

## C A P I T U L O I

### I.- EXPLORACION DE SUELOS

EL OBJETIVO DE UNA INVESTIGACIÓN EXPLORATORIA, INCLUYENDO PRUEBAS DE CAMPO Y LABORATORIO, ES FACILITAR AL INGENIERO LOS DATOS CUANTITATIVOS DEL SUELO Y DE LA ROCA DEL LUGAR QUE SE INVESTIGA, PARA DAR RECOMENDACIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA OBRA.

PARA LLEGAR EL LABORATORIO A UNOS RESULTADOS RAZONABLEMENTE DIGNOS DE CRÉDITO, ES PRECISO CUBRIR EN FORMA ADECUADA UNA ETAPA PREVIA E IMPRESCINDIBLE, COMO ES LA OBTENCIÓN DE LAS MUESTRAS DEL SUELO, APROPIADAS PARA LA REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS CORRESPONDIENTES.

POR PROCEDIMIENTOS SIMPLES Y ECONÓMICOS DEBE PROCURAR ADQUIRIRSE INFORMACIÓN PRELIMINAR SUFICIENTE RESPECTO AL SUELO, QUE CON AYUDA DE PRUEBAS DE CLASIFICACIÓN TALES COMO GRANULOMETRÍAS, PLASTICIDAD, HUMEDAD, ETC. PERMITAN AL INGENIERO FORMARSE UNA IDEA CLARA DE LOS PROBLEMAS QUE SE HAN DE ESPERAR EN CADA CASO PARTICULAR.

UN ASPECTO DE IMPORTANCIA FUNDAMENTAL EN LA EXPLORACIÓN ES BUSCAR LA COLABORACIÓN DE CIENCIAS, QUE COMO LA GEOLOGÍA PUEDEN DAR EN OCACIONES INFORMACIÓN DE CARÁCTER GENERAL MUY IMPORTANTE. PUEDE DECIRSE, QUE SOBRE TODO EN OBRAS DE IMPORTANCIA EL RECONOCIMIENTO GEOLÓGICO ES IMPRESCINDIBLE, EL CUAL SERÁ PREVIO A CUALQUIER OTRA ACTIVIDAD REALIZADA POR EL TÉCNICO DE MECÁNICA DE SUELOS.

## **1. MÉTODOS DE EXPLORACIÓN**

SE HAN DESARROLLADO MUCHAS TÉCNICAS DE EXPLORACIÓN DIFERENTES, ALGUNAS SON APROPIADAS PARA UNA GRAN VARIEDAD DE CONDICIONES MIENTRAS QUE OTRAS ESTÁN LIMITADAS A CASOS ESPECIALES.

LOS TIPOS PRINCIPALES DE EXPLORACIÓN QUE SE USAN EN MECÁNICA DE SUELOS, PARA FINES DE MUESTREO Y CONOCIMIENTO DEL SUBSUELO, EN GENERAL SON LOS SIGUIENTES:

## **2. MÉTODOS DE CARÁCTER PRELIMINAR**

- 2.1 POZOS A CIELO ABIERTO CON MUESTREO ALTERADO.
- 2.2 PERFORACIONES CON POSTEADORAS, BARRENOS HELICOIDALES.
- 2.3 MÉTODO DE LAVADO.
- 2.4 MÉTODO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR.
- 2.5 MÉTODO DE PENETRACIÓN CÓNICA.
- 2.6 PERFORACIONES EN BOLEOS Y GRAVAS (CON BARRETONES, ETC.)

## **3. MÉTODOS DE SONDEO DEFINITIVOS**

- 3.1 POZOS A CIELO ABIERTO CON MUESTREO INALTERADO.
- 3.2 MÉTODO CON TUBO DE PARED DELGADA.
- 3.3 MÉTODO ROTATORIO PARA ROCA.

## **4. MÉTODOS GEOFÍSICOS**

- 4.1 SÍSMICO.
- 4.2 DE RESISTENCIA ELÉCTRICA.
- 4.3 MAGNÉTICO Y GRAVIMÉTRICO.

## 2. MÉTODOS DE EXPLORACIÓN DE CARÁCTER PRELIMINAR

### 2.1 POZOS A CIELO ABIERTO

SON ESCAVACIONES DE DIMENSIONES SUFICIENTES PARA QUE UN TÉCNICO PUEDA BAJAR DIRECTAMENTE Y EXAMINAR LOS DIFERENTES ESTRATOS, ÉL CUAL DEBE DE APLICAR BIEN SU CRITERIO AL ANALIZAR EL SUELO Y LLEVAR UN REGISTRO COMPLETO DE LAS CONDICIONES DEL MISMO EN SUS DIFERENTES ESTRATOS, COMO SON LA HUMEDAD, COLOR, ESTADO NATURAL, ETC.

ESTE TIPO DE SONDEOS NO PUEDE LLEVARSE A GRANDES PROFUNDIDADES SOBRE TODO CUANDO HAY NIVEL FREÁTICO MUY SUPERFICIAL, EN OTRAS OCACIONES ESTA PROFUNDIDAD DEPENDERÁ DEL TIPO DE MATERIAL EXISTENTE EN LOS DIFERENTES ESTRATOS QUE SE VAN ENCONTRANDO.

SI SE TIENEN SUELOS FRICCIONANTES BAJO EL NIVEL FREÁTICO Y SE REQUIERE ADEMAR, PUEDE USARSE MADERA O ACERO, POR LO REGULAR EL ADEME SE HACE CON TABLONES HORIZONTALES Y/O VERTICALES BIEN HINCADOS.

AL OBTENER MUESTRAS EN ESTE TIPO DE SONDEOS, DEBE TENERSE CUIDADO QUE SEAN REPRESENTATIVAS DEL ESTRATO EN CUESTIÓN; ÉSTAS SE PROTEGERÁN EN FRASCOS O BOLSAS EMPARAFINADAS PARA CONSERVAR LO MEJOR QUE SE PUEDA LA HUMEDAD NATURAL DE CADA MUESTRA.

### 2.2 POSTEADORA Y BARRENO HELICOIDAL

CON EL OBJETO DE OBTENER MUESTRAS ALTERADAS HASTA UNA PROFUNDIDAD MÁXIMA DE 15 M QUE NOS DE UNA INFORMACIÓN PRELIMINAR, EN FORMACIONES GEOLÓGICAS DE SUELOS SUAVES ES RECOMENDABLE USAR ESTE TIPO DE HERRAMIENTAS. OTRO USO QUE TIENEN

ES DETERMINAR LA PROFUNDIDAD DE NIVEL FREÁTICO, PROFUNDIR ESCAVACIONES A CIELO ABIERTO Y LIMPIAR LOS SONDEOS QUE SE EFECTÚEN POR OTROS MÉTODOS.

LAS HERRAMIENTAS MÁS USADAS SON LA POSTEADORA CON MANERAL, BARRENO HELICOIDAL, BARRENO ESPIRAL, CUCHARA LIMPIADORA, - ETC. (VER FIGURA I.1); LAS PRIMERAS LAS HAY DE 4" A 9" DE DIÁMETRO (MÁS USADAS LAS DE 4" Y 6"), LAS SEGUNDAS LAS HAY DESDE 2" A 3 1/2 " DE DIÁMETRO.

EL PROCEDIMIENTO GENERALMENTE ES EL SIGUIENTE: CON UN PICO Y UNA PALA SE INICIA UN PEQUEÑO AGUJERO PARA PODER INTRODUCIR LA HERRAMIENTA EN ÉL Y POR MEDIO DE GIROS APLICADOS POR UNO O DOS HOMBRES SE HACE AVANZAR ÉSTA EN EL TERRENO, QUEDANDO APRISIONADA LA MUESTRA ENTRE LAS HOJAS DE LÁMINA CURVADA. UN FACTOR IMPORTANTE, ES EL PASO DE LA HÉLICE QUE DEBE SER MUY CERRADO PARA SUELOS ARENOSOS Y MUCHO MÁS ABIERTO PARA EL MUESTREO EN SUELOS PLÁSTICOS.

HAY BARRENOS MOVIDOS POR MOTOR CAPACES DE HACER AGUJEROS EN ALGUNOS SUELOS HASTA DE 25 M DE PROFUNDIDAD EN MINUTOS. LAS BARRENAS MECÁNICAS CON ESPIRAS PUEDEN PERFORAR SIN INTERRUPCIÓN Y ÉSTAS TRAERÁN A LA SUPERFICIE EL MATERIAL REMOVIDO; PERO EXISTE EL INCONVENIENTE DE QUE NO SE TIENE LA SEGURIDAD SOBRE LA PROFUNDIDAD EXACTA DE LA MUESTRA, POR LO TANTO, ES NECESARIO BARRENAR CADA VEZ DE 1.0 A 1.5 M Y SACAR LA MUESTRA (CUANDO LA SECUENCIA ESTRATIGRÁFICA DEL SUELO ES TAL QUE, A UN ESTRATO FIRME LE SIGUE UNO DÉBIL).

FRECUENTEMENTE SE HACE NECESARIO ADEMAR EL POZO DE SONDEO, LO CUAL SE REALIZA CON TUBERIA DE HIERRO HINCADA A GOLPES,

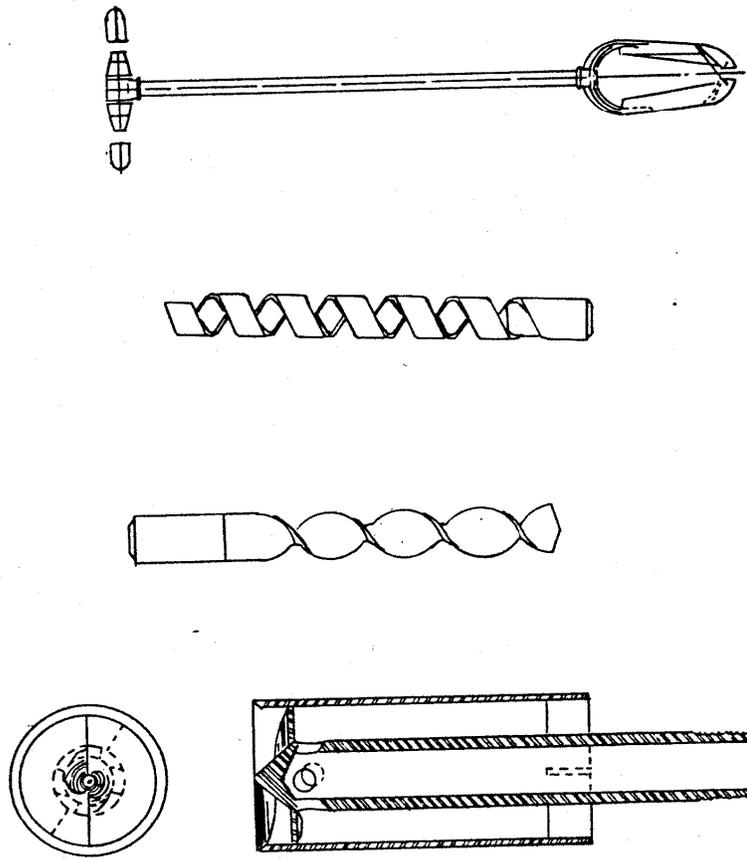


Fig.I-1 Posteadora con maneral, barreno helicoidal, barreno tipo espiral y cuchara limpiadora o de pocero.

DE DIÁMETRO SUFICIENTE PARA PERMITIR EL PASO DE LAS HERRAMIENTAS MUESTRADORAS. EN LA PARTE INFERIOR UNA ZAPATA AFILADA FACILITA LA PENETRACIÓN. PARA EL MANEJO DE TUBERÍA DE PERFORACIÓN Y ADEMADO SE USA UN TRIPOIDE PROVISTO DE UNA POLEA A UNA ALTURA QUE PERMITA LAS MANIPULACIONES NECESARIAS.

EN MATERIALES SIN COHESIÓN ABAJO DEL NIVEL FREÁTICO, LA POSTEADORA Y BARRENOS SE LAVAN NO OBTENIENDOSE LA MUESTRA, EN ESTOS CASOS ES PREFERIBLE RECURRIR AL USO DE CUCHARAS ESPECIALES.

LAS LIMITACIONES DE ESTE PROCEDIMIENTO ES QUE TRITURA LAS PARTÍCULAS BLANDAS Y NO PENETRA ROCA.

### 2.3 METODO DE LAVADO

ESTE MÉTODO CONSTITUYE UN PROCEDIMIENTO ECONÓMICO Y RÁPIDO CUANDO SE REQUIERE UNA LIMITADA INFORMACIÓN, PARA CONOCER APROXIMADAMENTE LA ESTRATIGRAFÍA DEL SUELO O LA PROFUNDIDAD DE UN ESTRATO DURO.

EL EQUIPO NECESARIO PARA REALIZAR LA PERFORACIÓN INCLUYE UN TRIPOIDE CON POLEA Y MARTINETE SUSPENDIDO DE 80 A 150 KG DE PESO, CUYA FUNCIÓN ES HINCAR EN EL SUELO A GOLPES EL ADEME NECESARIO PARA LA OPERACIÓN. ESTE ADEME DEBE SER DE MAYOR DIÁMETRO QUE EL DE LA TUBERÍA QUE VAYA A USARSE PARA LA INYECCIÓN DEL AGUA. EN EL EXTREMO INFERIOR DE LA TUBERÍA DE INYECCIÓN, DEBE IR UN TREPANO DE ACERO PERFORADO PARA PERMITIR EL PASO DEL AGUA A PRESIÓN LA CUAL SE IMPULSA DENTRO DE LA TUBERÍA POR MEDIO DE UNA BOMBA.

LA OPERACIÓN CONSISTE EN INYECTAR AGUA EN LA PERFORACIÓN UNA VEZ HINCADO EL ADEME, LA CUAL FORMA UNA SUSPENSIÓN CON

EL SUELO EN EL FONDO DEL POZO Y SALE AL EXTERIOR A TRAVÉS DEL ESPACIO COMPRENDIDO ENTRE EL ADEME Y LA TUBERÍA DE INYECCIÓN. UNA VEZ FUERA ES RECOGIDA EN UN RECIPIENTE PARA SU ANÁLISIS.

EL PROCEDIMIENTO DEBE IR COMPLEMENTADO EN TODOS LOS CASOS POR UN MUESTREO CON UNA CUCHARA SACA-MUESTRAS APROPIADA, COLOCADA EN LUGAR DEL TREPANO; MIENTRAS LAS CARACTERÍSTICAS DEL SUELO NO CAMBIEN SERÁ SUFICIENTE OBTENER UNA MUESTRA A CADA 1.5 M O CUANDO HAYA UN CAMBIO EN EL COLOR DEL AGUA.

AL DETENERSE LAS OPERACIONES PARA UN MUESTREO, DEBE PERMITIRSE QUE EL AGUA ALCANCE EN EL POZO UN NIVEL DE EQUILIBRIO QUE CORRESPONDE AL NIVEL FREÁTICO.

LA DUREZA DEL SUELO SE PUEDE ESTIMAR POR LA VELOCIDAD DE LA PERFORACIÓN.

POR LA POCA Y DUDOSA INFORMACIÓN QUE NOS DÁ ESTE MÉTODO, SU USO ACTUALMENTE SE LIMITA COMO AUXILIAR DE OTROS MÉTODOS DE PERFORACIÓN PARA AVANZAR EN LOS SONDEOS Y AHORRAR EN EL DESGASTE DE HERRAMIENTAS.

#### 2.4 METODO DE PENETRACION ESTANDAR

ES EL MÉTODO MÁS AMPLIAMENTE USADO ENTRE TODOS LOS DE EXPLORACIÓN PRELIMINAR Y EN EL QUE SE OBTIENE MEJORES RESULTADOS Y PROPORCIONA MÁS ÚTIL INFORMACIÓN EN TORNO AL SUBSUELO.

EN SUELOS PURAMENTE FRICCIONANTES LA PRUEBA PERMITE CONOCER LA COMPACIDAD DE LOS MANTOS, EN SUELOS PLÁSTICOS NOS DA UNA IDEA BURDA DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE; ADEMÁS, ES UN MÉTODO QUE NOS PERMITE TOMAR MUESTRAS ALTERNAS REPRESENTATIVAS.

EL EQUIPO PARA APLICAR EL PROCEDIMIENTO CONSTA DE UN MUESTREADOR O PENETRÓMETRO ESTÁNDAR DE DIMENSIONES ESPECIFICADAS.

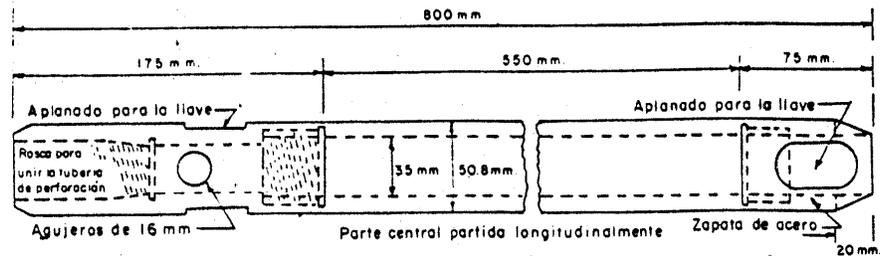


FIG. I.2 Penetrómetro estándar

EL PENETRÓMETRO SE ENROSCA AL EXTREMO DE LA TUBERÍA DE PERFORACIÓN Y LA PRUEBA CONSISTE EN HACERLO PENETRAR A GOLPES, DADOS POR UN MARTINETE DE 63.5 KG (140 LB) QUE CAE DESDE 76 CM (30 PULGADAS) CONTANDO EL NÚMERO DE GOLPES NECESARIOS PARA LOGRAR UNA PENETRACIÓN DE 30 CM (1 PIE).

SE TOMA LA PRIMERA MUESTRA EN LA SUPERFICIE A LA PROFUNDIDAD QUE SE DESEE, LUEGO SE LIMPIA EL POZO CON POSTEADORA O CUCHARA HASTA LA PROFUNDIDAD QUE PERMITA EL AZOLVE QUE EN TAL CASO SE UTILIZARÁ TUBERÍA DE ADEME Y CHIFLÓN DE AGUA. YA TENIENDO LIMPIO EL POZO SE INTRODUCE EL MUESTREADOR NUEVAMENTE POR MEDIO DE LAS BARRAS DE PERFORACIÓN HASTA ESTAR EN CONTACTO CON EL FONDO. SE APLICA LUEGO ENERGÍA AL COPLE SUPERIOR DE GOLPEO DE LA BARRA DE PERFORACIÓN POR MEDIO DEL MARTINETE HASTA QUE PENETRE 15 CM. DESDE ESTE MOMENTO DEBEN CONTARSE LOS GOLPES NECESARIOS PARA LOGRAR LA PENETRACIÓN DE LOS SIGUIENTES 30 CM. A PARTIR DE ESTA PENETRACIÓN SE SEGUIRÁ HINCANDO HASTA EL TOTAL DEL MUESTREADOR; AL RETIRAR EL PENETRÓMETRO EL SUELO QUE HAYA ENTRADO EN SU INTERIOR CONSTITUYE LA MUESTRA (LONGITUD RECUPERADA).

CUANDO SE EXTRAE EL MUESTREADOR SE RECOMIENDA ESCOGER COMO MUESTRA ALTERADA REPRESENTATIVA LA PARTE CENTRAL DE LA LONGITUD RECUPERADA SIEMPRE Y CUANDO SE TRATE DE UNA MUESTRA UNIFORME; EN CASO DE SER DE DOS O MÁS MATERIALES SE ESCOGERÁN PARA MUESTRAS CADA UNA DE ELLAS, DICHAS MUESTRAS SE DEBERÁN INTRODUCIR EN UN FRASCO DE CRISTAL LIMPIO Y DE CERRADO HERMÉTICO EL CUAL SE DEBE DE BAÑAR EN LA PARTE DE LA TAPADERA CON UNA MUESTRA DE PARAFINA Y BREA, DESPUÉS SE ETIQUETARÁ CON SUS DATOS RESPECTIVOS QUEDANDO LISTA PARA SER TRANSPORTADA A UN LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS.

LA RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN ESTÁNDAR ES EXPRESADA POR EL NÚMERO DE GOLPES (N') NECESARIOS PARA LOGRAR LA PENETRACIÓN DE 30 CM.

SI EL SUELO CONSISTE EN ARENAS MUY FINAS BAJO EL NIVEL DE AGUAS FREÁTICAS (N.A.F.) EN EL ESTADO DE MEDIANEMENTE COMPACTO A COMPACTO, LOS VALORES DE N' PUÉDEN RESULTAR MAYORES DEL QUE SE TENDRÁ EN ARENAS FINAS SECAS DEBIDO A LA BAJA PERMEABILIDAD DE ÉSTAS, QUE IMPIDE QUE EL AGUA EMIGRE A TRAVÉS DE LOS HUECOS AL PRODUCIRSE EL IMPACTO. EMPÍRICAMENTE SE HA ENCONTRADO QUE PARA ESTOS CASOS EL VALOR DE N' PUEDE CORREGIRSE MEDIANTE LA SIGUIENTE EXPRESIÓN:

$$N = 15 + 1/2 (N' - 15) \text{ PARA } N' > 15$$

EN CASO DE QUE LA RESISTENCIA DEL TERRENO SEA BAJA, POR EJEMPLO ENTRE 5 Y 10 GOLPES DEL MARTINETE PARA PENETRAR LOS 30 CM ESPECIFICADOS, SE RECOMIENDA TOMAR LA MUESTRA CON TUBO DE PARED DELGADA DE 4" Ø HINCADO A PRESIÓN.

CUANDO SE TROPIEZA CON GRAVAS, BOLEOS O CANTOS RODADOS EMPACADOS EN ARCILLAS, PUEDEN INDICARNOS RESISTENCIAS MUY ALTAS PERO FALSAS, EN ESTOS CASOS SE RECOMIENDA USAR TREPANOS CON CHIFLÓN DE AGUA PROCURANDO TRITURARLOS Y EXTRAERLOS POR MEDIO DE LAVADO.

EN CASO DE SUELOS DE ALTA RESISTENCIA SE RECOMIENDA SUSPENDER LA PRUEBA AL LLEGAR A LOS 50 GOLPES PARA PROTEGER EL PENETRÓMETRO Y COMBINAR LA PRUEBA CON EL LAVADO, NO OBSTANTE HABER LOGRADO UNA PENETRACIÓN MENOR A LOS 30 CM ESPECIFICADOS O A VECES NULA, EN TAL CASO SE COMBINA LA PRUEBA CON ROTACIÓN Y LAVADO.

LA UTILIDAD E IMPORTANCIA MAYORES DE LA PRUEBA DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR RADICA EN LAS CORRELACIONES REALIZADAS EN EL LABORATORIO SOBRE SUELOS FRICCIONANTES, QUE PERMITEN RELACIONAR APROXIMADAMENTE LA COMPACIDAD, EL ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNO Y EN LOS SUELOS COHESIVOS COMO ARCILLAS NOS RELACIONA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE ( $q_u$ ) CON EL NÚMERO DE GOLPES NECESARIOS PARA QUE EL PENETRÓMETRO LOGRE ENTRAR LOS 30 CM ESPECIFICADOS.

ESTAS CORRELACIONES HAN PODIDO EFECTUARSE EN SUELOS DONDE SE PUEDEN OBTENER MUESTRAS INALTERADAS EN LAS QUE SE LES PUEDA DETERMINAR EN LOS LABORATORIOS LOS CONCEPTOS ANTES MENCIONADOS.

EN LA PRÁCTICA SE HAN PODIDO LLEGAR A CONCLUSIONES SATISFACTORIAS REPRESENTADAS POR MEDIO DE GRÁFICAS, TABLAS ESTADÍSTICAS PARA SUELOS FRICCIONANTES (COMBINÁNDOLAS CON LA EXPERIENCIA Y EL BUEN CRITERIO DEL TÉCNICO EN SUELOS) DIGNAS DE CONFIANZA. EN EL CASO DE SUELOS ARCILLOSOS PLÁSTICOS, LAS CORRELACIONES DE LA PRUEBA DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR CON LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE ( $q_u$ ) SON MENOS DIGNAS DE CRÉDITO, DE AHÍ QUE SE RECOMIENDA DE PREFERENCIA DETERMINAR DICHA RESISTENCIA CON MUESTRAS INALTERADAS POR MEDIO DE ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE.

LAS CORRELACIONES OBTENIDAS DE ESTA PRUEBA CON EL NÚMERO DE GOLPES (N) SE DAN EN LAS SIGUIENTES TABLAS.

### COMPACIDAD RELATIVA DE LAS ARENAS

Nº DE GOLPES	DENOMINACION	COMPACIDAD RELATIVA %
0 - 4	MUY SUELTA	0 - 5
4 - 10	SUELTA	5 - 25
10 - 30	MEDIANAMENTE COMPACTA	25 - 60
30 - 50	COMPACTA	60 - 75
50	MUY COMPACTA	75

### CONSISTENCIA NATURAL DE LAS ARCILLAS

Nº DE GOLPES	DENOMINACION	RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE (KG/M <sup>2</sup> )
2	MUY BLANDA	0.25
2 - 4	BLANDA	0.25 - 0.50
4 - 8	MEDIA	0.50 - 1.0
8 - 15	FIRME	1.0 - 2.0
15 - 30	MUY FIRME	2.0 - 4.0
30	DURA	4.0

### 2.5 METODOS DE PENETRACION CONICA

ESTOS MÉTODOS CONSISTEN EN HACER PENETRAR UNA PUNTA CÓNICA - EN EL SUELO Y MEDIR LA RESISTENCIA QUE EL MISMO OFRECE. - EN LA FIGURA I.3 APARECEN ALGUNOS TIPOS DE CONOS QUE SE HAN USADO.

DEPENDIENDO DEL PROCEDIMIENTO DE HINCAR SE DIVIDEN EN:

- A) DINÁMICOS
- B) ESTÁTICOS



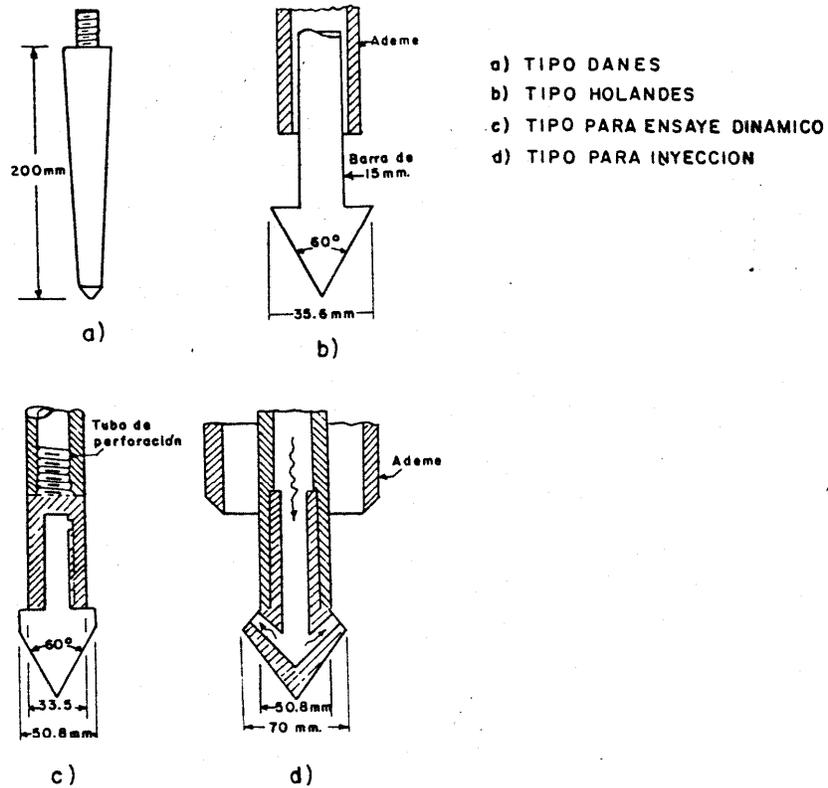


FIG. I-3 PENETROMETROS CONICOS

A) EL MÉTODO DINÁMICO SE BASA EN LA VARIACIÓN OBSERVADA DE LA RESISTENCIA DE LA PENETRACIÓN CUANDO CAMBIAN LAS CARACTERÍSTICAS DEL SUELO.

EN EL CASO DE QUE SE TRABAJE SIN ADEME, SE CONECTA EL PENETRÓMETRO A LAS VARILLAS DE PERFORACIÓN Y SE INTRODUCE EN EL TERRENO CONTANDO LOS GOLPES POR CADA 30 CM DE PENETRACIÓN (MARTINETE DE 63.5 KG Y ALTURA DE CAÍDA DE 76 CM) CONFORME SE AVANZA EN PROFUNDIDAD REQUERIDA.

DE LOS DATOS DE ESTA PRUEBA SE OBTIENE UNA GRÁFICA DE NÚMERO DE GOLPES CONTRA PROFUNDIDAD, PERO DESGRACIADA

MENTE PARA ESTE TIPO DE PRUEBA NO EXISTEN LAS CORRELACIONES MENCIONADAS EN EL CASO DE LA PENETRACIÓN ESTÁNDAR YA QUE SE HA OBSERVADO QUE PARA ARENAS, LA PRUEBA DINÁMICA, DA UN NÚMERO DE GOLPES DEL ORDEN DEL DOBLE DE LA PRUEBA DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR Y SÓLO NOS DÁ UNA IDEA DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL SUELO EN CUANTO A LA RESISTENCIA DE ESTRATOS BLANDOS O DUROS, YA QUE TIENE LA DESVENTAJA DE QUE NO SE OBTIENEN MUESTRAS.

LA MÁXIMA EFICIENCIA DE ESTE MÉTODO SE LOGRA DONDE LA GEOLOGÍA DEL LUGAR SE PRESENTA ERRÁTICA.

ESTE PROCEDIMIENTO ADOLECE DEL EFECTO DE NO TOMAR EN CUENTA LA FRICCIÓN LATERAL DESARROLLADA A LO LARGO DE TODA LA BARRA DE PERFORACIÓN, POR TAL MOTIVO SE MEJORA USANDO ADEME.

LAS VENTAJAS DE LA PENETRACIÓN CÓNICA SIN ADEME SON:

- 1.- LA RAPIDEZ CON QUE SE EFECTÚA LA PERFORACIÓN Y LA OBTENCIÓN DE UN REGISTRO CONTINUO, SIENDO MUY CONVENIENTE PARA TENER IDEA DE LOS PROBLEMAS QUE PUEDAN PRESENTARSE Y PROGRAMAR SONDEOS DEFINITIVOS.
  - 2.- ES MUY ÚTIL CUANDO SE TRATA DE LOCALIZAR LA PROFUNDIDAD DE LOS ESTRATOS RESISTENTES.
- B) LOS MÉTODOS ESTÁTICOS SE LIMITAN A MATERIALES SUAVES, COMO SON LAS ARCILLAS BLANDAS Y TURBAS, SIENDO INICIADOS Y DESARROLLADOS EN SUECIA, DINAMARCA Y HOLANDA.

EL CONO HOLANDES ES EL PENETRÓMETRO MÁS AMPLIAMENTE USADO PARA PRUEBAS ESTÁTICAS. CONSTA DE UNA PUNTA CÓNICA (FIGURA I.3.b) DE 60° CON UN ÁREA DE 10 CM<sup>2</sup> UNIDA A UNA-

BARRA CILÍNDRICA DE MENOR DIÁMETRO QUE EL CONO. SE HINCA 50 CM EN EL TERRENO A UNA VELOCIDAD DE 1 CM/SEG. CON UN GATO HIDRÁULICO EMPLEANDO UN MARCO DE CARGA QUE PUEDE ESTAR SUJETO AL ADEME. LA PRESIÓN EJERCIDA SE REGISTRA EN UN MANÓMETRO ACOPLADO AL GATO, UNA VEZ HINCADA LA PUNTA 50 CM, SE HINCA SOBRE EL ADEME ESA LONGITUD Y SE REPITE LA OPERACIÓN ANTERIOR.

A VECES SE OBTIENE UNA GRÁFICA DE PRESIÓN APLICADA CONTRA PROFUNDIDAD LOGRADA (FIGURA I.4).

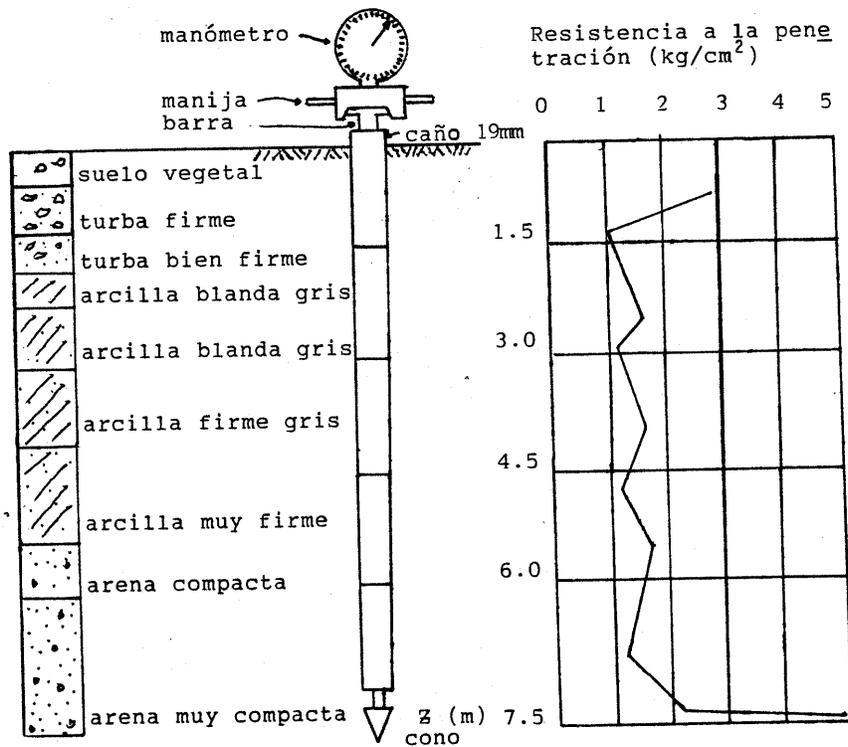


FIGURA I.4

OTRAS VECES SE GRAFICA LAS PRESIONES APLICADAS CONTRA UNA PROFUNDIDAD CONSTANTE YA SEA DE 50 CM O CUALQUIER OTRA.

EL PENETRÓMETRO DANÉS CONSTA DE UNA PUNTA DELGADA (FIGURA 1.3.a) DE FORMA PIRAMIDAL TRUNCADA CON UNA LONGITUD DE 20 CM; EN ESTE PROCEDIMIENTO SE CARGA POR INCREMENTOS HASTA ALCANZAR UN PESO DE 100 KG MIDIENDO LA PENETRACIÓN QUE ORIGINA CADA INCREMENTO DE CARGA. DESPUÉS DE CADA PRUEBA SE DEBE LIMPIAR EL POZO HASTA LA PROFUNDIDAD AVANZADA, REPITIENDOSE LA OPERACIÓN.

A VECES SE HAN USADO ESTOS PENETRÓMETROS CÓNICOS EN ARENAS, AYUDADOS POR PRESIÓN DE AGUA, CUYA FUNCIÓN ES SUSPENDER LAS ARENAS SOBRE EL NIVEL DE LA PENETRACIÓN PARA EVITAR EL EFECTO DE LA SOBRECARGA, QUE DE OTRA MANERA, DIFICULTARÍA LA PENETRACIÓN DEL CONO.

ENTRE LOS INCONVENIENTES DE LA PRUEBA UNO ES QUE NO SE OBTIENEN MUESTRAS, OTRO ES QUE NO EXISTEN CORRELACIONES DE RESISTENCIA CON VALORES OBTENIDOS CON OTROS MÉTODOS MÁS CONFIABLES.

EN GENERAL SE PUEDE DECIR QUE ESTAS PRUEBAS SON ÚTILES EN ZONAS CUYA ESTRATIGRAFÍA SEA YA AMPLIAMENTE CONOCIDA Y SE DESEE OBTENER INFORMACIÓN EN UN LUGAR DETERMINADO. ADEMÁS NOS SIRVEN PRINCIPALMENTE PARA DETERMINAR LA PROFUNDIDAD A LA QUE DEBEN HINCARSE LOS PILOTES, PILAS Y ESTRIBOS DEL PUENTE.

## 2.6 PERFORACION EN BOLEOS Y GRAVAS

CON FRECUENCIA ES NECESARIO ATRAVESAR DURANTE LAS PERFORACIONES ESTRATOS DE BOLEOS Y GRAVAS QUE PRESENTAN GRANDES DIFICULTADES Y DESGASTES A LAS HERRAMIENTAS ANTES DESCRITAS. EN ESTOS CASOS SE HACE USO DE HERRAMIENTAS MÁS PESADAS DEL TIPO DE BARRETONES CON TALADROS DE ACERO DURO QUE SE DEJAN CAER SOBRE EL ESTRATO MANEJADOS POR MEDIO DE CABLES.

OTRO MÉTODO DE PERFORACIÓN UTILIZADO ES EL DE PERCUSIÓN CON AIRE COMPRIMIDO POR MEDIO DE MARTILLOS PERFORADORES, LOS CUALES LOGRAN ROMPER LOS BOLEOS O ROCAS A BASE DE HACER CAER DESDE CIERTA ALTURA, CON REPETICIÓN CONSTANTE EL PESO DE LOS ELEMENTOS DE ATAQUE (LA VELOCIDAD DE GOLPEO ES MUY ELEVADA Y EL PESO ES PEQUEÑO).

LA FORMA DE LOS TRÉPANOS USADOS EN ESTA PRUEBA TIENE GRAN IMPORTANCIA, ASI COMO SU FUERZA, ESTOS DEBEN DE CAMBIARSE CON FRECUENCIA PARA CONSEGUIR UN BUEN RENDIMIENTO.

ÉSTE ES UNO DE LOS MÉTODOS DONDE SE REQUIERE UN GRAN CONOCIMIENTO DEL PERFORISTA, PARA LA SELECCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS DE ATAQUE, DEPENDIENDO ÉSTA DEL TIPO DE ROCA O DUREZA DE LA MISMA.

EL OBJETIVO DE ESTE MÉTODO ES OBSERVAR LA TRABAZÓN, ANGULOSIDAD, TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS O DETERMINAR LOS ESPESORES DE DICHSO ESTRATOS Y COMO AUXILIARES DE OTROS MÉTODOS.

### 3. MÉTODOS DE SONDEOS DEFINITIVOS

EL PASO MÁS IMPORTANTE EN LA INVESTIGACIÓN DETALLADA ES LA OBTENCIÓN DE MUESTRAS CON LA MÍNIMA ALTERACIÓN POSIBLE. - ES IMPOSIBLE OBTENER MUESTRAS COMPLETAMENTE INALTERADAS, - PUES LA REMOCIÓN DE UNA PORCIÓN DE SUELO PRODUCE CAMBIOS - EN LOS ESFUERZOS DEL MISMO QUE ALTERAN LA ESTRUCTURA EN - CIERTO GRADO.

LAS MEJORES MUESTRAS "INALTERADAS" SON AQUELLAS EN QUE LA HUMEDAD Y LA COMPOSICIÓN NO SUFREN CAMBIOS; LA RELACIÓN, - DE VACÍOS Y LA ESTRUCTURA SUFREN EL MENOR CAMBIO POSIBLE.

#### 3.1 POZOS A CIELO ABIERTO CON MUESTREO INALTERADO

LA TOMA DIRECTA DE UN TROZO DE SUELO EXCAVADO A MANO CUIDADOSAMENTE, ES LA MEJOR MUESTRA "INALTERADA" QUE SE PUEDE - OBTENER POR SOBRE LOS DEMÁS MÉTODOS.

EL PROCEDIMIENTO ES EL SIGUIENTE: SE EXCAVA UN POZO EN EL LUGAR HASTA LA PROFUNDIDAD A LA QUE SE QUIERA TOMAR LA - - MUESTRA, SE QUITA CON CUIDADO EL SUELO ALREDEDOR DE ELLA - DE MANERA QUE ÉSTA SE PROYECTE SOBRE EL LADO O FONDO DE LA EXCAVACIÓN COMO UN PEQUEÑO TACÓN. SI LA MUESTRA ES FUERTE Y RÍGIDA SE PUEDE SEPARAR DE SU BASE CORTÁNDOLA CON UNA PALETA PLANA; UN MÉTODO MUY BUENO ES COLOCAR LA MUESTRA EN - UNA CAJA DE MADERA RESISTENTE CON FONDO Y TAPA REMOVIBLES, DEJANDO UN ESPACIO LIBRE DE 2 CM ALREDEDOR DE LA MISMA, - PARA RELLENARLO POSTERIORMENTE CON PARAFINA FUNDIDA; LA - MUESTRA Y LA CAJA SE SACAN DE LA EXCAVACIÓN Y SE VIERTEN PARAFINA EN AMBOS EXTREMOS DE LA MUESTRA, COLOCÁNDOSE POSTERIORMENTE EL FONDO Y LA TAPA, PARA SER LLEVADA CUIDADOSAMENTE AL LABORATORIO DONDE SE LA HARÁN LAS PRUEBAS CORRESPONDIENTES (FIGURA I.5).

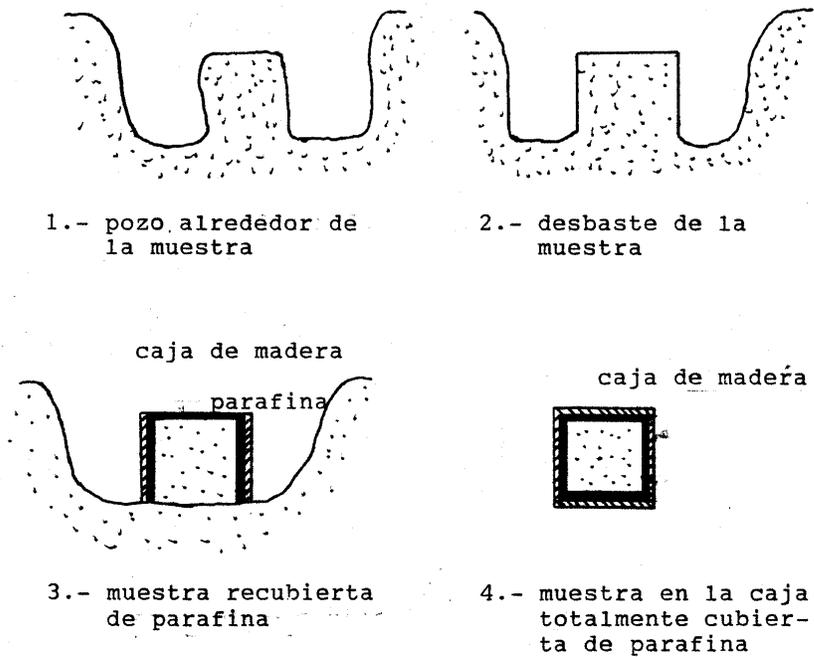


FIGURA I.5 MUESTRA TOMADA DIRECTAMENTE  
(INALTERADA)

### 3.2 METODO CON TUBO DE PARED DELGADA

LA PRUEBA DE MUESTREO "INALTERADO" CONTÍNUO CON TUBO DE PARED DELGADA ES AQUELLA QUE CONSISTE EN HINCAR A PRESIÓN UN TUBO MUESTREADOR EN SUELOS COHESIVOS BLANDOS.

ESTE MÉTODO CUANDO ES EJECUTADO CON PRECISIÓN, ACATANDO LAS RECOMENDACIONES, ES EMPLEADO COMO DEFINITIVO PARA EFECTUAR EN LAS MUESTRAS OBTENIDAS, ENSAYES DE CONSOLIDACIÓN Y PRUEBAS TRIAXIALES EN EL LABORATORIO.

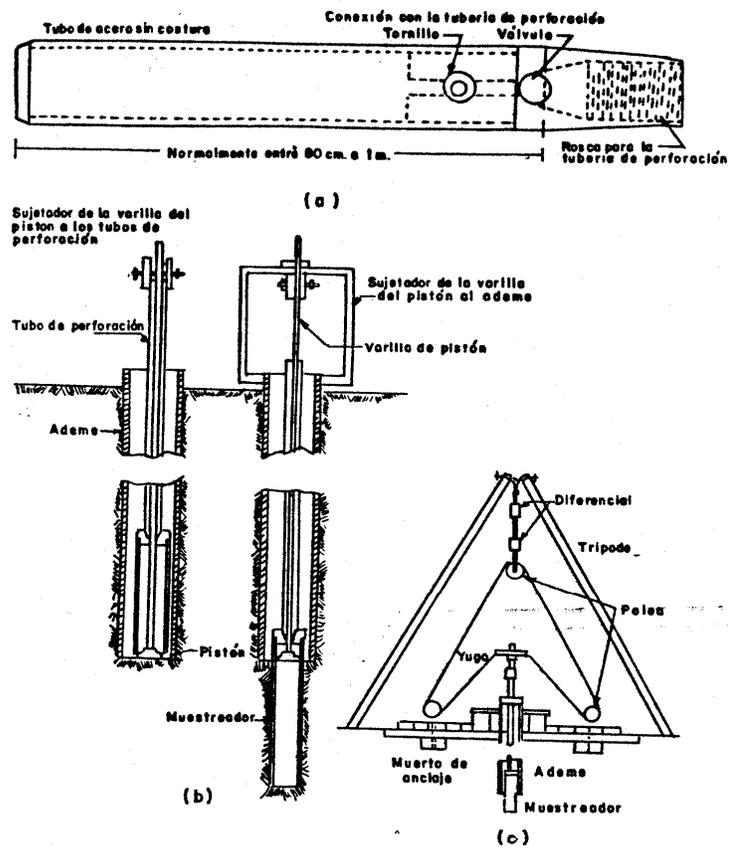


Fig. I-6 MUESTREADORES DE TUBO DE PARED DELGADA

a) Tipo Shelby

b) De Pistón

c) Dispositivo de hincado por presión de un diferencial.

ESTO ES, PARA UN TUBO DE UN DIÁMETRO GRANDE Y CON PAREDES-DELGADAS PERO SIN QUE ÉSTE SE DEFORME AL SER HINCADO; LA ESTRUCTURA DE LA MUESTRA SUFRIRÁ MUY POCA ALTERACIÓN, SUCEDIENDO LO CONTRARIO CUANDO LAS PAREDES DEL TUBO SEAN GRUESAS Y EL DIÁMETRO PEQUEÑO.

EL PROCEDIMIENTO ES EL SIGUIENTE: SE HINCA EL MUESTREADOR USANDO EL GATO DE LA PERFORADORA, PROCURANDO QUE EL HINCADO SEA RÁPIDO Y A VELOCIDAD CONSTANTE. HACIENDOSE NECESARIO TENER BIEN ANCLADA LA MÁQUINA AL TERRENO; CUANDO NO SE DISPONE DE LA PERFORADORA HIDRÁULICA, LA INTRODUCCIÓN DEL MUESTREADOR DEBERÁ EFECTUARSE USANDO EL MALACATE CON UN JUEGO DE POLEAS. (FIGURA I.6c)

DESPUÉS DE EXTRAER LA MUESTRA, SE LIMPIA EL FONDO DEL POZO PARA EVITAR QUE EXISTAN SEDIMENTOS QUE SE INTRODUCAN EN EL MUESTREADOR Y DISMINUYAN EL PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN DE LA MUESTRA YA SEA POR MEDIO DE LA POSTEADORA, CON CUCHARA, O BIEN POR MEDIO DE INYECCIÓN DE AGUA.

SI LA PERFORACIÓN SE PROFUNDIZA Y EL TIPO DE ARCILLA ES MUY BLANDA SE HACE NECESARIO ADEMAR LAS PAREDES, POR MEDIO DE LODOS O BIEN CON TUBERÍA; CUANDO DE ÉSTA SE TRATA, SE DEBERÁ DE INTRODUCIR HASTA UNA PROFUNDIDAD INFERIOR A LA COTA DONDE SE OBTENDRÁ LA MUESTRA, ESTO CON EL PROPÓSITO DE NO ALTERAR EL TERRENO CON EL HINCADO A GOLPES DEL ADEME.

LA CALIDAD DE UNA MUESTRA INALTERADA DEPENDE DE LOS SIGUIENTES FACTORES:

- A) DESPLAZAMIENTO DEL SUELO POR EL MUESTREADOR.
- B) MÉTODO PARA INTRODUCIR EL MUESTREADOR EN EL TERRENO.
- C) ROZAMIENTO EN LA CARA INTERIOR DEL MUESTREADOR.
- D) COMPRESIÓN DEL SUELO DEBIDA A LA PRESIÓN DE LA SOBRECARGA.
- E) MANIPULACIÓN Y ALMACENAJE DE LA MUESTRA HASTA SER ENSAYADA.

EL DESPLAZAMIENTO DEL SUELO POR LAS PAREDES DEL MUESTREADOR ES PROBABLEMENTE LA CAUSA DE ALTERACIÓN MÁS IMPORTANTE. POR LO TANTO ESTE DESPLAZAMIENTO DEL SUELO DEPENDE DE LAS DIMENSIONES DEL TUBO MUESTREADOR.

PARA MUESTRAS CON DIFERENTES DIÁMETROS, INTRODUCIDOS EN EL TERRENO POR EL MISMO PROCEDIMIENTO DE HINCADO, EL GRADO DE ALTERACIÓN DEPENDE DEL INDICE DE AREAS, QUE ES LA RAZÓN DEL-ÁREA DE LA SECCIÓN DEL TUBO Y DE LA MUESTRA.

$$A_r (\%) = 100 * \frac{D_e^2 - D_i^2}{D_i^2}$$

$A_r$  = RELACIÓN DE AREAS.

$D_e$  = DIÁMETRO EXTERIOR.

$D_i$  = DIÁMETRO INTERIOR.

DE ACUERDO CON **M. HVORSLEV** LA ALTERACIÓN POR DESPLAZAMIENTO ES MÍNIMA CUANDO EL COEFICIENTE ANDA ALREDEDOR DE 10% A 15%.

ESTOS TUBOS PUEDEN SER SIMPLES O DE PISTONES.

A) LOS TUBOS MUESTREADORES SIMPLES CONSISTEN PRINCIPALMENTE EN UNA CABEZA DE UNIÓN ENTRE EL TUBO DE PERFORACIÓN Y EL MUESTREADOR; ESTE TUBO PUEDE SER DE ACERO SIN COSTURAS O DE LÁMINA (**SHELBY**). ESTE ES EL TIPO MÁS USADO, EL DIÁMETRO MÍNIMO QUE TIENE ESTOS MUESTREADORES ES DE 2" Y EL MÁS COMÚN ES EL DE 4" USÁNDOSE A VECES DIÁMETROS UN POCO MAYORES, SU LONGITUD ES DEL ORDEN DE 70 A 80 CM, ESTOS MUESTREADORES SON BASTANTES ÚTILES PARA EXTRAER MUESTRAS TANTO ARRIBA COMO ABAJO DEL NIVEL FREÁTICO (FIGURA I.6a).

B) LOS MUESTREADORES DE PISTONES ESTACIONARIOS, USADOS EN SUELOS FINOS COMO LAS ARCILLAS BENTONITICAS Y ALGUNAS ARENAS LIMO-ARCILLOSAS (FIGURA I.6b).

ESTE TIPO DE MUESTREADORES TIENEN POR OBJETO ELIMINAR LA TAREA DE LIMPIA DEL FONDO DEL POZO PREVIA AL MUESTREO, NECESARIA EN LOS MUESTREADORES ABIERTOS; AL HINCAR EL MUESTREADOR CON EL PISTÓN EN SU POSICIÓN INFERIOR, PUEDE LLEVARSE AL NIVEL DESEADO SIN QUE EL SUELO ALTERADO DE NIVELES MÁS ALTOS ENTRE EN ÉL.

### 3.3 METODO ROTATORIO PARA ROCA

CUANDO EL SONDEO ALCANZA UNA CAPA DE ROCA MÁS O MENOS DURA O CUANDO EN EL CURSO DE LA PERFORACIÓN LAS HERRAMIENTAS - USADAS POR OTROS MÉTODOS TROPIEZAN CON UN BLOQUE GRANDE, - NO ES POSIBLE LOGRAR PENETRACIÓN O ÉSTA ES MÍNIMA A UN NÚMERO MAYOR DE 50 GOLPES, A DE RECURRIRSE A UN PROCEDIMIENTO DIFERENTE PARA LA OBTENCIÓN DE MUESTRAS EMPLEANDO MÁQUINAS PERFORADORAS DE ROTACIÓN, CON BROCAS DE DIAMANTES O DEL TIPO CALIZ.

EN LAS BROCAS CON DIAMANTE EN EL EXTREMO DE LA TUBERÍA DE PERFORACIÓN VA COLOCADO UN MUESTREADOR ESPECIAL, LLAMADO DE "CORAZÓN", EN CUYO EXTREMO INFERIOR SE ACOPLA UNA BROCA DE ACERO DURO CON INCRUSTACIONES DE DIAMANTE INDUSTRIAL - QUE FACILITAN LA PERFORACIÓN (FIGURA 1.7.b).

EN LA DE TIPO CALIZ LOS MUESTREADORES SON DE ACERO DURO Y LA PENETRACIÓN SE FACILITA POR MEDIO DE MUNICIONES DE ACERO QUE SE COLOCAN EN LA TUBERÍA HUECA Y ACTÚAN COMO ABRASIVOS (FIGURA 1.7.c).

LA COLOCACIÓN DE LOS DIAMANTES EN LAS BROCAS DEPENDEN DEL TIPO DE ROCA A ATACAR. EN ROCAS DURAS ES RECOMENDABLE USAR BROCAS CON DIAMANTES TANTO EN LA CORONA COMO EN EL INTERIOR PARA REDUCIR EL DIÁMETRO DE LA MUESTRA Y EN EL EXTERIOR PARA AGRANDAR LA PERFORACIÓN Y PERMITIR EL PASO DEL MUESTREADOR CON FACILIDAD; EN ROCAS MEDIANAMENTE DURAS RESULTA SUFICIENTE EMPLEAR BROCAS CON INSERCIONES DE CARBURO DE TUNGSTENO EN LA CORONA; EN ROCAS SUAVES DEL TIPO DE LUTITAS, PIZARRAS, ETC. SE USA BROCA DE ACERO DURO CON DIENTES DE SIERRA.

EL PROCEDIMIENTO ES EL SIGUIENTE: UNA VEZ DETERMINADO EL -

SITIO EN EL CUAL SE VA A REALIZAR EL SONDEO, SE INSTALA EL EQUIPO (MÁQUINA, TRIPIE, BOMBA DE AGUA, ETC.), VER FIGURA-1.7.a, DÁNDOSE PRINCIPIO EN EL HINCADO DE UN TRAMO DE TUBERÍA DE ADEME, DEJANDO SIEMPRE UNOS 30 CM FUERA DEL MATERIAL CON EL OBJETO DE ACOPLARLE UNA "T", PROSIGUIÉNDOSE CON LA PERFORACIÓN; SI LA ROCA NO ESTÁ CERCA DE LA SUPERFICIE, SE INSTALARÁ EL TRÉPANO EN LA TUBERÍA Y A LA VEZ SE HARÁ CIRCULAR AGUA Y POR PERCUSIÓN SE ALCANZARÁ LA PROFUNDIDAD A LA QUE SE ENCUENTRE LA ROCA; UNA VEZ QUE SE HA LLEGADO A ÉSTA, SE CAMBIA EL TRÉPANO Y SE COLOCARÁ EN PRIMER LUGAR EL BARRIL, DESPUÉS LA RIMA Y POR ÚLTIMO LA BROCA.

LA EXTRACCIÓN DE LA MUESTRA SE HACE POR ALGUNO DE LOS DOS SIGUIENTES MÉTODOS:

- 1) SE CIERRA LA CIRCULACIÓN DEL AGUA Y LOS FRAGMENTOS QUE SE ATORAN ROMPEN EL EXTREMO INTERIOR DEL CORAZÓN.
- 2) EN ALGUNAS ROCAS SE INCREMENTA RÁPIDAMENTE LA VELOCIDAD DE ROTACIÓN Y ESTO ES SUFICIENTE PARA QUE SE ROMPA EN SU BASE LA MUESTRA, SIN PARAR LA CIRCULACIÓN DEL AGUA.

NO OBSTANTE QUE ESTE MÉTODO ES DEFINITIVO, MUCHAS VECES AL ENCONTRAR ROCA SE SUSPENDE EL SONDEO SIN SABERSE EL VERDADERO ESPESOR DE LA MISMA, QUE PUEDE SER MÍNIMO O BIEN SE PUEDE TRATAR DE UN BOLEO, DE UNALENTE DELGADA DE APARENTE ROCA Y NO NOS SIRVA PARA APOYAR LA ESTRUCTURA. POR LO GENERAL, EN TODO TIPO DE ROCA SE DEBE DE PROFUNDIZAR EL SONDEO 4 M MÍNIMO DENTRO DE LA MISMA.

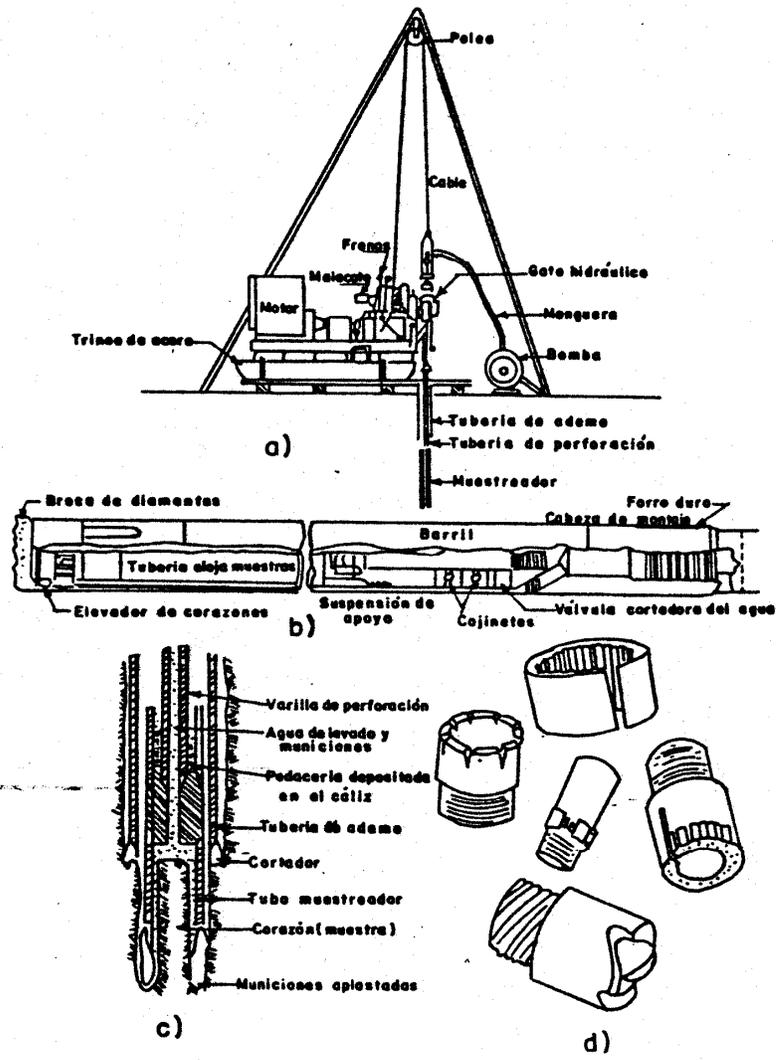


Fig. I-7

EQUIPO PARA MUESTREO EN ROCA

- a) Máquina perforadora
- b) Muestreador para broca de diamante
- c) Muestreador tipo cáliz
- d) Algunos tipos de brocas

#### 4. MÉTODOS GEOFÍSICOS

LOS MÉTODOS GEOFÍSICOS HAN SIDO DESARROLLADOS PRINCIPALMENTE PARA DETERMINAR LAS VARIACIONES EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS DIFERENTES ESTRATOS DEL SUBSUELO O LA EXISTENCIA DE ROCAS SUBYACENTES A DEPÓSITOS SEDIMENTARIOS.

LOS MÉTODOS SON RÁPIDOS Y PERMITEN TRATAR GRANDES ÁREAS, PERO NUNCA PROPORCIONAN SUFICIENTE INFORMACIÓN PARA FUNDAMENTAR CRITERIOS EN EL PROYECTO DEFINITIVO DE CUALQUIER OBRA DE CIMENTACIÓN.

A CONTINUACIÓN SE DESCRIBIRÁN BREVEMENTE LOS MÉTODOS GEOFÍSICOS DESARROLLADOS HASTA LA ACTUALIDAD.

##### 4.1 METODO SISMICO

ESTE MÉTODO ESTÁ BASADO EN LA VARIABILIDAD DE PROPAGACIÓN DE ONDAS VIBRATORIAS DE TIPO SÍSMICO SEGÚN LA DENSIDAD DE LOS MATERIALES.

LOS VALORES PROMEDIOS ENCONTRADOS EN PRUEBAS DE ESTE TIPO HECHOS EN DIFERENTES MATERIALES NOS PERMITEN CONOCER LA VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN EN ALGUNO DE ELLOS, RESUMIÉNDOSE EN LA SIGUIENTE TABLA.

MATERIAL	VELOCIDAD DE PROPAGACION (M/SEG)
ARENA SUELTA SECA	150 - 450
ARCILLA DURA, PARCIALMENTE SATURADA	600 - 1200
AGUA, SUELO SUELTO SATURADO	1400 - 1600
SUELO SATURADO	1200 - 3000
ROCA SANA	2000 - 8000

EL PROCEDIMIENTO ES EL SIGUIENTE: SE ELIGE UN PUNTO SOBRE EL NIVEL DEL TERRENO Y A PROFUNDIDAD VARIABLE SE HACE EXPLOTAR UNA PEQUEÑA CARGA USUALMENTE NITROAMONIO, SE ALINEAN REGISTRADORES DE ONDA (GEOFONOS) SEPARADOS ENTRE SI DE 15 A 30 M (HASTA UNA DISTANCIA DE 3 A 12 VECES LA PROFUNDIDAD DESEADA DE REGISTRO). LA FUNCIÓN DE LOS GEOFONOS ES CAPTAR LA VIBRACIÓN QUE SE TRASMITE AMPLIFICADA QUE MARCA VARIAS LÍNEAS UNA PARA CADA GEOFONO. FIG. I.8a.

SUPONIENDO UNA MASA DE SUELO HOMOGÉNEA QUE YAZCA SOBRE LA ROCA BASAL, UNAS ONDAS LLEGAN A LOS GEOFONOS VIAJANDO A TRAVÉS DEL SUELO A UNA VELOCIDAD " $V_1$ "; OTRAS ONDAS LLEGAN DESPUÉS DE CRUZAR OBLICUAMENTE DICHO SUELO. HAY UN ÁNGULO CRÍTICO DE INCIDENCIA RESPECTO A LA FRONTERA CON LA ROCA BASAL QUE HACE QUE LAS ONDAS NI SE REFLEJEN NI SE REFRACTEN HACIA DENTRO DE LA ROCA, SINO QUE LAS HACE VIAJAR PARALELAMENTE A DICHA FRONTERA DENTRO DE LA ROCA, CON UNA VELOCIDAD " $V_2$ " HASTA SER RECOGIDA POR LOS GEOFONOS, DESPUÉS DE SUFRIR NUEVAS REFRACCIONES, PARA TRASMITIRLAS AL OSCILOGRÁFO. EL TIEMPO DE RECORRIDO DE UNA ONDA REFRACTADA ESTA DETERMINADO POR EL ÁNGULO CRÍTICO, QUE DEPENDE DE LA NATURALEZA DEL SUELO Y DE LA ROCA.

DESPUÉS SE CONSTRUYE UNA GRÁFICA QUE RELACIONA LA DISTANCIA DEL GEOFONO AL PUNTO DONDE SE ORIGINO LA EXPLOCIÓN CON EL TIEMPO QUE TARDO EN REGISTRARSE LA ONDA EN ESE GEOFONO. FIG. I.8a. COMO LAS ONDAS DIRECTAS Y REFRACTADAS COMIENZAN A LLEGAR AL GEOFONO EN TIEMPOS DIFERENTES BIEN DETERMINADOS, PUEDE CALCULARSE DE LA FIGURA I.8b LOS VALORES " $V_1$ " DEBIDO A ONDAS DIRECTAS Y " $V_2$ " DEBIDO A ONDAS REFRACTADAS. LAS DOS LÍNEAS SE CORTAN EN UN PUNTO EQUIVALENTE A LA DISTANCIA  $d'$  DEL LUGAR DONDE SE PRODUJO LA EXPLOCIÓN.

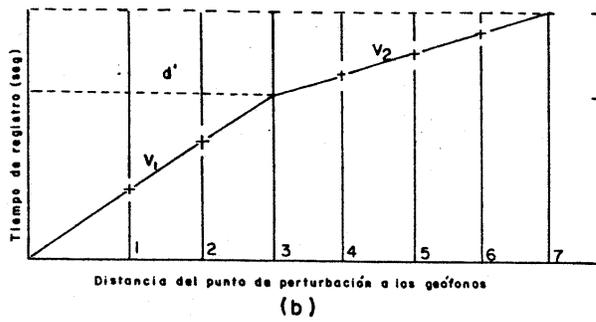
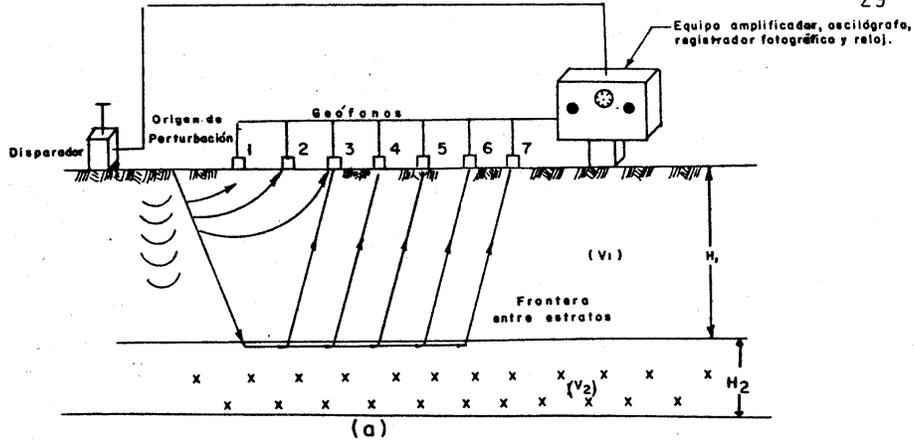


FIG. 1.8 ESQUEMA DEL DISPOSITIVO PARA EXPLORACION GEOFISICA POR EL METODO SIMICO.

EL ESPESOR DEL ESTRATO H ESTA DADO POR LA SIGUIENTE EC:

$$H_1 = \frac{d'}{2} \sqrt{\frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1}}$$

d' = DISTANCIA DEL CENTRO DE PERTUBACIÓN AL PUNTO DONDE VARIAN LAS VELOCIDADES.

LA VELOCIDAD Y EL ESPESOR DE CADA ESTRATO SUCESIVO SE PUEDE CALCULAR SIEMPRE QUE ESTA SEA MAYOR QUE LA DEL ESTRATO QUE ESTA ARRIBA DE ÉL.

EL MÉTODO SE ADAPTA MEJOR A LOS ESTRATOS HORIZONTALES O CON LIGERA PENDIENTE EN LOS QUE HAYA UN BIEN DEFINIDO CONTRASTE ENTRE LAS VELOCIDADES, COMO EN EL CASO DE SUELO SOBRE ROCAS O DE ARENA SUELTA SECA SOBRE ARENA SATURADA POR EL AGUA FREÁTICA.

LOS CASOS PRÁCTICOS NO SON TAN SENCILLOS COMO EL ANTERIORMENCIONADO POR LO QUE AL APLICAR ESTE MÉTODO SE REQUIERE UNA GRAN EXPERIENCIA POR PARTE DEL TÉCNICO, YA QUE SU INTERPRETACIÓN ES DUDOSA CON LÍMITES IRREGULARES O POBREMENTE DEFINIDOS.

#### 4.2 METODO DE RESISTIVIDAD ELECTRICA

ESTE MÉTODO SE BASA EN EL HECHO DE QUE LOS SUELOS, DEPENDIENDO DE SU NATURALEZA, PRESENTAN UNA MAYOR O MENOR RESISTIVIDAD ELÉCTRICA CUANDO UNA CORRIENTE PASA POR ELLOS. PARA EL CASO DE PUENTES LA INFORMACIÓN QUE NOS PROPORCIONA ESTE MÉTODO ES LA PRESENCIA DE ESTRATOS DE ROCA Y DE AGUAS SUBTERRÁNEAS, AUNQUE ESTOS LÍMITES SEAN POBREMENTE DEFINIDOS.

EL PROCEDIMIENTO ES EL SIGUIENTE: SE COLOCAN LOS CUATRO ELECTRODOS EN LÍNEA RECTA A IGUALES DISTANCIAS  $d$ , COMO SE MUESTRA EN LA FIGURA 1.9 Y SE HACE PASAR UNA CORRIENTE DE 50 A 100 MILIAMPERES ENTRE LOS ELECTRODOS EXTREMOS, QUE SE MIDE CON EXACTITUD. LA CAÍDA DE VOLTAJE EN UNA PARTE DE LA MASA SE MIDE ENTRE LOS DOS ELECTRODOS INTERIORES POR UN CIRCUITO DE PUNTO MUERTO QUE REQUIERE QUE NO HAYA PASE DE CORRIENTE EN EL INSTANTE DE HACER LA MEDICIÓN.

LOS ELECTRODOS DE CORRIENTE SON SIMPLES VARILLAS MÉTALICAS CON PUNTA AFILADA, MIENTRAS QUE LOS DE POTENCIAL SON RECIPIENTES POROSOS LLENOS DE UNA SOLUCIÓN DE SULFATO DE COBRE, QUE AL FILTRARSE AL SUELO GARANTIZA UN BUEN CONTACTO ELÉCTRICO.

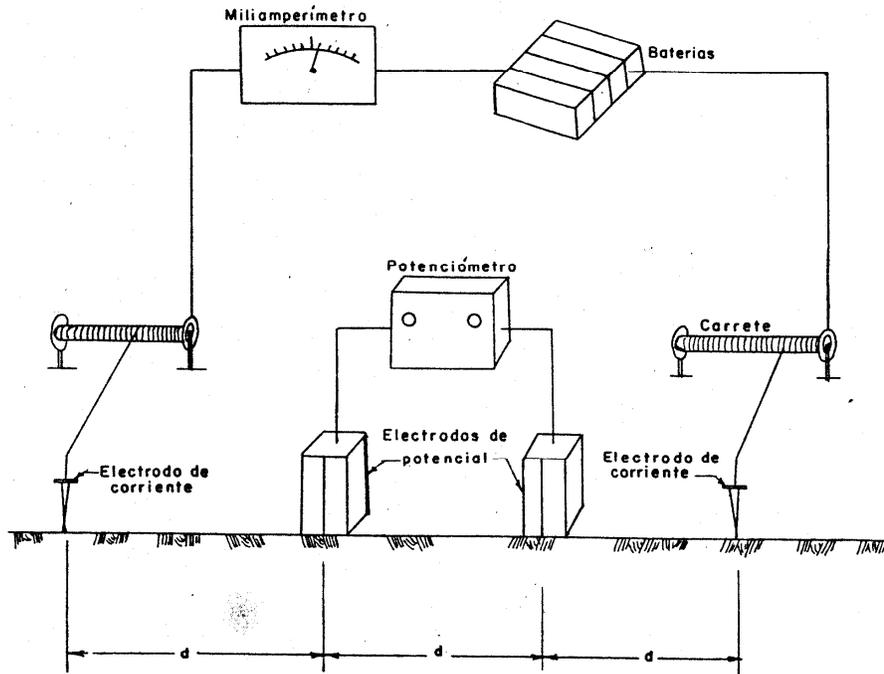


Fig. I-9 ESQUEMA DEL DISPOSITIVO PARA EXPLORACION GEOFISICA POR EL METODO DE RESISTIVIDAD ELECTRICA.

EN UNA MASA SEMI-INFINITA DE UN MATERIAL HOMOGÉNEO E ISO - TROPO LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA ESTÁ DADA POR LA EXPRESIÓN:

$$\rho = \frac{2 \pi d V}{I}$$

$I$  = ES EL AMPERAJE DE LA CORRIENTE.

$V$  = ES LA DIFERENCIA DE POTENCIAL ENTRE LOS DOS ELECTRODOS CENTRALES.

$d$  = ES LA SEPARACIÓN ENTRE ELECTRODOS.

$\rho$  = RESISTIVIDAD ELÉCTRICA.

EL MÉTODO SIRVE EN PRIMER LUGAR, PARA MEDIR LA RESISTIVIDAD A DIFERENTES PROFUNDIDADES EN UN MISMO LUGAR Y PARA MEDIR UNA MISMA PROFUNDIDAD, A LO LARGO DE UN PERFIL. LO PRIMERO SE LOGRA AUMENTANDO LA DISTANCIA "d", ENTRE LOS ELECTRODOS CON LO QUE SE LOGRA QUE LA CORRIENTE PENETRE A MAYOR PROFUNDIDAD. LO SEGUNDO SE LOGRA CONSERVANDO "d" Y DESPLAZANDO TODO EL EQUIPO SOBRE LA LÍNEA A EXPLORAR.

EN LA SIGUIENTE TABLA SE DAN VALORES TÍPICOS DE RESISTIVIDAD.

MATERIAL	RESISTIVIDAD EN OHMS - CENTIMETROS
ARCILLA O LIMO ORGÁNICO SATURADOS -----	500 - 2000
ARCILLA O LIMO INORGÁNICO SATURADOS -----	1000 - 5000
ARCILLA Y LIMOS PARCIALMENTE SATURADOS, ARENAS Y GRAVAS SATURADAS -----	5000 - 15000
LUTITAS, ARCILLAS Y LIMOS SECOS -----	10000 - 50000
ARENISCAS, ARENAS Y GRAVAS SECAS -----	20000 - 100000
ROCAS CRISTALINAS SANAS -----	100000 - 1'000000

#### 4.3 METODOS MAGNETICOS Y GRAVIMETRICOS

ESTOS MÉTODOS SON SIMILARES AL SISMICO Y ELÉCTRICO, BASANDO SU DIFERENCIA EN EL APARATO USADO. EN EL MÉTODO MAGNETICO SE USA UN APARATO LLAMADO MÁGNÉTOMETRO, QUE MIDE LA COMPONENTE VERTICAL DEL CAMPO MAGNETICO TERRESTRE DONDE SE HACE EL ESTUDIO, EN VARIAS ESTACIONES PROXIMAS UNAS A OTRAS.

EN EL MÉTODO GRAVIMÉTRICO SE MIDE LA ACELERACIÓN EXISTENTE EN EL CAMPO GRAVITACIONAL EN VARIOS PUNTOS DE LA ZONA A EXPLORAR, VALORES DE DICHA ACELERACIÓN LIGERAMENTE MÁS ALTOS QUE EL NORMAL DE LA ZONA, INDICARÁN LA PRESENCIA DE MASAS DURAS DE ROCA Y LOS VALORES MEDIOS Y BAJOS INDICARÁN LA EXISTENCIA DE SUELOS SUAVES O CAVERNAS.

UNA DE LAS DESVENTAJAS DE AMBOS MÉTODOS ES QUE NO IDENTIFICAN FRONTERAS ENTRE ESTRATOS, A MENOS QUE HAYA GRANDES DIFERENCIAS DE DENSIDADES.

## 5. PROGRAMACIÓN DE LA EXPLORACIÓN

NO ES RARO EN LA ACTUALIDAD ENCONTRARSE CON CASOS DE CONSTRUCCIONES DE PUENTES, EN LOS QUE POR FALTA DE HABERLES PRECEDIDO UN RECONOCIMIENTO SUFICIENTE Y UN BUEN ESTUDIO EN LAS CIMENTACIONES, SE HAYAN TENIDO QUE ACORTAR O SUSPENDER Y EN MUCHOS CASOS HACER FUERTES INVERSIONES EN LA COLOCACIÓN DE REFUERZOS DE SU SUPER-ESTRUCTURA PARA CONSERVARLOS EN PIE, CON EL CONSIDERABLE AUMENTO DE SUS COSTOS.

SE PUEDE ASEGURAR QUE TODO ESTUDIO BASADO EN UN PROGRAMA, DE EXPLORACIÓN NOS CONDUCE SIEMPRE A UNA ECONOMÍA EN EL COSTO DE LA OBRA. EL MÉTODO QUE SE APLIQUE DEBE SER AQUEL QUE NOS PROPORCIONE LA INFORMACIÓN DESEADA CON LA SIGUIENTE ECONOMÍA.

EL COSTO DE UNA INVESTIGACIÓN SE PUEDE MEDIR POR LA CANTIDAD DE DINERO QUE PUDIERA SER NECESARIO GASTAR EN LA ESTRUCTURA SI NO SE HICIERA LA INVESTIGACIÓN.

OTRO CRITERIO PARA VALUAR EL COSTO DE UNA INVESTIGACIÓN ADECUADA (INCLUYENDO ENSAYES DE LABORATORIO) PARA PUENTES, VARÍA DEL 0.5 % AL 1 % DEL COSTO DE LA OBRA.

GENERALMENTE ANTES DE INICIAR ALGUNA PERFORACIÓN DEBEMOS DE REUNIR TODA LA INFORMACIÓN POSIBLE DE LA ZONA TALES COMO: MAPAS GEOLÓGICOS, ESTUDIOS PREVIOS, PRINCIPALMENTE EN ZONAS CERCANAS AL LUGAR, EMPLEADOS EN OTRAS CONSTRUCCIONES O BIEN HACER ESTUDIOS CON HERRAMIENTAS DE MANO, POR EJEMPLO PICO, PALA, BARRENO, ETC. HABIENDO HECHO UNA OBSERVACIÓN GEOLÓGICA DEL LUGAR SE PODRÁ DETERMINAR EL EQUIPO INDISPENSABLE EVITANDO COSTOSAS TRANSPORTACIONES.

EN LOS DATOS OBTENIDOS SE PODRÁ DETERMINAR TAMBIÉN LA ÉPOCA DE TRABAJO, YA QUE HAY REGIONES EN QUE EL CONOCIMIENTO DEL NIVEL FREÁTICO Y CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS ES LO MÁS-IMPORTANTE EN EL AVANCE DE LA OBRA.

A) SEPARACIÓN DE LOS SONDEOS EN PUENTES.

ES IMPOSIBLE DETERMINAR EL ESPACIAMIENTO DE LOS SONDEOS ANTES DE OBTENER INFORMACIÓN DEL LUGAR, PORQUE ÉSTE DEPENDE DEL TIPO DE ESTRUCTURA Y DE LA UNIFORMIDAD O IRREGULARIDAD DEL DEPÓSITO DE SUELO. EN EL ESTUDIO PARA CIMENTACIONES DE PUENTES, EL PROPIO TRAZO DEL CRUCE Y LOS PUNTOS DONDE SE HAYA DE SITUAR PILAS Y ESTRIBOS, PROPORCIONAN INDICACIONES DEL LUGAR DE LOS SONDEOS.

EN CASO DE NO TENER LA INFORMACIÓN SOBRE LA LONGITUD DEL PUENTE, UN CRITERIO A SEGUIR ES OBTENER UN GASTO HIDROLÓGICO CON LA AYUDA DE CARTAS TOPOGRÁFICAS, DE CLIMAS, ETC. PARA QUE CON AYUDA DE ESTE GASTO PODAMOS DEFINIR LA LONGITUD DEL PUENTE APROXIMADA Y EN BASE A ELLA ESPACIAR LOS SONDEOS. EL ESPACIAMIENTO DEBE SER MENOR EN ÁREAS MÁS CRÍTICAS Y MAYOR EN ÁREAS MENOS CRÍTICAS.

B) PROFUNDIDAD DE LOS SONDEOS EN PUENTES.

ESTE ASPECTO FUNDAMENTAL, CUYAS REPERCUSIONES PUEDEN DEJARSE SENTIR EN TODAS LAS FASES DEL ÉXITO O FRACASO DE LA OBRA, TANTO TÉCNICAS COMO ECONÓMICAS. EN GENERAL LOS PUNTOS BÁSICOS A ESTUDIAR EN EL CASO DE PUENTES SON LOS POSIBLES ASENTAMIENTOS Y RESISTENCIA DE LOS SUELOS.

UN CRITERIO EMPLEADO ES EL QUE CONSIDERA LAS PRESIONES TRANSMITIDAS AL SUBSUELO POR LAS CARGAS SUPERFICIALES, DECIDIÉNDOSE QUE LA PROFUNDIDAD DEL SONDEO DEBE LLEVARSE TAL QUE LOS ESFUERZOS TRANSMITIDOS DESDE LA SUPERFICIE YA NO PRODUZCAN EFECTOS DE IMPORTANCIA; EN LA PRÁCTICA

ESTO PUEDE LOGRARSE CUANDO LAS PRESIONES TRANSMITIDAS -  
LLEGAN A SER DEL ÓRDEN DEL 5% AL 10% DE LAS PRESIONES -  
APLICADAS EN LA SUPERFICIE.

EN OTROS CASOS LA PROFUNDIDAD DE LOS SONDEOS SE FIJARÁ -  
EN FUNCIÓN DEL MATERIAL Y DE LA RESISTENCIA QUE SE VAYA  
ENCONTRANDO. UN CASO TÍPICO SE TIENE CUANDO LOS SONDEOS  
REVELAN LA PRESENCIA DE SUELOS BLANDOS, QUE OBLIGUEN A -  
PENSAR EN CIMENTACIONES PROFUNDAS APOYADAS SOBRE ESTRATOS  
RESISTENTES, EN TALES CASOS SE HARÁ NECESARIO SEGUIR  
LA EXPLORACIÓN HASTA ENCONTRAR TALES ESTRATOS, SI EXISTEN  
A PROFUNDIDADES ECONÓMICAS, E INCLUSIVE REBASARLOS -  
PARA VERIFICAR QUE SU ESPESOR SEA ADECUADO (MÁS DE 4 M)  
Y EN CASO QUE BAJO ELLOS SIGAN OTROS ESTRATOS BLANDOS -  
SERÁ PRECISO INVESTIGAR LAS CARACTERÍSTICAS DE ÉSTOS, -  
PARA PODER ESTIMAR LOS ASENTAMIENTOS Y LA CAPACIDAD DE -  
CARGA DE LAS CIMENTACIONES.

SIN EMBARGO, EL INGENIERO DE SUELOS DEBE CONSIDERAR EL -  
ESTUDIO MÁS COMPLETO COMO ALGO SUJETO A CONTÍNUA REVI -  
SIÓN, DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DE LA OBRA DEBE DE ESTAR -  
SIEMPRE ALERTA A LAS CONDICIONES QUE LAS EXCAVACIONES -  
Y EL COMPORTAMIENTO DEL SUELO EN GENERAL VAYAN REVELANDO.

### 5.1 INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DEL SUELO SOBRE EL PROGRAMA DE EXPLORACION

EL TIPO DE SUELO ES FUNDAMENTAL EN LA PROGRAMACIÓN DE SONDEOS YA QUE SI UNA ESTRUCTURA IMPORTANTE SE VA A CIMENTAR SOBRE UNA CAPA BASTANTE HOMOGÉNEA DE ARCILLA, SE PUEDE JUSTIFICAR LA REALIZACIÓN DE UNA CANTIDAD CONSIDERABLE DE ENSAYOS INALTERADOS DE SUELO, PARA CONOCER LAS CARACTERÍSTICAS QUE NOS PERMITAN ESTIMAR CON RELATIVA EXACTITUD, TANTO EL ASENTAMIENTO COMO LA VELOCIDAD CON QUE ÉSTE SE PRODUCE Y PREVENIR CON UN COSTO RAZONABLE EL PELIGRO DE ASENTAMIENTO DIFERENCIAL, POR EJEMPLO CON ALGÚN MÉTODO DE PRECARGA O AJUSTANDO ADECUADAMENTE LA PROFUNDIDAD DE DESPLANTE. SI POR EL CONTRARIO LA MISMA ESTRUCTURA SE VA A SITUAR POR ENCIMA DE UN DEPÓSITO COMPUESTO DE BOLSONES Y LENTES DE ARENA, ARCILLA Y LIMO, LA MISMA CANTIDAD DE ENSAYOS AGREGARÍA MUY POCO A LA INFORMACIÓN QUE PODRÍA OBTENERSE DETERMINANDO LAS PROPIEDADES ÍNDICES DE VARIAS DOCENAS DE MUESTRAS EXTRAÍDAS DE LA EXPLORACIÓN; YA QUE PARA ESTE TIPO DE FORMACIONES SE PODRÍAN OBTENER EN MENOS TIEMPO Y CON MENOR COSTO, POR MEDIO DE SIMPLES ENSAYOS DE PENETRACIÓN EN EL TERRENO A LO LARGO DE LÍNEAS VERTICALES POCO ESPACIADAS ENTRE SI, YA QUE DICHOS ENSAYOS PONDRÍAN EN EVIDENCIA LAS ZONAS DÉBILES QUE PUDIERAN HABER ENTRE PERFORACIONES, YA QUE EL DESCUBRIMIENTO DE DICHAS ZONAS ES MÁS IMPORTANTE QUE EL CONOCIMIENTO EXACTO DE LAS PROPIEDADES DE ALGUNAS MUESTRAS TOMADAS AL AZAR.

SI EL PERFIL DE SUELO ES COMPLEJO, ES MUY PROBABLE QUE UN PROGRAMA ELABORADO SE ENCUENTRE FUERA DE LUGAR, POR ELLO, LOS MÉTODOS DE EXPLORACIÓN DEBEN ELEGIRSE DE ACUERDO AL TIPO DEL SUBSUELO QUE HAY EN EL SITIO DE LA CONSTRUCCIÓN.

## 5.2 INFLUENCIA DEL TAMAÑO DEL PROYECTO SOBRE EL PROGRAMA - DE EXPLORACION

EL TAMAÑO DEL PROYECTO ES UN PUNTO FUNDAMENTAL QUE LA PERSONA ENCARGADA DE REALIZAR EL PROGRAMA DE EXPLORACIÓN DEBE TENER MUY EN CUENTA, TANTO PARA EL NÚMERO Y TIPO DE SONDEO COMO SU ESPACIAMIENTO, YA QUE COMO SE MENCIONO ANTERIORMENTE EL COSTO DEL PROGRAMA DE EXPLORACIÓN ANDA ALREDEDOR DEL 0.5% AL 1% DEL TOTAL DEL PROYECTO.

PARA PODER ADAPTAR EL PROGRAMA A LOS REQUERIMIENTOS DE UNA OBRA DADA Y OBTENER LOS DATOS ESENCIALES O SUFICIENTES CON UN MÍNIMO DE TIEMPO Y DINERO, EL INGENIERO DEBE HALLARSE FAMILIARIZADO CON LOS ELEMENTOS Y PROCEDIMIENTOS EXISTENTES PARA EXPLORAR EL SUBSUELO, CON LOS MÉTODOS PARA ANALIZAR Y CLASIFICAR LOS ENSAYOS DEL LABORATORIO; PORQUE DE NADA SERVIRÍA UNA EXPLORACIÓN DETALLADA CON UN MAL ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL LABORATORIO O VICEVERSA. ADEMÁS DEBE TENER IDEA DE LAS CARGAS QUE SE VAN A TRANSMITIR AL SUELO PARA DEFINIR EL ESPESOR DEL ESTRATO RESISTENTE QUE PUEDA SOPORTAR DICHAS CARGAS.