haber continuidad en la operación de introducir el cable del cono, atravesando el hueco central de todas las barras. Después se enumeran respetando el orden en el que serán hincadas (figura 4).

e) Efectuar una limpieza cuidadosa del cono eléctrico, especialmente de las juntas.

f) Colocar la consola bajo la sombra y se conecta el cono respetando el código de conexión; se revisa que ambas partes electrónicas funcionen correctamente, en caso contrario se deberá cambiar la parte defectuosa.

g) Se desconecta el cable de la consola, se cubre el extremo descubierto de éste con cinta aislante y se introduce atravesando todas las barras, para conectarse nuevamente con la consola. Es necesario dejar una suficiente longitud de cable libre entre las primeras dos barras (figura 4).

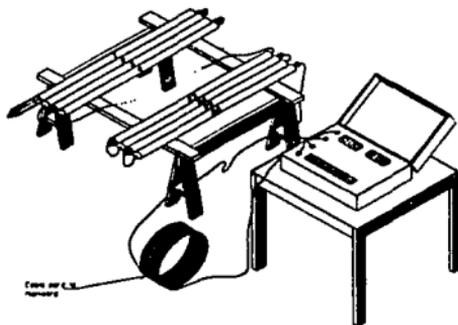


Figura 4. Preparación de barras y cable.

h) Se observa la consola durante un mínimo de 10 minutos. hasta comprobar que se estabilizan las lecturas. Se ajusta la lectura a cero, mediante el dispositivo de control de la consola. Se observa unos minutos más para confirmar la estabilización. La máxima oscilación de lectura debe ser 1 kg.

i) Se verifica la reacción del conjunto cono-consola apoyando el cono conectado con la primera barra; en la pantalla debe aparecer la lectura correspondiente al peso del cono más la barra conectada. Al levantar la barra debe aparecer el 0 en la pantalla (figura 5).

j) Se regulariza la velocidad de hincado de la máquina a la velocidad estandarizada.

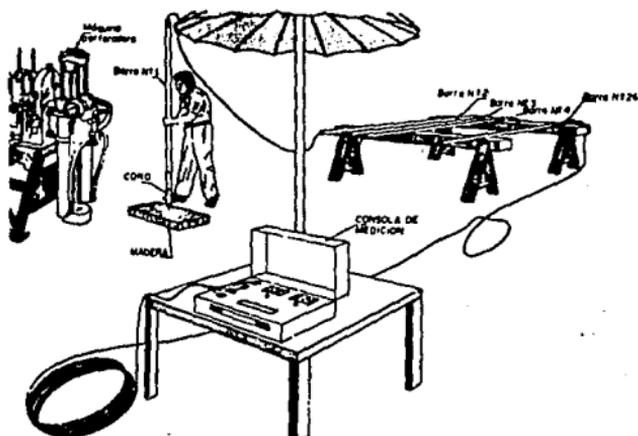


Figura 5 Revisión del funcionamiento del cono.

Para obtener la información de buena calidad, el ingeniero debe supervisar los trabajos cuidando los siguientes aspectos.

a) Las barras deben penetrar al terreno en posición vertical lo cual se puede verificar con una nivelete manual o con una plomada.

b) La profundidad anotada en el registro del sondeo debe concordar con el conteo de las barras.

c) Las resistencias registradas sean comparables con las registradas en sondeos cercanos o con el conocimiento y experiencia existente.

d) En ningún caso deben ocurrir lecturas negativas en la consola mientras el cono está penetrando. (Sólo podrán admitirse durante la extracción del cono).

e) En todas las operaciones se pone especial atención al cuidado y protección del cable, se debe evitar cualquier movimiento que pueda causar su maltrato, tal como: pisadas sobre él, humedecimiento por agua o lodo de perforación, daños durante el

acoplamiento y desacoplamiento de las barras, tensado por el movimiento de las barras, etc.

f) La velocidad de hincado debe ser verificada constantemente, midiendo el tiempo con un cronómetro. La verificación consiste en la longitud penetrada durante un lapso de no menor que 1 minuto, para así obtener la velocidad media de hincado y compararla con la velocidad estándar. La verificación se debe repetir por lo menos a cada 3m.

g) La carga registrada de la punta no debe sobrepasar 90% de la capacidad del cono. este control se efectúa cuidando que en la pantalla no aparezcan lecturas mayores que dicho valor.

h) La fuerza aplicada para el hincado debe ser menor que la que causa pandeo en las barras.



Figura 8. Revisión del funcionamiento del cono.

3.4 UTILIZACION DE LODOS EN LA EXPLORACION.

Es conveniente mencionar que en los trabajos de exploración, al momento de realizar el muestreo la aplicación de lodos es fundamental; ya que su uso nos sirve para enfriar las brocas, transportar el material cortado por la broca al exterior por entre las paredes del sondeo y las barras de perforación, mejora la estabilidad de las paredes de la perforación eliminando con ello el uso de ademe metálico, reduce la depositación de azolves en el fondo del pozo.

Las mismas funciones las realiza el agua, pero el lodo es considerablemente más eficiente para transportar el material y estabilizar las paredes, además de alterar menos el contenido natural de humedad.

Para transportar el agua ó lodo al lugar del sondeo, se emplean bombas (figura 7) siendo las más usuales, las que se mencionan a continuación:

Tabla 11

MARCA	TIPO	GASTO EN LTS/MIN	PRESION EN KG/CM2	POTENCIA EN HP.	MANEJA
Moyno Mod. 3L6	Cavidad progresiva	162	16	7.5	Lodos densos
Barnes Mod. Caracol	Centrifuga de alta presión	150	8	10	Lodos medios

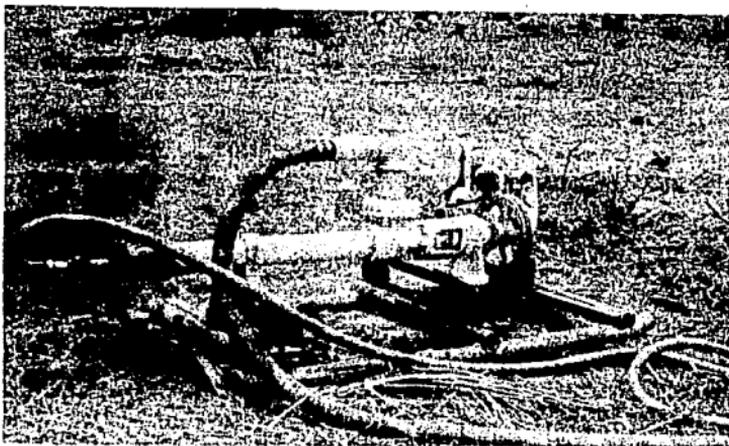


Figura 7 Bomba Moyno 3L6.

En la exploración Geotécnica se utilizan los lodos de agua dulce, los cuales se pueden hacer de arcillas ó bentonita. Los lodos deben cumplir ciertas características, siendo las más importantes:

- 1) Cantidad de agua libre.
- 2) Densidad.
- 3) Viscosidad.
- 4) Tixotropía.

Cantidad de agua libre.- Al emplearse los lodos, forman una costra en las paredes del sondeo debido a que el terreno absorbe el agua libre del lodo. Es preciso, que esta costra sea delgada y resistente para permitir el paso de las herramientas de perforación.

Un lodo con gran cantidad de agua libre, produce a pesar de la circulación, una costra gruesa recomendable para ser utilizada en arcillas.

Densidad.- La densidad de los lodos apropiada que se ha obtenido para ser bombeados, va de 1.2 a 1.4. Es recomendable empezar a trabajar con lodos de densidad 1.2 e irlos modificando conforme se avanza el sondeo según los materiales encontrados.

Viscosidad.- Se define como la resistencia que opone un líquido a fluir; por lo tanto, debe ser lo menor posible para disminuir las pérdidas de carga debidas al flujo del lodo y la potencia de la bomba. Sin embargo, no debe ser lo suficientemente pequeña, con el fin de evitar que se sedimenten las partículas durante la perforación.

Las viscosidades de los lodos medidas en segundos, varían de 30 a 90 ; aquellos que tengan viscosidades mayores de 90 seg. no pueden ser manejados por bombas convencionales. Se recomienda iniciar la perforación con un lodo de 45 segundos e irlos modificando según se requiera.

Tixotropía.- La tixotropía es la propiedad de un líquido por la que se convierte en un gel cuando no circula. Esto evita durante la perforación, que cuando se pare la circulación del lodo, los azolves caigan al fondo del pozo y bloqueé la herramienta.

Tampoco debe ser demasiado grande como para evitar que se restablezca la circulación del lodo.

En el caso de utilizar agua se puede aprovechar algún canal, río o depósito que esté cerca del lugar de trabajo. Para los lodos, es necesario hacer una pequeña excavación con el fin de depositar ahí el lodo de perforación ó almacenarlo en tambos.

3.5 PRUEBA DE PENETRACION ESTANDAR.

La prueba de penetración estandar (PPE) permite estimar la resistencia al esfuerzo cortante del suelo, mediante el número de golpes necesario para hincar el penetrómetro estandar, y obtener muestras alteradas para identificar los estratos que componen el suelo. Las muestras alteradas obtenidas se utilizan para determinar las propiedades índice como son: Contenido natural de agua y los límites de consistencia.

Esta técnica de exploración es útil en suelos granulares, en los que el muestreo inalterado es casi imposible; en suelos cohesivos blandos, como los de la Ciudad de México no es recomendable este método, porque las correlaciones con el número de golpes es poco confiable.

La prueba de Penetración Estándar consiste en hincar el penetrómetro 60 cm. en tres tramos, el primero de 15 cm, el segundo de 30, y el último de 15 cada uno con la masa de un martinete de 63.5 kg. dejado caer de una altura de 75 cm. (trabajo = 4800 kg-cm.) durante el hincado se cuentan el número de golpes que corresponden a cada tramo. La resistencia a la penetración estandar se define como el número de golpes N_1 para penetrar los 30 cms de en medio (de 15 a 30 cms.): los golpes en los primeros 15 cm. son despreciados ya que se considera, que no son representativos por la alteración inducida a causa de la perforación.

Cuando el número de golpes llegue a cuarenta y el muestreador ya no penetre, se suspenderá la prueba. En ocasiones, se hinca el penetrómetro un tramo adicional de 15 cm. lo que permite detallar más confiadamente la estratigrafía del sitio. Es un tubo de acero con un extremo afilado (zapata) cuyas dimensiones se muestran en la *figura 8a*; el tubo debe estar cortado longitudinalmente para facilitar la observación de la muestra (*figura 8b*) razón por la que se le conoce como tubo partido. La válvula en la cabeza del muestreador permite la salida de azolve y evita que la muestra se salga fácilmente del tubo, además en la parte de la zapata va colocada una canastilla que permite la entrada de la muestra pero no así la salida.



Figura 8 a) Penetrómetro estándar ensamblado.
b) Penetrómetro en el que se aprecia
la muestra extraída.

El penetrómetro se coloca en la parte inferior de una serie de barras de perforación que tienen las siguientes características.

Tabla 12. Barras comunes de perforación.

BARRA	DIAM. EXT. en cm.	DIAM. INT. en cm.	PESO EN kg/m.	RECOMENDABLE EN SONDEOS
AW	4.44	3.09	6.53	Menores de 15m.
BW	5.40	4.45	6.22	Menores y mayores de 15 m.
NW	6.67	5.72	8.70	Mayores de 15m.

Ambos tipos son equivalentes porque tienen un peso semejante, sin embargo son preferibles las BW (figura 9) porque sufren menos pandeo al someterlas a los impactos.



Figura 9 Barras de perforación BW y diversos tipos de cabezotes de golpeo.

En la operación del martinete debe vigilarse que su altura de caída sea constante y que el cable de manila tenga un máximo de dos vueltas en la cabeza de gato, para lograr el efecto de caída libre sin fricción. (*figura 10*)

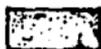


Figura 10 Perforista y ayudante trabajando en penetración estándar.

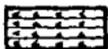
La realización de un sondeo implica la ejecución alternada del muestreo, del avance y rimado de la perforación; por ello, la técnica de perforación que se utilice es una parte fundamental del trabajo de campo que influye en la calidad del muestreo.

SÍMBOLOS COMPLEMENTARIOS PARA FORMULAR LOS REGISTROS DE CAMPO

ROCAS



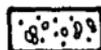
ARENISCA



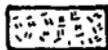
MARMOL



BOLEOS



CONGLOMERADO



GRANITO



RELLENO



PIZARRA



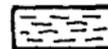
GABRO



RAICES



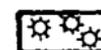
CALIZA



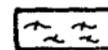
RIOLITA



TURBA



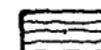
CORAL



ANDESITO



CONCHAS Y FÓSILES



LUTITA



BASALTO



VARIOS

CONCRETO

SUELOS



GNEISS



ARCILLA



NIVEL FREÁTICO



ESQUISTO



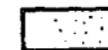
LIMO



SUPERFICIE TERRENO



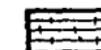
CUARZITA



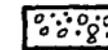
ARENA



DIÁMETRO



DOLOMITA



GRABA

3.6 POZO A CIELO ABIERTO.

Este tipo de sondeo es de los comunmente empleados y recomendados para determinar las propiedades del subsuelo (sobre todo las mecánicas), debido a que las muestras obtenidas son practicamente inalteradas.

El método queda limitado principalmente al tipo de material y altura del nivel freático. Si se desea una mayor profundidad, el procedimiento resulta antieconómico, no tanto por el empleo de ademe, sino por el problema del flujo del agua freática.

Es fácil emplear este método cuando el material es moldeable, no así cuando el material es arena, grava ó boleas.

Se requiere que la forma de estas muestras sea cúbica, con dimensiones mínimas en sus aristas de 25 cm. También pueden ser de forma cilíndrica. El sondeo se efectúa manualmente con pico y pala y las muestras extraidas habrá de protegerlas con una capa de parafina para evitar lo más posible pérdidas de humedad y conservar así la muestra inalterada. Es útil también en el campo cuando existen afloramientos rocosos y es suficiente una exploración a poca profundidad para ratificar la resistencia de la roca ó suelo.

3.7 METODO DE LAVADO (BOLEOS Y GRAVAS).

Este método resulta económico y rápido para conocer aproximadamente la estratigrafía del subsuelo. También se usa en ocasiones como auxiliar de avance rápido en otros métodos de exploración. Las muestras obtenidas son tan alteradas que no se pueden considerar representativas para pruebas de laboratorio.

El equipo necesario para realizar esta prueba es un tripié, un martinete suspendido cuya función es la de hincar en el suelo el ademe a golpes. Este ademe debe ser de mayor diámetro que la tubería que vaya a usarse.

En el extremo inferior de la tubería de inyección, debe ir un trépano de acero (cola de pescado, cruz ó cincel) perforado para permitir el paso del agua a presión. El agua se impulsa dentro de la tubería por medio de la bomba y el swivel.

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; una vez fuera es recogida en un recipiente en el cual se puede analizar el sedimento (*figura 11*).



Figura 11 Método de chiflón y trépano donde se aprecia el reciclaje del agua.

El proceso debe ir complementado en todos los casos por un muestreo con una cuchara sacamuestras, colocada en lugar del trépano; mientras las características del suelo no cambien será suficiente obtener una muestra cada 1.5 m.

En el momento de notar un cambio en el agua de salida, se deberá proceder a realizar un nuevo muestreo.

3.8 METODO MEDIANTE TUBO SHELBY.

Este tipo de muestreador permite obtener pruebas inalteradas a profundidades deseables. El tubo Shelby, no es más que un tubo de lámina unido a una cabeza por medio de dos prisioneros (*figura 12*); el cual se une a las barras de perforación encontrándose alojadas en ellas una válvula check, con el propósito de proteger la muestra de las presiones hidrostáticas. Se utiliza principalmente en suelos blandos (limos y arcillas).



Figura 12 Tubo shelby y cabezote.

Es conveniente antes de hincar el muestreador en el pozo, limpiar el material residual de la perforación, las paredes deben encontrarse estabilizadas con lodo ó ademe cuando el material lo requiera. El muestreador se va introduciendo a presión en forma continua con una velocidad de 15 a 30 cm/seg.

Cuando se tienen suelos blandos con alto contenido de humedad, es conveniente dejar en reposo el muestreador durante cierto tiempo, con el objeto de ayudar a que se incremente la adherencia entre el material y el tubo.

Una vez que se logra esto se hacen girar las barras de perforación antes de sacar el tubo del sondeo logrando así cortar el extremo inferior de la muestra.

Después de que ha sido extraído el muestreador, se procede a desacoplar el tubo o camisa que contiene la muestra, se sella instantáneamente con parafina y brea y en la parte superior de la muestra se anota la fecha, número de sondeo, profundidad e identificación del material; se traslada al laboratorio donde es necesario partir el tubo para extraer la muestra (inalterada).

3.9 METODO CON MUESTREADOR DENISON.

El barril Denison *no* es recomendable cuando el material contiene gravas. Basicamente el muestreador Denison consta de tres partes: Dos tubos concéntricos y una cabeza doble giratoria.

El tubo exterior se encuentra constituido de una zapata dentada ya sea de diamante o de chispa de tungsteno, la cual corta el material por rotación. En cambio el tubo interior y el dispositivo donde queda acoplado, reúne características semejantes al tubo Shelby estando conectado al cuerpo de la cabeza mediante baleros, por lo tanto, el tubo interior permanece estático al girar el resto del muestreador.

Durante todo el transcurso del ensaye, al estarse hincando el muestreador, debe aplicarse presión vertical utilizando el sistema hidráulico, procurando que al efectuar la rotación el tubo interior no gire, introduciendo asimismo la circulación del lodo de perforación. La velocidad de rotación para el tubo exterior debe estar comprendido entre 50 y 200 r.p.m.

3.10 METODO DE ROTACION EN ROCA.

Mediante el método de rotación en roca se puede obtener una información rápida. Cuando el material por atacar presenta dificultad a la ruptura (grava, boleos, estrato rocoso), el tipo de muestra es alterada, sirviendo únicamente para clasificar el material, definir el espesor del estrato, y realizar pruebas índice.

La operación del equipo es mecánica, con movimientos de rotación en forma simultánea y aplicando presión vertical a la broca constituida por diamantes, impregnada de diamantes ó de chispas de tungsteno. Lo anterior se esquematiza en la siguiente figura (*figura 13*):



Figura 13

- a) Broca de diamante EW
- b) Broca de chispa de tungsteno EW
- c) Broca impregnada de diamante EW
- d) Broca impregnada de diamante NW
- e) Rima de diamante EW
- f) Canastilla opresora de núcleos EW
- g) Rima de diamante NW
- h) Canastilla opresora de núcleos NW.

PRODUCTOS DE DIAMANTE

TABLA GUIA PARA SELECCION DE BROCAS IMPREGNADAS

No	FORMACION	ROCA	DUREZA MOHS	RANGO DE APLICACION (COLORES-MEXICO)	CHRISTENSEN MEXICO	CHRISTENSEN USA	
1	BAJA DUREZA	ARENISCA	4 - 6	█	█	█	█
	MUY ABRASIVA	GRANITO					
	GRANO MEDIO A GRUESO	CALIZA					
	FRACTURADA	PIZARRA					
2	DUREZA MEDIA	ARENISCA	5 - 7	█	█	█	█
	ABRASIVA	PEGMATITA					
	GRANO MEDIO A GRUESO	CUARCITA					
	FRACTURADA	ANDESITA					
3	DURA	CONGLOMERADO	6 - 8	█	█	█	█
	POCO ABRASIVA	CUARCITA					
	GRANO MEDIO A GRUESO	RIOLITA					
	POCO FRACTURADA	PEGMATITA GABRO					
4	MUY DURA	GRANITO	7 - 9	█	█	█	█
	GRANO FINO A MEDIO	DIORITA					
	CONSOLIDADA	GNEIS					
	NO ABRASIVA	ESQUISTO BASALTO					
5	ULTRA DURA	TACONITA	7 - 10	█	█	█	█
	GRANO FINO	PEDERNAL					
	COMPACTA	JASPE					
	NO ABRASIVA	CUARZO					

LA CODIFICACION EN COLORES DE NUESTRAS BROCAS ESTAN CONSIDERADOS PARA UNA FACIL SELECCION CUANDO SE DESEA PERFORAR EN ROCAS, DESDE BAJA DUREZA, MUY ABRASIVAS Y FRACTURADAS HASTA CONSOLIDADAS, DE GRANO FINO Y ULTRADURAS.

La velocidad de rotación, al igual que la presión aplicada a la broca, esta en función del tipo de material por atacar.

Dependiendo de las características que presenten cada uno de los estratos al estar realizando el sondeo, dará la pauta a seguir para hacer una serie de combinaciones de acuerdo con los diversos procedimientos de exploración antes mencionados con el objeto de recabar mayor información.

Cuando los estudios de exploración requieren de profundidades considerables, ya sea por las condiciones a que va a estar sujeta la estructura, a la importancia de la misma, o a la dificultad que presenten los estratos al estar realizando los sondeos, estando en función del tiempo, es necesario en estos casos emplear maquinaria de avance hidráulico, llegando a tener las siguientes ventajas:

- A) En suelos duros facilita el avance.
- B) Se pueden efectuar sondeos a grandes profundidades.
- C) Las muestras que se obtienen pueden ser inalteradas.



Figura 14. Panorama de un trabajo de exploración en un cruce de la Autopista México-Acapulco.

EQUIPO UTILIZADO EN LOS DIFERENTES METODOS

T I P O	PENETROMETRO ESTANDAR	LAVADO	TUBO SHELBY	ROTACION	TUBO DENISON
PENETROMETRO ESTANDAR	X				
MARTINETE (63.5 Kg)	X	X			
TRIPLE	X	X	X	X	X
POLEA SENCILLA	X	X	X	X	
ADAME	X	X	X	X	X
GUIA	X	X			
MALACATE	X	X	X	X	X
LLAVES STILLSON	X	X	X	X	X
TREPANOS	X	X	X	X	X
BOMBA DE AGUA	X		X		X
SWIVEL	X	X	X		X
MAQUINA PERFORADORA		X	X	X	X
BARRAS DE PERFORACION		X	X	X	X
LLAVE DE CADENA		X	X	X	X
MANGUERA DE SUCCION (2")		X	X	X	X
MANGUERA REFORZADA (1")		X	X	X	X
CABLE DE MÁNILA	X	X	X	X	X
DIFERENCIAL DE 1.5 Ton.			X	X	X
POLEA DOBLE			X		X
TUBO SHELBY			X		
CABEZOTES			X		X
BROCAS TRICONICAS				X	
BARRIL MUESTREADOR				X	
RIMAS				X	
CANASTILLAS				X	
ZAPATAS				X	
BARRIL DENISON					X

CAPITULO IV**PROBLEMAS Y RECOMENDACIONES DE EXPLORACION**

4.1 DETECCION DE CAVERNAS Y PROBLEMAS EN LOS METODOS DE EXPLORACION

Es importante una correcta programación de los sondeos ya que el encontrarse con cavernas subterráneas puede traer graves consecuencias en cuanto a tiempo y dinero. A continuación se establecerá un orden consecutivo de actividades, basado en el reconocimiento directo o indirecto del sitio que se requiere estudiar.

Como primer paso se contará con la ayuda de un Geólogo para poder tener una idea de la geología con que cuenta una zona determinada; apoyándose en las cartas geológicas y en fotografías aéreas. Este estudio de fotointerpretación debe complementarse con la inspección física del sitio y con la clasificación geotécnica y geológica de los afloramientos. A manera de antecedente y como información complementaria se necesita recabar datos entre los habitantes de la zona en estudio.

Ya en la exploración el procedimiento para identificar una caverna consiste en observar el cambio de intensidad del ruido del motor de la máquina durante la perforación y la ausencia de retorno del agua; cuando esto ocurre se debe suspender la inyección de agua y operar únicamente con el mecanismo elevador para determinar la

altura de la cavidad. La mayor dificultad que se ha tenido en las experiencias realizadas es la falta de habilidad del perforista, lo que obliga a mantener una supervisión muy cuidadosa.

En el método de *Lavado* se debe tomar en cuenta que éste generalmente obliga a tener un error de hasta 1m. al marcar la frontera entre los diferentes estratos.

Para el muestreo con tubo de pared delgada el problema más frecuente es el sacar la muestra del subsuelo ya que se ha visto que la falta de experiencia de los perforistas ha llevado a tener conclusiones erróneas de los sitios en estudio. El tubo Shelby al ser extraído con la muestra forma un vacío que al sacarlo lentamente o con interrupciones provoca que la muestra escurra; se debe sacar de una sola vez y firmemente. Otro inconveniente es que el tubo por lo general puede ocuparse una sola vez, debido a que para sacar la muestra ya en el laboratorio con un mínimo de alteración es necesario cortar el tubo en tramos. En suelos cohesivos relativamente compactos, el uso de tubo Shelby es impropio por la dificultad que representa el hincado.

Dentro de la penetración estandar se debe limpiar el sondeo con un chiflón cada vez que sea extraído el muestreador; lo incierto de esta prueba es respetar la altura de caída libre del martinete sobre el penetrómetro, en campo es difícil mantener esta altura constante.

Siguiendo los lineamientos mencionados en capitulos anteriores, se puede esperar un sondeo de cono eléctrico con buenos resultados; sin embargo, no se ha eliminado la posibilidad de que se presente algún error debido al propio sistema del cono o a alguna falla de preparación y ejecución.

Los problemas que se puedan presentar en un sondeo de cono deben ser detectados sobre la marcha y corregidos a la mayor brevedad posible; para ello es necesario tener un amplio conocimiento del funcionamiento del sistema electrónico, de la máquina perforadora y contar con información geotécnica de la zona.

A continuación se presentan una serie de problemas con sus respectivas correcciones.

1) Verticalidad de las barras.- Al perder la verticalidad, la profundidad registrada con la longitud de las barras resulta aparentemente mayor que la profundidad real del sondeo (figura 15). Además de que la resistencia a la penetración no corresponde a la componente vertical.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

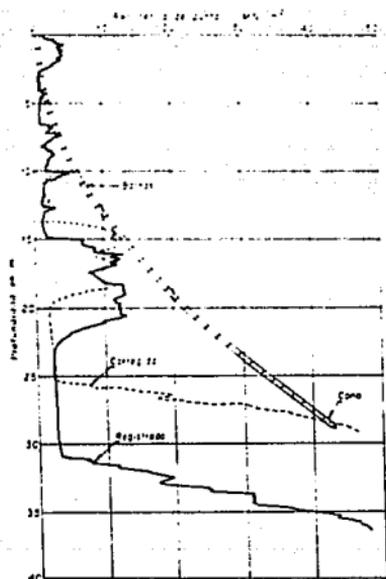


Figura 15 Medición con inclinómetro en un sondeo eléctrico.

Corrección.— Existen por lo menos tres medidas correctivas:

a) Implantar al cono eléctrico un inclinómetro que mida la inclinación del cono durante todo el sondeo y corregir la profundidad registrada con base en los ángulos medidos (figura 15).

b) En caso de que la información obtenida sea suficiente para efectuar un reajuste de la profundidad total de exploración, se podrá corregir la profundidad registrada, cuando el ángulo de inclinación sea pequeño. En la figura 15 se muestra la corrección del sondeo desviado con tres ángulos de inclinación.

c) En caso de que no se puedan tomar las medidas anteriores, sería necesario repetir al menos la parte desviada del sondeo, haciendo una perforación guía.

2) **Desajuste electrónico.**— Al intentar pasar capas duras cuya resistencia se aproxima o inclusive supera la capacidad del cono, éste sufre una deformación permanente y se desajusta el origen de la celda, por lo que las lecturas que aparecen en la consola se desfasan incrementando un número constante. En la figura 16 se muestra un sondeo con este tipo de problema.

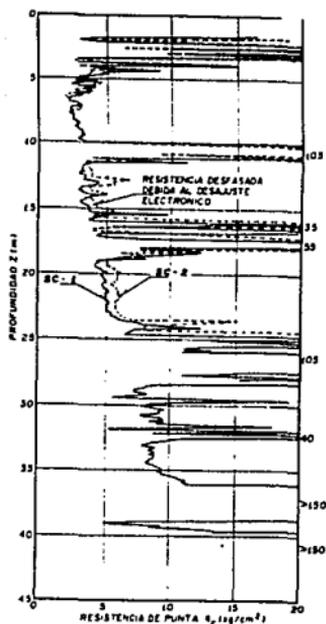


Figura 16. Desajuste electrónico del cono.

3) Velocidad de hincado.- La velocidad de hincado debe ser constante durante todo el sondeo, de una magnitud estandarizada; ya que, la resistencia de la arcilla a la penetración de la punta del cono es función de la velocidad de hincado, aumentando conforme aumenta la velocidad (figura 17).

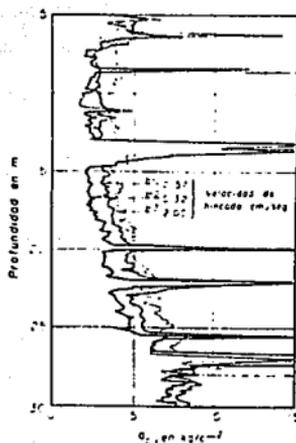


Figura 17. Influencia de la velocidad en el hincado.

Corrección.— El operador debe llevar consigo un cronómetro y estar verificando la velocidad constantemente. al detectar el problema se reajusta la velocidad sobre la marcha y se anota la velocidad real en la columna de observaciones.

4) Lecturas inestables.- Las lecturas de la consola se vuelven muy inestables, variando sin lógica, brincando de valores muy pequeños a muy grandes bruscamente y viceversa, o bien, desaparecen las lecturas en la pantalla. Este fenómeno puede atribuirse a que se encuentre laxo el cable, o el propio cono.

Corrección.- Extraer el cono, revisar los cables, en caso de encontrar los daños, repararlos y volver a ajustar la consola al origen, verificar que el cono esté en buen estado, probando que la consola indique la lectura correcta al apoyar el cono verticalmente. En caso de no encontrar daños en el cable, puede ser que el cono este averiado y que requiera una reparación mayor.

5) Deformación limitada de la junta.- Las juntas entre la punta del cono y la funda, así como entre ésta y el cable deberán estar libres de restricciones del desplazamiento axial, para garantizar que los deformómetros eléctricos registren las fuerzas del hincado; si ha sucedido que durante la ejecución del sondeo, se introdujeron materiales duros en la unión, basta que sea un grano de arena para limitar la capacidad de deformación de las juntas; en este caso las fuerzas registradas pueden ser mucho menores que las reales, inclusive de valores nulos o casi nulos.

En la figura 18 se muestra un caso en que al penetrar la costra superficial el cono quedó registrando una carga aparente alta (curva A); posteriormente se repitió el sondeo y se demostró que la resistencia confiable era menor (curva C).

En la figura 19 se muestra otro caso real en el cual se había registrado una resistencia baja, incluso de valor prácticamente nulo; sin embargo, al extraer el cono se encontró el error descrito.

Una manera de detectar este problema consiste en observar incongruencia entre las lecturas de la consola y la presión aplicada de la máquina; es decir, cuando las lecturas de la consola indican una fuerza menor que la presión medida en el manómetro del gato.

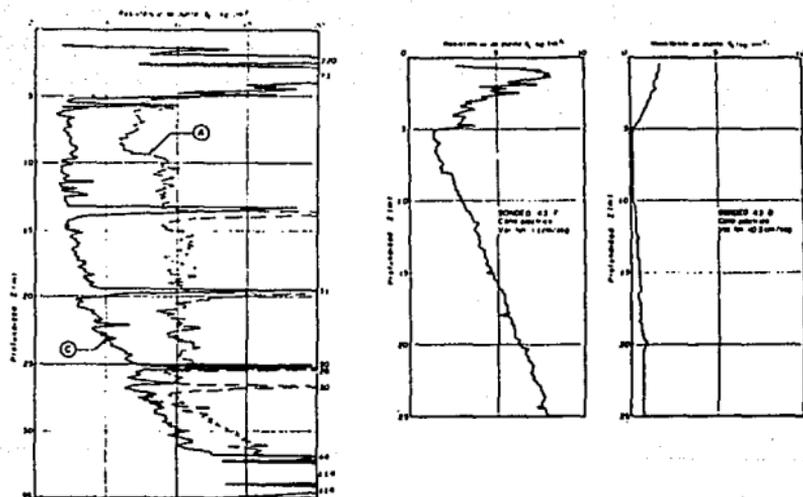


Figura 18 y 19 Casos de deformación limitada de la junta.

Corrección.- Se deberá extraer el cono, revisar y anotar la limpieza en las juntas, volver a verificar el funcionamiento del cono y repetir el sondeo o por lo menos el tramo de lecturas equivocadas.

Humedad en el cono.- En caso de que las juntas del cono no sean herméticas o de que los sellos fueran destruidos durante el mismo sondeo, el agua penetra al cono y causa mal funcionamiento de los deformómetros eléctricos. En este caso se observan lecturas ilógicas, incluso negativas aunque el cono trabaje a compresión.

Corrección.- Se debe abrir el cono y corregirlo por especialistas; cada vez que se abra el cono se le debe calibrar.

Picos mínimos.- Inmediatamente después de haber atravesado un lente o estrato duro, se observa que la resistencia del cono registrada en la consola, frecuentemente se reduce a un valor menor que el normal y a veces hasta valores prácticamente nulos (figura 20). Este fenómeno no es realmente ningún error de ejecución ni del sistema electrónico, sino que al pasar el estrato duro, la fuerza de hincado aplicada es mayor, así como la energía de deformación acumulada en las barras y el cono; pasando el estrato, esa energía de histéresis se libera convirtiéndose en fuerza de hincado, que puede tener una magnitud importante combinada con una velocidad tal que fracturan la arcilla, en este momento la punta del cono pierde contacto con el cono y no registra resistencia.

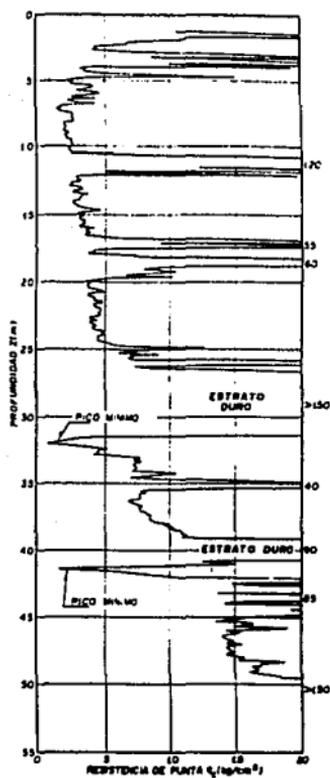


Figura 20 Picos mínimos en la gráfica de un sondeo.

Este fenómeno no requiere medidas correctivas en campo, sino simplemente se toma en cuenta la interpretación que el pico negativo no corresponde a la resistencia real. Estos picos negativos también ocurren durante la extracción del cono, por las tensiones que se desarrollan.

El operador del equipo debe conocer los aspectos básicos del cono, para asegurar que los detalles de la maniobra, sean precisos y confiables; sobre todo teniendo en mente que el cono es un aparato delicado que fácilmente puede ser dañado y aún destruido.

El ingeniero que recopile la información general durante la prueba, debe conocer y hacer cumplir todos los detalles descritos anteriormente, para garantizar la confiabilidad de la información obtenida.

4.2 PROBLEMAS EN EL EQUIPO

El ingeniero debe conocer perfectamente el equipo y revisarlo cuidadosamente a la hora de su adquisición y empleo.

La zapata de un penetrómetro debe coincidir perfectamente con el tubo partido porque si alguno tuviera un grosor diferente alteraría la resistencia a la penetración.

Así pues, se deberá poner atención en que el equipo se acople perfectamente, es decir, por ejemplo tener barriles y brocas con cuerdas que vayan por fuera "macho" para poder unirlos a las barras de perforación y rimas (figura 21) que generalmente vienen con la cuerda por dentro "hembra"; es conveniente tener para este efecto un buen surtido de coples y coples reductores para los cambios de diámetro.

No deberá existir ningún juego en las uniones de la columna de perforación ya que puede provocar que se pierda la verticalidad y un desgaste inadecuado de las brocas.



Figura 21 Acoplamiento de barril de perforación NW (1), rima do diamante (2) y broca de diamante (3).

A continuación se proporcionan una serie de aspectos que deben tomarse en cuenta principalmente en lo referente a piezas de diamante, ya que éstas representan un alto costo dentro de la perforación.

Cuando no se utilizan rimas hay que alternar las brocas, es decir, ir empleando la broca adecuada al tipo de suelo que se esté atacando; no hay que utilizar la misma broca, ya que cada tipo de roca requiere de un tipo especial de broca. Hay que tener la precaución de tener rimas y brocas de repuesto (figura 22); aún las usadas, guardándolas dentro de su envase original o envueltas dentro de una caja se protegerán y se podrán seguir empleando. Una vez que se saque la broca del barreno hay que revisar sus calibres tanto interior como exterior, y en caso de estar lo suficientemente gastadas, reponerlas por unas nuevas. Las cuerdas estarán siempre limpias y engrasadas, esto evitará que se acoplen con dificultad y que existan vibraciones innecesarias. No hay que dejarlas caer ni golpear ya que se pueden quebrar los diamantes, de igual manera habrá que evitar aflojar o apretar las piezas de diamante por la parte de la matriz con las llaves *stilson*.



Figura 22 Rima, canastilla opresora y broca.

Los *trépanos* se usarán para quebrar hasta donde sea posible, restos de muestra ó cuerpos extraños que hayan quedado en el fondo del barreno, nunca hay que dejar pedazos de metal o de muestra en el fondo porque se arruinarían los diamantes de las brocas.

Si se desconoce la formación geológica por perforar habrá que usar una *broca estandar* de tamaño de diamantes mediano. En general se usan piedras grandes en rocas suaves. No deben emplearse piezas de diamante pequeño en terrenos quebrados.

Las *brocas impregnadas* son útiles en terrenos quebrados y en conglomerados, siempre se tiene que seleccionar el tamaño de diamantes. Al estrenar una broca o rima de debe aumentar la velocidad de penetración gradualmente por lo menos durante el primer metro de perforación. Cuando una broca se tapa con muestra ó núcleo, se deberá destapar con un trozo de madera, nunca con objetos de metal. Las brocas lisas ya gastadas se emplean para la perforación de formaciones suaves, no hay que forzarlas en estratos duros. Si se sospecha que la broca puede alisarse, se aumentará la presión del cabezal y se disminuirán las revoluciones por minuto del mismo.

Siempre hay que mantener la broca en el fondo del barreno bajo una sólida presión, nunca se encaja la broca en materiales blandos, para esto se aumentan las revoluciones por minuto y la cantidad de agua manteniendo a los diamantes trabajando todo el tiempo.

Si una broca gira sin estar asentada debidamente en el fondo, no corta y sus diamantes se alisan; no se fuerza la broca hasta el punto tal que corte tan aprisa que las partículas desprendidas por el corte no alcancen a ser removidas por el agua o lodo de perforación. Nunca se aumentarán las revoluciones de la máquina si la broca disminuye su penetración, además ésto facilita que los diamantes se alisen. Aumentar en dado caso poco a poco la presión es lo más recomendable.

Las brocas de diámetro grande (NW) no es conveniente girarlas a altas velocidades.

Para iniciar un sondeo, es recomendable utilizar brocas usadas, de preferencia una impregnada; no deben usarse brocas nuevas porque se corre el riesgo de perder buena parte o toda la vida de la pieza en tan solo unos centímetros. Se deben barrenar los primeros centímetros gradualmente con mucho cuidado. No se debe trabajar la broca hasta su destrucción porque tienen un valor de recuperación, por lo que se debe llevar un registro de brocas en el que se apunten los metros perforados y tipo de suelos atacados.

Cuando se empieza a trabajar en un barreno y se tiene que suspender temporalmente, se tiene que conservar tapado libre de suciedad y cuerpos extraños. Al reiniciar el trabajo se debe lavar el barreno con el uso de trépanos ó brocas de tungsteno.

En el empleo de barriles muestreadores, los rígidos de doble tubo son para uso general (figura 23); los de tubo sencillo son para rocas uniformes y diámetros pequeños, tienen el inconveniente de que disminuyen la vida de la broca, por recibir el agua ya contaminada y a mayor presión.



Figura 23 Barril muestreador doble rígido donde se aprecia el núcleo de roca cortado.

Los barriles torcidos producen vibraciones, desgastes prematuros de las brocas y pérdidas de muestra; siempre deben de estar engrasados y es necesario conocer la longitud de muestra que puede recibir un barril. No es conveniente seguir perforando si se cree que la muestra no está siendo atrapada por la canastilla opresora de núcleos.

En cuanto al varillaje de perforación se revisará que no esté encorvado, ya que esto produce vibraciones, reduce el avance, quiebra los diamantes y desgastan las máquinas.

En cuanto al volumen de fluido de perforación se inyecta agua antes de iniciar la rotación de las brocas, hay que mantener el bombeo después de parar, hasta llevar la broca a lugar seguro dentro del barreno. Es totalmente antieconómico perforar con un gasto pobre de agua ya que se quemarían las brocas a un bajo rendimiento; hay que asegurarse que el agua fluya por la broca. El swivel contará con la suficiente grasa para poder girar libremente (figura 24) y así no obstruir el paso del agua.



Figura 24 Swivel AW con su coplo AW para unirse a la columna de varillas.

4.3 PROBLEMAS DE CAMPO

La entrada al sitio de trabajo muchas veces puede ser bastante abrupta y peligrosa porque hay que internarse al campo con la máquina perforadora, bomba de lodos, tubería, en fin con todo el equipo de perforación y de campamento; muchas veces sin contar siquiera con una brecha de paso, cuando con un simple reconocimiento geológico y abrir algunas trincharas bastaría para tener unos buenos datos para el estudio de cimentación.

La supervisión de un ingeniero competente es indispensable debido a que el perforista muchas veces, simplemente por terminar rápidamente su trabajo no perfora a la profundidad solicitada y estima sin conocer los datos de campo. Esto puede repercutir como ha sucedido en varias ocasiones en que se tengan que cambiar los proyectos de las estructuras o volver al sitio y realizar los trabajos de exploración debidamente desarrollados.

A continuación se muestran dos machotes para controlar los Avances y Costos así como el combustible utilizado por las brigadas de exploración.

Una situación que requiere de especial cuidado y que frecuentemente ocurre en oficinas gubernamentales donde se realizan las exploraciones y la contratación de la construcción de las obras, es el traslape de actividades. En esas situaciones sucede que cuando la brigada todavía se encuentra en la fase de exploración, la compañía constructora ya se encuentra cimentando teniendo como base únicamente datos muy superficiales del sitio.

**CAPITULO V ASPECTOS ECONOMICOS DENTRO DE LA
EXPLORACION E INTERPRETACION DE
RESULTADOS**

**5.1 ASPECTOS ECONOMICOS DENTRO DE LA EXPLORACION
E INTERPRETACION DE RESULTADOS DE CAMPO.**

A continuación se enumerará el equipo adecuado con que deberá contar una brigada de exploración, y el costo de cada concepto dado en salarios mínimos. Este podrá variar dependiendo del distribuidor y de la procedencia del equipo.

Maquina perforadora*	15000.00
Bomba para lodos de 1"0 y presión 150 lbs/pul2	3361.0
Manguera de succión de 2" de diámetro con check	75.0
Manguera reforzada de 1" de diámetro	71.0
Cable de manila de 1" de diámetro	..
Tripié de 6m de largo y 2 1/2" de diámetro	109.0
Swivel AW	67.0
Elevador para barra AW	32.0
Pescador macho y hembra para barra AW, BW y NW	45.0
Martinete de 83.5 kgs.	101.0
Barra de perforación AW de 2'	29.0
Barra de perforación AW de 5'	45.0
Barra de perforación AW de 10'	..
Barra de perforación BW de 5'	60.0
Barra de perforación BW de 10'	62.0
Cabezote de golpeo para barra AW con guía.	67.0
Mordazas AW para chuck de perforadora	16.0
Mordazas BW para chuck de perforadora	17.0
Penetrómetro estandar de media caña	75.0
Tubo de ademe BW de 3'	67.0
Tubo de ademe BW de 10'	80.0
Tubo de ademe NW de 3'	69.0
Tubo de ademe NW de 10'	84.0
Cabezote de golpeo para ademe BW con guía	67.0
Cabezote de golpeo para ademe NW con guía	92.0
Zapata biselada para ademe BW	25.0
Zapata biselada para ademe NW	27.0
Canastilla para penetrómetro estandar	0.84
Canastilla opresora de núcleos AW	0.84
Canastilla opresora de núcleos BW	0.84

Canastilla opresora de núcleos BW	0.84
Canastilla opresora de núcleos NW	0.84
Broca tricónica de 3 1/8" de diámetro	117.0
Broca de diamante AWG de 40-60 p/k matriz dura	109.0
Broca de diamante AWG de 60-90 p/k matriz dura	120.0
Broca de diamante BWG de 40-60 p/k matriz dura	143.0
Broca de diamante BWG de 60-90 p/k matriz dura	153.0
Broca de diamante NWG de 40-60 p/k matriz dura	158.0
Broca de diamante NWG de 60-90 p/k matriz dura	178.0
Rima diamantada BWG de 15 p/k con 8 kilates	80.0
Rima diamantada NWG de 15 p/k con 8 kilates	134.0
Barril muestreador BWG de 5"	210.0
Barril muestreador NWG de 5"	218.0
Trépano de cruz EW-AW	84.0
Trépano de cruz NW-AW	86.0
Trépano de cincel BW-AW	84.0
Trépano de cincel NW-AW	86.0
Trépano de cola de pescado EW-AW	84.0
Trépano de cola de pescado NW-AW	86.0
Cople para barra de perforación AW	13.0
Cople para barra de perforación BW	13.0
Cople para barra de perforación NW	13.0
Cople reductor BW macho AW hembra	15.0
Cople reductor NW macho AW hembra	15.0
Polca sencilla de 18" de diámetro para cable de 1"	75.0
LLave de cadena núm.36	205.0
LLave stillson núm.18	32.0
LLave stillson núm.24	34.0
LLave stillson núm.36	59.0
Autoclé	109.0

El equipo de rotación con diamante resulta ser bastante costoso y los miembros de las brigadas de exploración generalmente, no ponen cuidado alguno en conservarlo en buen estado; en cuanto a brocas se recomienda que se usen al sesenta por ciento de su vida útil para luego, devolverlas al distribuidor y rescatar los diamantes y así obtener un menor costo de equipo.

La máquina perforadora deberá contar con cabezal hidráulico, 4 velocidades, sistema de patines retráctiles tipo trineo (útil para sondeos mixtos) y sistema de malacate con cabeza de gato.

Tabla 13 Características de las máquinas de perforación.

MAQUINA	PESO en kg	CAPAC. (m) ESPIR. NW 4 1/2"	FZA. DE EMPUJE en kg.	VRL. DE ROTACION en rpm.	CARRERA DE PERE en mts.	POT. en Hp.
Longyear Mod. 34	1130	260	3200	22-1510	0.6	36
Mobile Drill Mod. B53	1826	75----300	8568	27-716	1.2	97
Mobile Drill Mod. B61	3721	90-----450	4800	65-850	1.7	97
Acker Mod. ADII	2310	76----300	7200	55-553	1.8	50
Acker Mod. MP50	1996	46----300	3200	43-287	1.8	48
CME	1280	45----150	4080	75-475	1.7	36

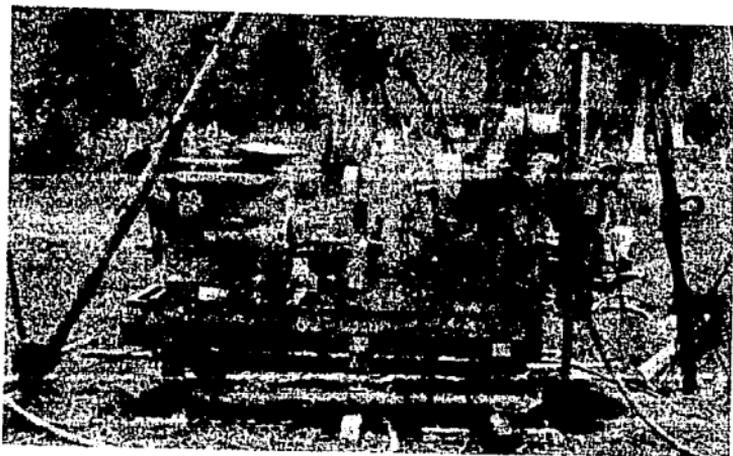


Figura 25 Perforadora Longyear modelo 34

Al contratar estudios de cimentación, apoyados en la supervisión se podrán evitar gastos innecesarios de sondeos no realizados o materiales jamás encontrados ya que las compañías privadas toman como parámetros para cobrar el tipo de estratos encontrados, y el equipo utilizado en sus trabajos. Para este fin se considera que mientras más resistente es el suelo mayor es el precio de su exploración. A continuación se proporciona una lista de datos a cotizar que emplea una oficina gubernamental para trabajos asignados a ser contratados y la cotización real de un contratista; los precios unitarios están dados en salarios mínimos.

104

RELACION DE CONCEPTOS A COTIZARSE PARA EXPLORACION
Y MUESTREO DE LAS OBRAS SIGUIENTE:

OBRA: _____

<u>C O N C E P T O</u>	<u>UNIDAD</u>	<u>CANTIDAD</u>	<u>P.U</u>	<u>IMPORTE</u>
1.- Ejecución de sondeos mediante el método de Penetración Estándar.				
a) En suelos	m			
b) En suelos con boleos aislados	m			
c) En acarrees	m			
d) Avance en muestreo en suelos	m			
e) Hincia de tubo Shelby	m			
f) Con cono Eléctrico	m			
2.- Ejecución de sondeos mediante rotación.				
a) Avance con broca tricónica - en suelos con boleos aislados	m			
b) Por rotación con barril y broca de diamante en boleos	m			
c) Por rotación con barril y broca de diamante en roca	m			
3.- Ejecución de sondeos mediante pozos a cielo abierto de _____ m de profundidad.	lote			
4.- Empleo de Adese metálico diámetro N _____				
a) Recuperable				
a.1.- En suelos	m			
a.2.- En suelos con boleos aislados	m			
b) No recuperable				
b.1.- En suelos	m			
b.2.- En suelos con boleos aislados	m			
c) Utilización de lodos bentoníticos	m			

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO
5.- Pruebas de permeabilidad			
a) Tipo "slug"	Prueba		
b) Tipo "infer"	Prueba		
c) Tipo "Haberberg"	Prueba		
d) Otros	Prueba		
6.- Suministro de agua para la perforación incluyendo aditivos	Lote		
7.- Fletes, transportes y mano de obra			
a) Transporte del equipo de perforación y personal a los sitios, viaje redondo; incluyendo transporte local del personal durante los trabajos, cambio entre sondes y cruces.	Lote		
b) Suministro, construcción y desmontaje de balsa para exploración con tirante de agua	Lote		
c) Utilización de lancha para acceso a la balsa	Lote		
d) Manejo, empaque y transporte de muestras a la Ciudad de	Lote		
8.- Trabajos de Ingeniería e Informes Técnicos y fotográficos, incluyendo recomendaciones	Lote		

CONCEPTO	PRECIO UNITARIO
Transporte de equipo y brigadas al sitio de estudio	0.34/km.
Muestreo alterado por el método de Penetración Estandar incluyendo pruebas índice de laboratorio	18.49/m.
Muestreo inalterado con tubo Shelby de 4" incluyendo pruebas índice de laboratorio.	24.37/m.
Muestreo inalterado con barril Denison de 4" interior ó tubo Shelby dentado, incluyendo pruebas índice de laboratorio.	28.47/m.
Rimado de perforación con broca tricónica.	
-De 3" a 4 1/2" en suelos no cementados excepto acarrees con gravas y boleas.	2.94/m.
-De 3" a 6" en suelos no cementados excepto acarrees con gravas y boleas	4.62/m.
Perforación y muestreo utilizando barril NQ con broca de diamante.	
-En rocas calcáreas ó arcillas cementadas.	
+ Poco fracturada	16.81/m.
+ Muy fracturada	29.41/m.
-En rocas cuarzosas	
+ Poco fracturada	36.61/m.
+ Muy fracturada	52.10/m.
-En acarrees con gravas y boleas.	65.55/m.
Perforación sin muestreo con broca tricónica de 2 5/8"	
-En suelos no cementados, excepto acarrees.	5.88/m.

CONCEPTO	PRECIO UNITARIO
-En acarreos con grava y boleos.	29.41/m.
Instalación de ademe metálico recuperable.	
-En suelos no cementados, sin acarreos + NW + 6"	8.72/m. 15.13/m.
-En suelos cementados ó rocas. + NW	15.13/m.
-En acarreos con gravas y boleos + NW + 6"	37.71/m. 74.79/m.
Suministro de agua dulce para perforación.	23.53/día
Viáticos por brigada en tránsito y en el lugar.	37.81/día
Movimiento del equipo entre sondeos incluyendo desmontaje e instalación.	109.25/turno
Apertura de brechas para mover el equipo.	151.26/km
Transportes locales.	128.05/sitio
Visitas de un ingeniero especialista al sitio durante los trabajos.	294.12/visita
Envío de muestras.	16.81/sondeo

CONCEPTO	PRECIO UNITARIO
Empleo de balsa	42.01/día
Lodos de perforación.	1.05/m.
Pruebas de laboratorio para determinación de propiedades mecánicas, incluyendo densidad de sólidos.	
-Compresión no confinada.	2.94/pba.
-Compresión triaxial no consolidada no drenada.	10.50/pba.
-Compresión triaxial consolidada no drenada.	14.71/pba.
-Consolidación unidimensional	15.13/pba.
Honorarios profesionales por interpretación, análisis y ejecución de los estudios de Mecánica de Suelos.	40% del subtotal de los conceptos anteriores.

Dentro de la interpretación de la prueba de penetración estandar se han estimado los siguientes valores para clasificar la compacidad en arenas y consistencia en arcillas:

Tabla 14.

Arenas y limos no plásticos Resist. a la penetración		Compacidad	Arcillas y limos plásticos Resist. a penet.		Consistencia	kg/cm ²
0-4		Muy suelta	<2		Muy blanda	<.25
5-10		Suelta	2-4		Blanda	.25-.50
10-30		Media	4-8		Media	.50-1.0
30-50		Compacta	8-15		Firme	1.0-2.0
>50		Muy compacta	15-30		Muy firme	2.0-4.0
			>30		Dura	>4.0
Para arenas limpias						
Resistencia a la penetración		Compacidad	Angulo de fricción 0			
0-30		Suelta	28.5 a 34			
30-50		Densa	35.0 a 46			
Para arena con limo y arcilla						
Resistencia a la penetración		Compacidad	Angulo de fricción 0			
0-5		Muy suelta	28			
5-10		Suelta	28-30			
10-30		Mediana	30-34			
30-50		Densa	34-37			
>50		Muy densa	37			

Una vez obtenidas las muestras de campo se envían debidamente empacadas, como ya se ha mencionado anteriormente, al laboratorio donde se le deberán de efectuar las pruebas correspondientes dependiendo del tipo de muestra. Las pruebas más comunes que se llevan a cabo entre otras son: Obtención de los límites de consistencia en estado líquido y plástico, que indican la deformabilidad del suelo, obtención del peso específico, densidad de sólidos, prueba de compresión simple y la prueba de compresión triaxial rápida que sirve para conocer la resistencia de los suelos.

CONCLUSIONES

Con este trabajo de tesis se pretende dar a conocer la exploración de una manera sencilla a todos aquellos que de alguna forma están relacionados con la mecánica de suelos; tratando de dar a conocer las principales rocas y sus características. Se exponen los métodos más usuales y prácticos con que se cuenta, considerando el punto de vista económico y veracidad de resultados de campo.

Se hace énfasis en la necesidad de llevar a cabo una buena programación apegada a la realidad; tomando en cuenta, la correcta elección del método a emplear, equipo a utilizar con personal capacitado; evitando de esta manera pérdidas de tiempo y desgaste de maquinaria innecesario que repercute en costos.

Para lograr trabajos cada vez más eficientes es importante estar actualizados en métodos y equipo de exploración así como llevar a cabo una supervisión permanente en los cruces de estudio.

También y como principal punto se pretende hacer conciencia de que no se necesitaría realmente de un supervisor pegado a los trabajos si todo el personal que interviene en una exploración realizara con seriedad y honestidad su trabajo.