

300615

5<sup>2e</sup>



**UNIVERSIDAD LA SALLE**  
ESCUELA DE INGENIERIA  
Incorporada a la U.N.A.M.

# Selección del Equipo de Cimentación Profunda Tomando Como Base los Estudios del Subsuelo

**T E S I S**  
Que para obtener el título de:  
**LICENCIADO EN INGENIERIA CIVIL**  
p r e s e n t a :  
**José Antonio Avelar Cajiga**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **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.

" I N D I C E "

CAPITULO		PAGINAS
	TEMA I GENERALIDADES	
1.1	El papel de la maquinaria en las especialidades de la construcción.....	1
1.2	El suelo.....	2
1.3	El suelo desde el punto de vista del ingeniero civil.....	3
1.4	Capas subsecuentes al suelo.....	5
1.5	El papel del subsuelo en la cimentación profunda.....	8
	TEMA II ESTUDIOS CARACTERISTICOS DEL SUBSUELO	
2.1	Exploración del subsuelo .....	11
2.2	Sondeo .....	13
2.3	Muestreo .....	14
2.4	Sondeo y toma de muestras .....	15
2.5	Localización de agua subterránea .....	27

2.6	Propiedades fisicomecánicas del subsuelo	30
	Relaciones volumétricas .....	31
	Relaciones gravimétricas .....	34
	Pesos volumétricos .....	34
	Granulometría del subsuelo .....	39
	Consistencia del subsuelo .....	47
	Angulo de fricción interna en los ma- teriales del subsuelo .....	52
2.7	Representación gráfica de la estrati- grafia del subsuelo .....	59

### TEMA III SELECCION DEL EQUIPO Y HERRAMIENTA

3.1	Tipos de cimentaciones .....	62
3.2	Descripción del equipo .....	65
3.2.1	Descripción de los martillos .....	65
	Resistencia del subsuelo a la penetra- ción del pilote .....	71
3.2.2	Descripción de las perforadoras .....	81
	Tipos de ademes .....	85
3.2.3	Descripción de las grúas.....	91
3.3	Selección del equipo en función del estu- dio del subsuelo. ....	92

TEMA IV APLICACION REAL DE LOS CONOCIMIENTOS MENCIONADOS.

Hospital Regional de Pemex de Villahermosa, Tabasco ..... 106

Conclusión ..... 110

## "INTRODUCCION"

A partir de los sismos del 19 y 20 de septiembre de 1985 fecha en que la naturaleza hizo una selección indiscriminada destruyendo todo lo construido en forma deficiente, se ha meditado en la imperiosa necesidad de mejorar los criterios de cálculo y los procedimientos constructivos.

Siendo la cimentación profunda una especialidad en la ingeniería civil, ésta se puede mejorar tomando como base los lineamientos y cálculos de dicha disciplina.

Los ingenieros mexicanos dedicados a la cimentación profunda han venido depurando esta especialidad en los últimos 30 años, unas veces creando su propia tecnología y otras adaptando tecnología extranjera a las necesidades que se van presentando; para preservar todas estas experiencias, la Cámara Nacional de la Industria de la Construcción ("C.N.I.C.") dentro de su grupo de especialidades ha formado el de la Cimentación Profunda, quien agrupa a más de 30 empresas que son las que han cimentado el México moderno, pues no hay edificio, planta industrial, paso a desnivel, super-estructura, puente, muelle, tanque, etc... que no haya sido cimentado por alguna de ellas.

El equipo que se utiliza actualmente en la cimentación profunda es el producto de un proceso evolutivo, ya que continuamente se le están haciendo modificaciones para su mejor funciona-

miento, teniendo presente que ésta está íntimamente relacionada -- --  
con las características del subsuelo y la habilidad del cimentador.

A continuación presento un trabajo donde se conjuga el -  
equipo de cimentación profunda con las características del subsue-  
lo y la experiencia.

**"GENERALIDADES"**



## I.- GENERALIDADES :

Desde que el hombre hizo su aparición en el planeta como ser pensante, sintió la necesidad de hacer cambios sobre el medio ambiente en el que se desarrollaba, con el fin de tener una vida -- más funcional y confortable.

Esta conducta, del hombre por mejorar el medio a su conveniencia, le permitía entender de una manera más clara el mundo -- que le rodeaba y entre más lo entendía más cambios le hacía, provocando así una cadena interminable de descubrimientos y adelantos -- científicos. A través de la historia, las generaciones han venido intercambiando experiencias y se han desarrollado consecuentemente, diferentes y nuevas tecnologías.

En el desarrollo de estas nuevas tecnologías la construcción ha desempeñado un papel muy importante y determinante.

### 1.1.- EL PAPEL DE LA MAQUINARIA EN LAS ESPECIALIDADES DE LA CONSTRUCCION.

El hombre, durante toda su existencia, se ha dedicado a observar la naturaleza y ha tratado por todos los medios de imitarla, algunas veces ha tenido serios fracasos y otras veces grandes éxitos, pero gracias a este instinto ha logrado tener un cierto dominio sobre ella.

Es así como la construcción ha alcanzado un grado de desarrollo importante, pues el hombre, al pretender erigir grandes estructuras y hacer obras monumentales, se percató que sus extremidades y todos sus recursos físicos aunque fueran muy eficientes, eran demasiado pequeños, por lo que ideó la forma de manufacturar herramientas que pudieran sustituirlos.

Al principio estas herramientas eran chicas y simples, pero como los retos constructivos eran cada vez mayores, hizo inevitable su evolución a complicadas y eficientes máquinas.

Hoy en día, si observamos la maquinaria auxiliar de la construcción pesada, nos damos cuenta que su función es una simple imitación, pero en gran escala, de las facultades físicas del hombre.

Toda maquinaria que se utiliza en la construcción es diseñada para desempeñar una función en específico y de ninguna manera debe ser destinada a desarrollar otro tipo de trabajos, es por eso que la construcción ha tenido que diversificarse en especialidades para así tener un grado óptimo de servicio.

Dentro de las especialidades de la construcción está la de "Cimentación Profunda", esta disciplina requiere de un personal altamente capacitado, pues la maquinaria que se utiliza es tan delicada y su función tan específica, que no cualquiera puede operarla.

El principal elemento que hay que conocer en una obra de cimentación profunda es el subsuelo, ya que éste se presenta con características muy diferentes en la naturaleza, por tal motivo la maquinaria es diseñada con distintas cualidades y su elección depende definitivamente de un buen estudio del subsuelo.

## 1.2. EL SUELO:

El suelo, percibido comúnmente, se podría entender como

el sostén y medio de supervivencia de cualquier ser vivo que se desarrolle y tienda a tener una cierta evolución.

Desde la antigüedad el suelo ha sido escenario de toda la vida que nos rodea, hay claros testimonios paleontológicos de -- que la evolución tanto animal como vegetal se encuentran íntimamente ligadas con las características y cambios sufridos por el suelo en el que éstas se han desarrollado, tal es el caso de lagos que se secaron hace miles de años o las mismas glaciaciones, las cuales -- cambiaron las características del suelo provocando la extinción de varias especies vivientes, la evolución de otras y la aparición de nuevas.

Esta podría ser una clara explicación del "suelo" si éste se quisiese entender de una manera común, pero el ser humano, -- dentro de su compleja forma de ver las cosas y tomando en cuenta la necesidad de éste por entenderlas según su conveniencia, llegamos a la conclusión de que el "suelo" tiene muchas definiciones, ya que -- para un agricultor, para un geólogo, para un minero, para un petrolero, para un constructor, etc., el "suelo" es considerado de muy -- diferentes formas a pesar de que se está hablando del mismo elemento en todos los casos.

### 1.3.- EL SUELO DESDE EL PUNTO DE VISTA DEL INGENIERO CIVIL:

El suelo de hoy en día, es el resultado de un largo proceso de erosión, cambios de temperatura, alteraciones en su composición y muchos otros factores que en la actualidad son tomados en -- cuenta para poderlo utilizar adecuadamente.

El fenómeno de "Intemperismo o Meteorización" es el que se encarga de alterar la composición y estructuración de las rocas y de todos los materiales depositados en un suelo, tanto internamente como externamente, a consecuencia de los agentes físicos y químicos del medio ambiente en que se encuentran, de aquí que se hayan -- determinado dos tipos de intemperismos:

1.- El intemperismo por desintegración o físico es cuán

do la roca se altera solamente en su estructura y esta alteración es producida por una combinación de romper, astillar y moler, reduciendo al material en fragmentos cada vez más pequeños pero que conservan su composición mineral original.

Las causas principales que producen este fenómeno son -- los cambios periódicos de temperatura, los efectos de erosión, los efectos de congelación y fusión, los acarreos y depósitos de materiales y las acciones de plantas y animales.

2.- El intemperismo por descomposición o químico es la alteración de la composición molecular de la roca, esta descomposición provoca la creación de nuevos minerales, los cuales generalmente tienen propiedades totalmente diferentes a los que les dieron origen.

Las causas de este fenómeno son la reacción de los minerales con el agua provocando en ellos oxidaciones y reducciones, -- también las sales y el dióxido de carbono disueltas en agua producen carbonataciones y por último la reacción de algunos ácidos vegetales en descomposición con los minerales provocan la alteración en la composición original del suelo.

Partiendo de los conceptos anteriores podemos dar una definición acertada del "suelo".

Entonces "El suelo", desde el punto de vista de la ingeniería "Es el conjunto de materiales, depositados sobre la superficie terrestre, compuestos de diferentes partículas sólidas con gases y líquidos incluidos y todos estos son producto del intemperismo, tanto físico como químico, los cuales no han tenido un grado de compactación o consolidación".

Hasta ahora se ha estudiado a la capa superior de la tierra, es decir, la superficie terrestre en el término de "suelo", la cual tiene aproximadamente dos metros de espesor y como se ha veni-

do diciendo, es la que está sujeta a constantes cambios por diferentes agentes, tanto físicos como químicos, pero...¿Qué pasa con las capas subsecuentes?

#### 1.4.- CAPAS SUBSECUENTES AL SUELO:

Las capas subsecuentes al suelo son las que se conocen en conjunto como "subsuelo" y para el estudio de este, hay una rama en la ingeniería que se llama "Mecánica de Suelos" que es la que se encarga de hacer todas las investigaciones al respecto.

Usando un poco nuestra imaginación, si se hiciera un corte vertical sobre el suelo, se verían claramente las diferentes capas que forman al subsuelo; a una capa de este subsuelo se le conoce en el medio como "Estrato" y se entiende como estrato... "A la capa cualquiera, que forma parte del subsuelo, la cual está relativamente definida y que se encuentra entre dos capas de características completamente diferentes".

Al conjunto de estratos que forman el subsuelo y que de alguna manera han podido ser bien identificados y definidos, se le conoce como "Perfil Estratigráfico" (fig. 1.)

Cuando en el perfil estratigráfico se observa que los estratos son más o menos paralelos entre sí, se dice que el subsuelo es "simple" o "regular" y a lo contrario se le conoce como "errático". (fig. 2.)

Para poder diferenciar más claramente al suelo del subsuelo ha sido necesario dividir a la corteza terrestre en cuatro horizontes: (fig. 3.)

HORIZONTE "A".- Es el material más intemperizado, con un alto contenido de material orgánico. ("Tiene de 30 cm a 40 cm").

HORIZONTE "B".- Es el material un poco menos intemperizado.

zado y con algunos fragmentos que no se pueden intemperizar más y el contenido de material orgánico es muy bajo. ("Tiene de 60 cm a 70 cm").

HORIZONTE "C",.- Es el material que ya no se puede intemperizar más, su contenido de material orgánico es casi nulo, más sin embargo, todavía no está consolidado. ("Tiene de 90 cm a 100 cm").

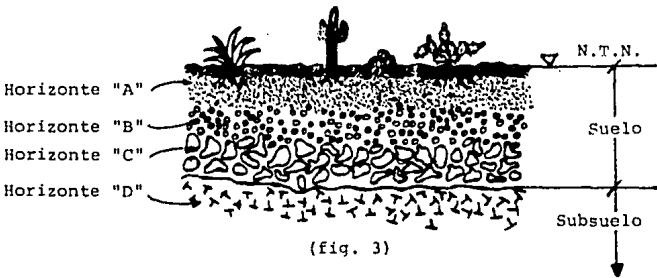
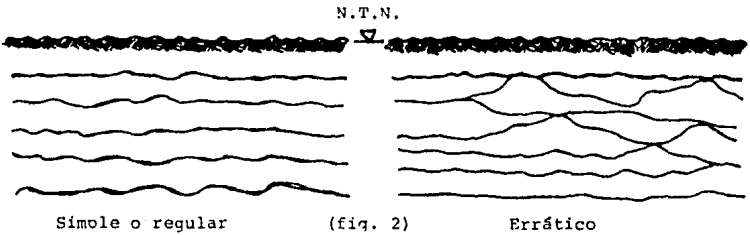
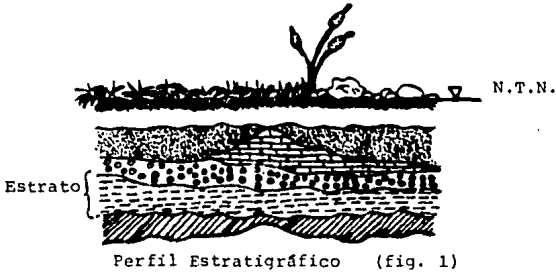
HORIZONTE "D",.- Es el material cuya etapa de intemperización ya pasó, su contenido de material orgánico es cero y ya ha alcanzado un grado de consolidación o compactación considerable. ("Tiene un espesor semi-infinito").

Para dar una definición más exacta del "subsuelo", es necesario tomar en cuenta que éste interesa de diferentes formas tanto al ingeniero calculista como al ingeniero constructor de una cimentación profunda, ya que para el calculista el subsuelo es un medio teórico cuyo comportamiento se apega estrictamente a las leyes de la física y que si en algún momento éste tiende a tener comportamientos difíciles de precisar, el calculista recurre a factores de seguridad debidamente investigados, estudiados y establecidos con el fin de cubrir los rangos en los que puedan variar estas imprecisiones; en cambio para el ingeniero cimentador el subsuelo es un medio impreciso donde cualquier problema que se presente tiene que ser resuelto sobre la marcha, no obstante se haya procurado tomar en cuenta anticipadamente cualquier imprevisto y los únicos recursos con los que se cuenta son el criterio y la experiencia.

Por lo tanto, podemos decir que "el subsuelo", desde el punto de vista de un ingeniero constructor de una cimentación profunda:

"Es un medio heterogéneo y semi-infinito, el cual está -

formado por diferentes estratos, los cuales en algún momento fueron intemperizados y transportados y ahora se encuentran depositados -- con un grado de compactación o consolidación diferente para cada uno".



#### 1.5.- EL PAPEL DEL SUBSUELO EN LA CIMENTACION PROFUNDA:

Para el ingeniero constructor de una cimentación profunda, el medio que más interesa es el del subsuelo, ya que en él es donde se aplica y se desarrolla toda su tecnología.

Si se quisiera apoyar, directamente sobre el terreno una estructura, cuya carga total superara a la capacidad de carga del mismo, se entendería que las condiciones del suelo no son las apropiadas, entonces es necesario encontrar, a mayor profundidad un estrato que soporte la carga total de dicha estructura.

Para poder transmitir la carga de una superestructura al subsuelo, es necesario construir una subestructura; por lo tanto, de lo anterior se entiende que en la práctica, una estructura está constituida de dos partes principalmente, las cuales son: (fig. 4).

1°- "La subestructura": Es la parte de la estructura -- que está bajo el nivel de tierras ("N.T") y su función principal es dar estabilidad y apoyo a la superestructura.

2°- "La superestructura": Es la parte de la estructura que está arriba del nivel de tierras ("N.T") y su función principal es dar seguridad, habitabilidad y confort a los ocupantes del inmueble.

Cuando el peso de la superestructura es mucho mayor a la capacidad de carga del terreno, implica que el estrato resistente -- tendrá que buscarse a una gran profundidad en el subsuelo, entonces esto significa que la subestructura va a ser tan grande como la profundidad lo requiera.

Algunas veces el peso de la superestructura es tan grande que los estratos resistentes se encuentran a profundidades inalcanzables desde el punto de vista técnico y económico, en estos casos es preciso diseñar una subestructura que permita apoyar a la su



perestructura en los estratos blandos y poco resistentes, de tal manera que la carga total se distribuya en un espesor grande del subsuelo.

A la técnica de diseño y construcción de una subestructura de tal magnitud se le conoce como "Cimentación Profunda".

El fin de la cimentación profunda es incrementar, de alguna forma, la capacidad de carga del terreno y su construcción es tan delicada, que en el medio de la ingeniería se ha convertido en una especialidad.

Comunmente se entiende que la cimentación profunda es solo la subestructura, pero en un término más completo se puede decir que la cimentación profunda está formada también por todos los materiales que conforman el subsuelo, es por eso que el subsuelo toma un papel muy importante.

Para entender mejor el concepto de "Cimentación profunda", es conveniente dividirla en dos partes fundamentales: (fig. 5)

1°- "La subestructura": Es la parte de una cimentación profunda, que soporta y transmite la carga de la superestructura al subsuelo. En esta parte el papel del ingeniero constructor es muy importante, ya que de él depende que la subestructura se apegue a las especificaciones del proyecto.

2°- "El subsuelo": Para poder diseñar y calcular una subestructura, además de conocer la magnitud de la carga a la que va a estar sometido el terreno y saber la ubicación de los puntos sobre el terreno, en donde se vá a distribuir y concentrar dicha carga, es necesario conocer las propiedades cualitativas y cuantitativas del subsuelo, así que un buen estudio de mecánica de suelos es vital para llevar a cabo una buena obra de cimentación profunda.

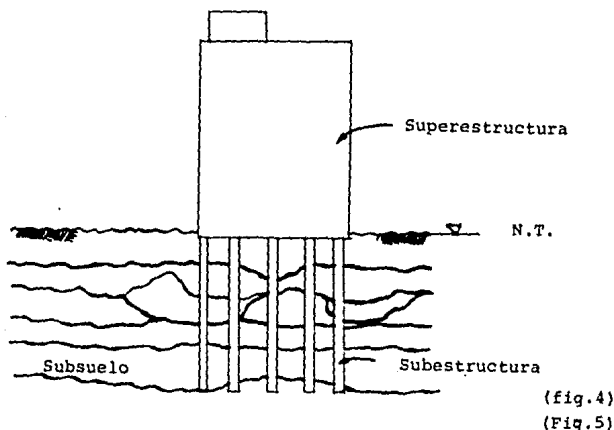
También al conocer las condiciones físico-mecánicas del -

subsuelo, nos permite determinar adecuadamente el tipo de maquinaria que se va a utilizar para construir dicha subestructura.

Lo que se pretende, con una obra de cimentación profunda, es dotar al subsuelo de los elementos necesarios, mediante una subestructura, para incrementar la capacidad de carga del terreno.

Entonces, en una cimentación profunda, la subestructura y el subsuelo trabajan de manera conjunta como una sola unidad, evitando hundimientos diferenciales que con el tiempo ocasionan esfuerzos en la superestructura no considerados en el cálculo.

Por tal motivo, en la especialidad de cimentación profunda, la subestructura y el subsuelo son considerados con la misma importancia.



**"ESTUDIOS CARACTERISTICOS DEL SUBSUELO"**

## II.- ESTUDIOS CARACTERISTICOS DEL SUBSUELO:

El subsuelo es un medio cuyos materiales son muy complejos y con ingredientes variables, los cuales algunas veces parece que desafían a las leyes de la naturaleza.

Para poder usar con seguridad el subsuelo hay una rama en la ingeniería conocida con el nombre de "Mecánica de Suelos".

En la mecánica de suelos, el ingeniero, ayudado de laboratorios expertos y de máquinas especiales, investiga las características de los materiales que se encuentran bajo una determinada superficie terrestre y señala el tipo de subsuelo del que se está tratando.

Por existir varios tratados de mecánica de suelos, en este trabajo se citarán algunos métodos de investigación del subsuelo.

### 2.1.- EXPLORACION DEL SUBSUELO:

El fin de la exploración del subsuelo es obtener una información, lo más cuantiosa posible, de sus condiciones estratigráficas y de las características de sus componentes, para así hacer los estimados preliminares de seguridad para la superestructura.

En el medio constructivo de la cimentación los métodos más usados para la exploración son:

- a) "La exploración poco profunda"; comunmente conocida como "A cielo abierto".
- b) "La exploración profunda"; comúnmente conocida como "Sondeo".

En los dos métodos anteriores es considerada la toma de muestras.

a) Exploración Poco Profunda:

Este tipo de exploración consiste en hacer una excavación manual, de 5 metros de profundidad aproximadamente y con una sección cuadrada de un metro de lado, a manera de pozo.

El propósito de esta excavación es verificar ocularamente, las características del subsuelo, también con este método se pueden tomar muestras del material excavado y llevarlas al laboratorio para su estudio.

Este procedimiento se usa cuando la construcción que se va hacer no es muy pesada y consecuentemente, requerirá de una cimentación poco profunda.

b) Exploración Profunda:

Cuando la construcción que se vá hacer es muy pesada, - es necesario estudiar todos los estratos, en el subsuelo, que puedan asentarse notablemente por el efecto de las cargas.

El sondeo y la toma de muestras son los mejores métodos para llevar a cabo una buena exploración profunda, estas actividades son efectuadas por personal capacitado en los principios de -

la geología y de la mecánica de suelos.

Para no perder el objetivo de este trabajo, se mencionan sólo los métodos de exploración profunda más usados en el cálculo y construcción de una cimentación profunda.

## 2.2.- SONDEO :

El ingeniero constructor de una cimentación profunda entiende como "Sondeo" a la perforación vertical, hecha sobre el terreno y que atraviesa el subsuelo, mediante herramientas, máquinas y sistemas especiales.

Esta perforación es con el objeto de obtener muestras del subsuelo y así determinar la estratigrafía y las propiedades físico-mecánicas de los materiales que lo componen.

Una buena representación estratigráfica del subsuelo, depende del espacio que existe entre los puntos de sondeo sobre el terreno.

Es muy difícil determinar el espaciamiento de los sondeos, ya que aparte de tomar en cuenta el tipo de estructura u obra que se va a llevar a cabo, depende también de la regularidad en que se vaya presentando la estratigrafía después de cada muestra.

A continuación se mostrará una tabla donde se indica, tentativamente, el espaciamiento de los sondeos según el tipo de obra que se va a efectuar.

O B R A	ESPACIAMIENTO (m)
Carretera (Investigación de la subrasante)	300-600
Presa de tierra, diques	30-60
Escavación para préstamo	30-120
Edificio de varios pisos	15-30
Edificio industrial de un piso	30-90

Si los resultados de los sondeos van presentando una estratigrafía regular, los espaciamientos indicados en la tabla anterior se pueden duplicar, pero si la estratigrafía se va presentando en forma irregular o errática, estos se reducen a la mitad.

La cantidad de puntos de sondeos depende del espaciamiento que exista entre ellos y del tamaño del área donde se vayan a efectuar los trabajos constructivos.

Otro detalle que se debe tomar en cuenta para una buena representación estratigráfica es saber a qué profundidad se van a llevar los sondeos.

Hay diferentes reglas que establecen la profundidad de los sondeos y dependiendo del criterio del ingeniero especialista se utiliza la más adecuada.

Lo que sí es evidente, es que para estructuras muy pesadas e importantes, los sondeos llegan hasta un estrato resistente o bien hasta la roca sana y para estructuras no muy pesadas, la profundidad es estimada por características geológicas ("Previamente investigadas"), por la extensión de la estructura y por el peso de la misma.

### 2.3.- MUESTREO :

Se entiende como "Muestreo", a la extracción de especímenes que forman parte del subsuelo.

En el medio de la ingeniería, a los especímenes extraídos del subsuelo, se les conoce con el nombre de "Muestras".

Una muestra del subsuelo, por el simple hecho de haberla extraído de su medio cambia su esencia, es decir, se vicia su estructura, esto no significa que la muestra cambie por completo, pero sí se tergiversan sus condiciones naturales.

De aquí que la mecánica de suelos, basándose en el grado de alteración de las muestras, las ha dividido en dos grupos:

- a) Muestras Alteradas
- B) Muestras Inalteradas

Las muestras alteradas, son aquellas que contienen todos los elementos que constituyen a los materiales de un estrato en el sitio, pero que han sufrido alteraciones en su estructura, a tal grado que si se determinaran en el laboratorio sus propiedades mecánicas, no serían representativas con respecto a las condiciones del material in-situ.

Las muestras inalteradas, son aquellas que se extraen usando muestreadores diseñados para preservar, tanto como sea posible, la estructura natural del subsuelo in-situ.

Es preciso aclarar que en la práctica es utópico extraer una muestra del subsuelo cien por ciento inalterada.

#### 2.4.- SONDEO Y TOMA DE MUESTRAS:

##### 2.4.1.- Sondeo y Muestreo "ALTERADO":

Las muestras alteradas son usadas en el laboratorio para hacer estimaciones de ciertas características del subsuelo en donde no se justifica el sondeo y muestreo inalterado; tales como la definición de la estratigrafía, identificación de los materiales, determinación de algunas propiedades índice y preparación de especímenes compactados o reconstruidos.

Las muestras alteradas pueden ser extraídas por métodos manuales o mecánicos.

Los métodos manuales se hacen en pozos a cielo abierto y las muestras se toman a medida que progresa la excavación, éstas deben conservarse en bolsas de lona, si no interesa mantener el contenido natural de agua, en el caso que sí interesen las mues



tras se conservarán en bolsas de polietileno o en frascos de vidrio de cierre hermético, en todos los casos deberá adherirse una etiqueta de identificación.

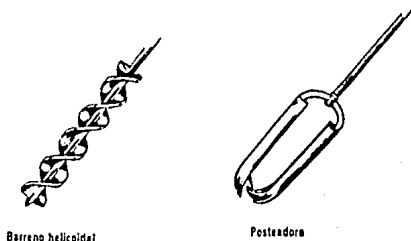
La profundidad máxima de este tipo de métodos es de 15 m. si el abatimiento del nivel freático es factible, de lo contrario serían lentos y costosos.

Los métodos mecánicos más usados en la extracción de muestras alteradas son:

a) Sondeo y toma de muestras con Barrena:

"La Barrena", es la herramienta más simple para llevar a cabo el sondeo y la toma de muestras, el fin de ésta es hacer perforaciones sobre el terreno y extraer muestras del subsuelo con un alto grado de alteración.

Hay dos tipos de barrena principalmente: (fig. 6)



(fig. 6)

1.- La barrena helicoidal:

Este tipo de barrena es muy similar a las que se usan en los trabajos de carpintería, está constituida de una especie de sinfín para la perforación y extracción del material.

Esta barrena es útil para hacer agujeros hasta de 3 metros de profundidad y con un diámetro de alrededor de 4 centímetros.

## 2.- La Barrena Posteadora:

Este tipo de barrena consiste en dos hojas curvas que retienen el material del subsuelo que cortan, hay en tamaños desde 5 hasta 15 centímetros de diámetro.

Las barrenas generalmente vienen adaptadas con un mango para hacerlas girar manualmente y se les pueden añadir extensiones para llegar a perforar profundidades hasta de 10 metros, algunas barrenas son accionadas con motores y éstas son capaces de llegar, en algunos subsuelos, hasta 25 metros de profundidad.

Las muestras extraídas con las barrenas son una mezcla muy alterada de los materiales contenidos en el subsuelo, estas muestras son útiles para determinar la humedad promedio, la granulometría y las características de plasticidad.

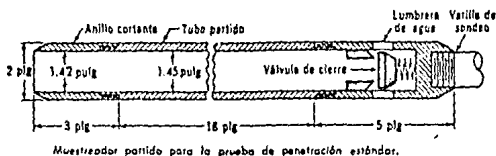
### b) Prueba de penetración estándar:

La prueba de penetración estándar es el método más usado para la exploración alterada del subsuelo a gran profundidad.

El penetrómetro estándar consiste en un tubo muestreador que se hince a percusión y el número de golpes necesarios para hincarlo se correlaciona con la resistencia al corte del subsuelo.

El muestreador (fig. 7), es un tubo de acero de paredes gruesas partido a la mitad longitudinalmente y sus dimensiones son las que se muestran en la figura, el anillo cortante debe de ser de acero endurecido y se sustituye cuando pierde filo; el tubo partido o intermedio es totalmente liso y su diámetro es igual

al del anillo cortante, la válvula de cierre permite la salida -- del azolve durante el proceso de hincado y evita que la muestra - salga del muestreador durante la extracción.



(fig. 7)

Para poder hacer una prueba de penetración estándar primeramente se hace un agujero con una barrena, a una profundidad - tal que se observe un cambio en el material extraído del subsuelo después se introduce el muestreador en el agujero, uniéndolo pre- viamente a las varillas de sondeo, se hincan el muestreador 15 cm en el subsuelo para asegurarse que el anillo cortante se encuen- tra bien acentado en el material virgen.

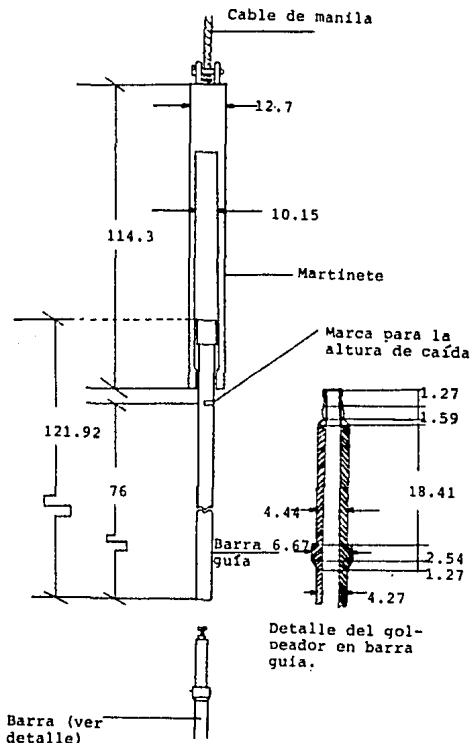
Después se hincan 30 cm en incrementos de 15 cm, con un martillo de 64 kg que cae de una altura de 76 cm, (fig. 8), se anota el número de golpes que se necesita para hincar el muestreador en cada uno de los 15 cm.

La resistencia a la penetración estándar se representa con la letra "N" y ésta se determina con la suma de los golpes - que se dieron para los dos últimos incrementos de 15 cm.

En seguida se saca el muestreador, la muestra extraída -- se manda al laboratorio para su estudio, mientras que el muestrea- dor vuelve a ser introducido en el agujero y se repite la mecáni- ca hasta llegar a la profundidad de sondeo requerida, o bien, ---

cuando se hayan dado 100 golpes y el muestreador ya no penetre -- más.

A continuación se mostrarán dos tablas, una es de "Compacidad relativa de la arena" y la otra es de "Consistencia de -- suelos cohesivos", en base a diferentes experiencias de penetra-- ción estándar.



Acotaciones en cm.  
(fig. 8)

"COMPACIDAD RELATIVA DE LA ARENA"

NUMERO DE GOLPES "N"	COMPACIDAD RELATIVA
0-4	MUY SUELTA
5-10	SUELTA
11-20	FIRME
21-30	MUY FIRME
31-50	DENSA
Más de -50	MUY DENSA

"CONSISTENCIA DE SUELOS COHESIVOS"

NUMERO DE GOLPES "N"	CONSISTENCIA
0-1	MUY BLANDA
2-4	BLANDA
5-8	FIRME
9-15	CONSISTENTE
16-30	MUY CONSISTENTE
Más de -30	DURA

"Medidas con muestreador de 3.5 cm de diámetro interior y 5 cm de diámetro exterior, hincado 30 cm con martillo de 64 kg, cayendo de 76 cm de altura".

Cuando la prueba de penetración estándar excede a los - 100 golpes significa que se ha llegado a un estrato duro y por lo tanto es difícil o imposible continuar la prueba.

A esta resistencia a la penetración se le conoce como -

"Rechazo" y esto indica que se ha alcanzado un estrato muy compacto, boleado o roca.

El "Sondeo Rotatorio" es el método que se usa para perforar estos estratos duros y poder saber si se trata de una lente dura, un boleado asentado sobre material blando o una roca sana.

La prueba de penetración estándar en lo particular, es de sumo interés para el ingeniero constructor de una cimentación profunda, ya que ésta representa, en escala pequeña, al hincado de pilotes y por lo tanto su información es tomada en cuenta para la selección del tipo de martinete, de esto se hablará ampliamente en los temas siguientes.

#### 2.4.2. Sondeo y muestreo "Inalterado":

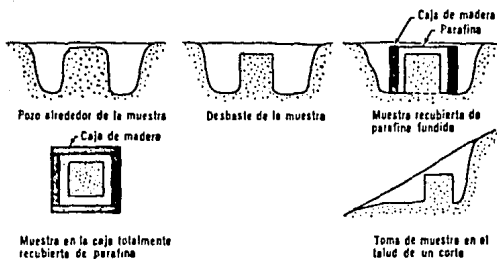
Las muestras inalteradas son usadas en el laboratorio para estimar las características mecánicas de los materiales contenidos en los estratos del subsuelo, de tal forma que se pueda interpretar su comportamiento bajo las condiciones de trabajo a las que serán expuestos:

Las muestras inalteradas también pueden ser extraídas, al igual que las alteradas, por métodos manuales o mecánicos.

Los métodos manuales son poco aplicados en el medio, ya que éstos resultan ser de baja eficiencia y costos elevados.

Este tipo de métodos consisten principalmente en labrar muestras cúbicas en pozo a cielo abierto, con herramientas manuales, la muestra labrada se cubre con parafina en sus 6 caras, la etiqueta de identificación se adhiere en la parte superior de la misma, se señala su orientación norte y se indica el estrato y la profundidad de la que fue extraída (fig. 9).

Los métodos mecánicos más usados en la extracción de --



(fig. 9)

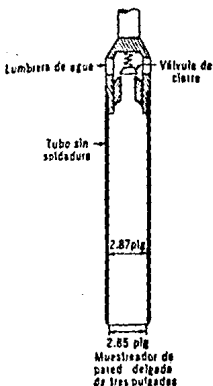
muestras inalteradas son:

a) Tubo de pared delgada (Shelby):

El tubo de pared delgada, mejor conocido como "Tubo --- Shelby", es un muestreador cuyo uso es el más difundido para la extracción de muestras inalterada.

El tubo Shelby es muy eficiente en la extracción de --- muestras compuestas de materiales finos, blandos o semiduros y éste es capaz de operar arriba o abajo del nivel freático.

El tubo Shelby (fig. 10), consiste en un tubo de acero o latón, el cual está montado en una cabeza que lo une a la columna de barras con las que se encaja en el subsuelo aplicando presión desde la superficie, las dimensiones del tubo son las que se muestran en la figura, la cabeza tiene perforaciones laterales para evitar la presión dentro del muestreador y una válvula esférica para proteger a la muestra de las presiones hidrodinámicas que se producen al extraerla, la unión entre la cabeza y el tubo se hace con una cuerda repujada circular tipo "ROPE", de esta forma se evita el uso de empaques, cabe aclarar que hay más formas de unir la cabeza con el tubo, pero ésta ha mostrado ser más confiable aún en subsuelos duros.



(fig. 10)

La secuencia de operación de este método es la siguiente:

Primeramente se encaja el muestreador 75 cm en las capas del subsuelo de tal forma que se dejen 15 cm libres aproximadamente con el fin de que se alojen los azolves que pudieran quedar, este procedimiento se hace a una velocidad constante de entre 15 y 30 cm/seg..

En seguida se deja estático el muestreador un minuto para que la muestra se expanda en el interior de éste y aumente su adherencia.

Para poder reducir los esfuerzos normales y de fricción producidos en el muestreador por efecto del hincado, es preciso cuidar que la punta del muestreador tenga la geometría indicada en la fig. 11 y al mismo tiempo que cumpla las relaciones geométricas siguientes:



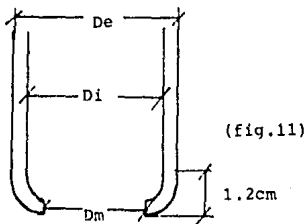
$$Ra = \frac{De^2 - Dm^2}{Dm^2} < 10\%$$

$$Rd = \frac{Di - Dm}{Dm} < 2\%$$

Donde:

Ra = Relación de áreas. —

Rd = Relación de diámetros.



La extracción del tubo debe de hacerse lentamente para evitar que la muestra se salga.

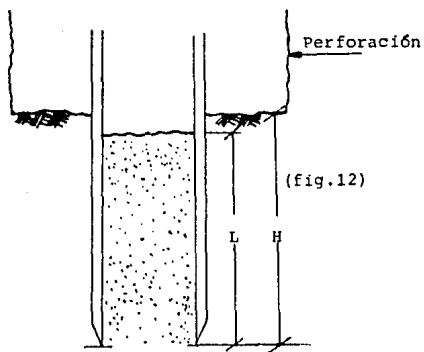
Si la resistencia a la tensión, en la muestra, durante la extracción es significativa, se deberá girar el tubo antes de subirlo para romper la base de unión de ésta con el demás material del subsuelo.

La calidad de la muestra se determina con la siguiente relación: (fig. 12).

$$Rec = \frac{L}{H} \times 100 (\%)$$

Donde:

Rec = Relación de recuperación



Una muestra de buena calidad es la que en su "Relación de recuperación" se acerca al 100%.

Por último, en el tubo Shelby se adhiere la respectiva etiqueta de identificación de la muestra extraída, indicando la profundidad de la parte superior e inferior de la misma, la relación de recuperación y la hora de extracción.

b) Barril tipo Denison:

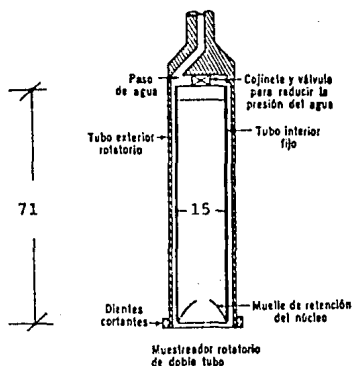
El muestreador "Barril tipo Denison" puede extraer muestras del subsuelo en donde el tubo Shelby no puede penetrar, como arcillas duras o limos compactados, también es capaz, al igual -- que el tubo Shelby, de operar arriba y abajo del nivel freático.

Este muestreador consiste principalmente en dos tubos concéntricos, los cuales están montados en una cabeza giratoria -- con baleros, el tubo exterior gira, accionado por la cabeza, para cortar los estratos del subsuelo mientras que el tubo interior -- permanece estático y por presión toma la muestra.

Para enfriar el tubo exterior durante el muestreo y lim

piar el material cortado, se inyecta agua o lodo de tal manera -- que circule entre los dos tubos.

En la fig. 13 se muestran las dimensiones del barril tipo Denison y al mismo tiempo se señalan los tubos, interior y exterior y la camisa donde se va alojando la muestra.



(fig.13)

Cotas en cm.

El tubo exterior de corte, es de acero con pastillas de carburo de tungsteno en su filo y el tubo muestreador ("Interior") es de pared delgada y con cuerda repujada para fijarlo a la cabeza.

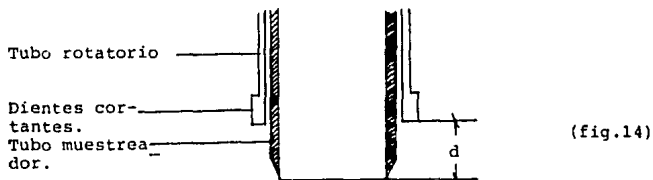
Para llevar a cabo la extracción de muestras con el barril tipo Denison primeramente se verifica la posición relativa - del tubo interior con el del exterior, como se muestra en la fig. 14, esta posición se ajusta dependiendo de la dureza del subsuelo en la siguiente tabla se dan los valores de la distancia "d" más usuales.

En seguida se mete el muestreador en la perforación pre via, se hince unos centímetros para evitar que el tubo interior -

SUELO	"d" (cm)
Blando	2
Duro	0.5
Muy duro	0 ó menos

gire y después se inicia la rotación del tubo exterior y se aplica presión continuamente.

La rotación varía entre 50 y 200 R.P.M. y la muestra es de 75 cm de longitud aproximadamente con un diámetro de 10 cm.



Por último se extrae el muestreador y de él la muestra, protegiéndola inmediatamente después de hacer la clasificación.

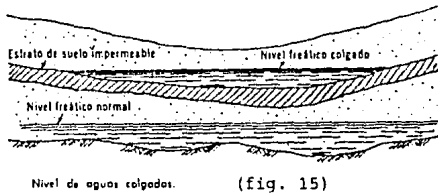
Se le adhiere su etiqueta de identificación correspondiente.

## 2.5.- Localización de agua subterránea:

El nivel freático es medido frecuentemente mediante los métodos de sondeo y toma de muestras convencionales, más sin embargo, es necesario hacer estudios del subsuelo que midan el nivel del agua por métodos específicos.

Algunas indicaciones oculares de que existe nivel freá-

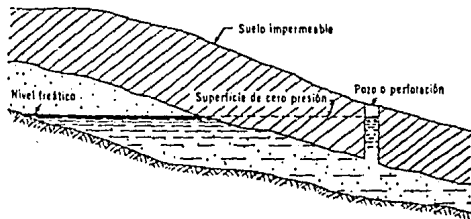
tico en una exploración pueden ser la humedad en las muestras extraídas del subsuelo, el goteo que se presenta en los agujeros de sondeo, los derrumbes de las paredes de una perforación hecha en arena sin ademar, etc., pero todos estos no son claros testimonios, ya que en muchas ocasiones sólo se trata de saturaciones ca pilares o niveles freáticos colgados (fig. 15).



(fig. 15)

Una forma segura que indica la elevación del nivel de agua subterránea es dejando que el agua, en los agujeros de los sondeos, alcancen su nivel de equilibrio.

Para reconocer los niveles freáticos colgados se hacen una serie de sondeos con una profundidad donde se suponga que exista un acuífero permeable, esta agua colgada puede ser drenada si se hace el sondeo más profundo.

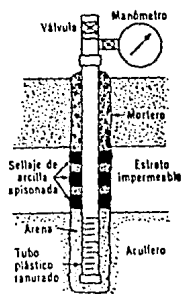


(fig. 16)

Nivel freático artesiano.

Cuando el nivel de agua en los sondeos aumenta repentinamente o cuando el lodo de la perforación se hace más fluido es muy probable que exista agua artesiana (fig. 16).

Para medir la presión del agua artesiana es necesario utilizar un piezómetro sellado. (fig. 17).



Piezómetro sellado (fig. 17)

Los piezómetros sellados se instalan en los estratos permeables donde hay presiones anormales y los estratos impermeables se sellan con arcilla apisonada o bentonita humedecida.

Un buen sellado es muy difícil de hacer, pero si no se hace el piezómetro es inútil.

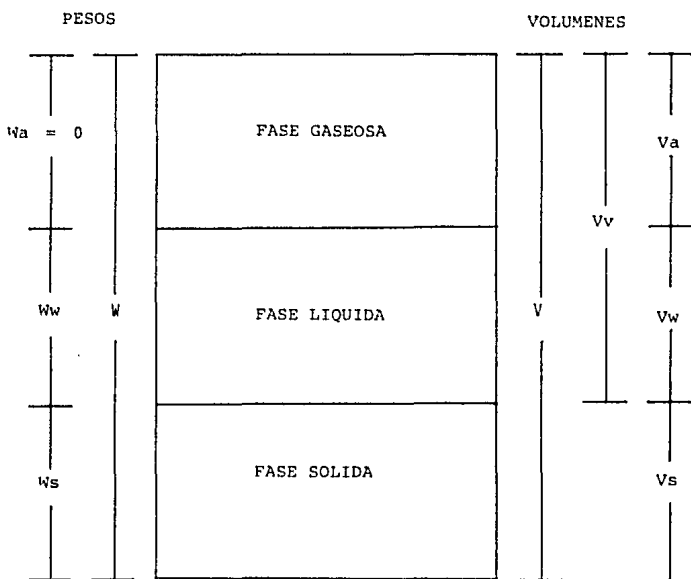
Para hacer un buen sellado se apisona perfectamente en capas la arcilla mediante un peso de forma cilíndrica que se deja caer libremente, este peso se ajusta en el espacio que hay entre el tubo de plástico y el agujero de perforación.

Las capas de arcilla apisonada o de bentonita humedecida se alternan con capas de mortero-cemento.

## 2.6.- PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DEL SUBSUELO:

Aunque el subsuelo ha logrado tener un cierto grado de consolidación, por lo general en él se encuentran contenidos materiales líquidos y gaseosos. (fig. 18).

La relación entre el peso y el volumen de estos materiales es muy importante por que en base a ésta se definen las propiedades físico-mecánicas del subsuelo que se está estudiando.



(fig. 18)

Las propiedades físico-mecánicas del subsuelo son determinadas a detalle en el laboratorio, usando muestras extraídas mediante los métodos mencionados en los capítulos anteriores.

### "RELACIONES VOLUMETRICAS"

Al volumen total, de una determinada muestra del subsuelo, se le representa con la letra "V", al volumen de los sólidos contenidos en esa muestra se le representa con la abreviatura "Vs", al volumen del agua con la abreviatura "Vw" y al volumen del aire con la abreviatura "Va".

Si se observa la fig. 18, podemos deducir las siguientes fórmulas:

$$Vv = Va + Vw \quad (EC.1)$$

$$V = Vv + Vs \quad (EC.2)$$

Donde "Vv", es la abreviatura que representa únicamente el volumen de los espacios que existen entre las partículas sólidas, estos espacios son ocupados por aire y por agua y se le conoce en conjunto como "volumen de vacíos".

A la relación entre el volumen de vacíos y el volumen de sólidos, contenidos en una muestra, se le denomina "Relación de Vacíos", a este se le representa con la letra "e" y se expresa con la siguiente fórmula:

$$e = \frac{Vv}{Vs} \quad (EC 3).$$

La relación de vacíos siempre se expresa en números decimales y sirve para tener un parámetro y poder determinar si el subsuelo es muy compacto, si esta en condiciones normales o si es altamente comprensible.

En la práctica la relación de vacíos varía de la siguiente forma: ("Mecánica de Suelos", Juárez Badillo y Rico Rodriguez, Tomo I, pag. 54").



Si $e < 0.25$	El subsuelo es muy compacto.
Si $0.25 \leq e \leq 15$	El subsuelo está en condiciones normales.
Si $e > 15$	El subsuelo es altamente comoresible.

Entonces, para formar un criterio, entre mayor sea la relación de vacíos "e", el subsuelo se vuelve menos compacto y más comoresible.

Hay también otra relación entre distintas "e"'s, de un subsuelo y estas son calculadas en diferentes condiciones, a esta relación se le conoce como "Compacidad relativa", se le representa con la abreviatura "Dr", y se calcula con la siguiente fórmula:

$$Dr = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \times 100 (\%) \quad (\text{EC.4})$$

Donde:

- e = Relación de vacíos.
- e max = Relación de vacíos en la condición más compacta posible.
- e min = Relación de vacíos en la condición más suelta posible.

En la mecánica de suelos, para identificar a los subsuelos mediante su compacidad se ha hecho la siguiente tabla:

Dr (%)	Término
0 - 15	Muy suelto
15 - 35	Suelto
35 - 65	Medio
65 - 85	Compacto
85 - 100	Muy compacto

Hay otra manera de expresar la relación del volumen de los poros con el volumen de la muestra y se le conoce como "Porosidad"

se le representa con la letra "n" y se expresa con la siguiente fórmula:

$$n = \frac{V_v}{V} \times 100 (\%) \quad (\text{EC.5})$$

La Porosidad siempre se expresa en porcentaje, y el objetivo de esta es igual al de la relación de vacíos.

En la práctica la porosidad varía de la siguiente forma: (Mecánica de suelos, Juárez Badillo y Rico Rodríguez Pag. 54").

Si $n < 20\%$	El subsuelo es muy compacto.
Si $20\% \leq n \leq 95\%$	El subsuelo está en condiciones normales.
Si $n > 95\%$	El subsuelo es altamente compresible.

Haciendo la misma aclaración que en la relación de vacíos, si el porcentaje de porosidad aumenta en el subsuelo, éste se vuelve menos compacto y más compresible.

Otra relación volumétrica es el "Grado de Saturación", se le representa con la letra "s" y se expresa con la siguiente fórmula:

$$s = \frac{V_w}{V_v} \times 100 \quad (\%) \quad (\text{EC.6})$$

El grado de saturación siempre se expresa en porcentaje, y sirve para determinar el volumen de agua ocupado en los vacíos de una muestra de subsuelo.

Se dice que el subsuelo está saturado, cuando "s" es igual al 100%, es decir, que el volumen de vacíos está ocupado en su totalidad por agua.

En la práctica se considera que todo subsuelo que se halle bajo el nivel freático está saturado.

### "RELACIONES GRAVIMETRICAS"

Al peso total, de una determinada muestra de subsuelo, se le representa con la letra "W", al peso de los sólidos con la abreviatura "Ws" y al peso del agua con la abreviatura "Ww".

El peso del aire no se considera por ser insignificante.

Observando de nuevo la fig. 18, podemos deducir la siguiente fórmula:

$$W = Ww + Ws \quad (\text{EC } 7).$$

A la relación que existe entre el peso del agua con el peso de los sólidos, de una muestra de subsuelo, se le conoce como "Contenido de agua", se le representa con la letra "w" y se expresa con la siguiente fórmula:

$$w = \frac{Ww}{Ws} \times 100 \quad (\%) \quad (\text{EC } 8).$$

El contenido de agua de la muestra de un subsuelo, siempre se expresa en porcentaje y sirve para determinar el peso del agua con relación al peso de los sólidos.

El contenido de agua varía mucho; en arenas se encuentra entre 10% y 30% comunmente, en arcillas preconsolidadas el contenido de agua es igual al 10% y en arcillas de alta plasticidad y en proceso de consolidación como las de la Cd. de México es común encontrar  $400\% < w < 600\%$ .

### "PESOS VOLUMETRICOS"

El "Peso Especifico" de una muestra de subsuelo, es la relación que existe entre el peso de la muestra y el volumen de la misma, éste se representa con la letra griega " $\gamma$ " (GAMMA) y se expresa

con la siguiente fórmula:

$$\gamma = \frac{W}{V} \quad (\text{EC.9})$$

El peso específico, se expresa en unidades de fuerza sobre unidades cúbicas de longitud y sirve para determinar el peso de un determinado volumen de muestra.

Asimismo, el "Peso Específico" del agua, es el peso de un determinado volumen de agua, éste se representa con la abreviatura " $\gamma_w$ " y se expresa con la siguiente fórmula:

$$\gamma_w = \frac{W_w}{V_w} \quad (\text{EC.10})$$

El peso específico del agua tiene las mismas unidades que el de una muestra de subsuelo, y éste es siempre igual a la unidad.

En la práctica de laboratorio, se ha logrado determinar que el agua destilada a una temperatura de 4° C, tiene los siguientes pesos específicos:

+ El volumen de agua de un metro cúbico, pesa una tonelada  
\* $\gamma_w = 1 \text{ ton/m}^3$ .

+ El volumen de agua de un decímetro cúbico, pesa un kilogramo \* $\gamma_w = 1 \text{ kg/dm}^3$ .

+ El volumen de agua de un centímetro cúbico, pesa un gramo \* $\gamma_w = 1 \text{ g/cm}^3$ .

El "Peso Específico" de los sólidos, contenidos en una muestra de subsuelo, se calcula de la misma forma que el peso específico del agua y el peso específico de la muestra total, se representa con la abreviatura " $\gamma_s$ " y su fórmula es la siguiente:

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \quad (\text{EC.11})$$

Otra relación de este tipo, es la que se conoce como "Peso Específico Seco" y es la razón que existe entre el peso de los sólidos y el volumen total de la muestra, a este peso volumétrico seco se le representa con la abreviatura " $\gamma_d$ " y su fórmula es:

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \quad (\text{EC.12})$$

Esta relación nos ayuda a determinar el peso de los sólidos -- contenidos en una muestra por cada unidad cúbica de la misma.

A la razón que existe entre el peso específico de una sustancia cualquiera con el peso específico del agua de igual volumen que la sustancia, se le conoce como "Peso Específico Relativo", a este se le representa con la letra "G" y la fórmula es:

$$G = \frac{\gamma_x}{\gamma_w} \quad (\text{EC.13})$$

Donde:  $\gamma_x$  = Peso específico de una sustancia cualquiera

$$\gamma_w = 1 \text{ (uno)}$$

El peso específico relativo de una sustancia cualquiera se le conoce también en el medio como "Densidad" y el valor de esta es adimensional.

De lo anterior tenemos :

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad \text{Densidad de sólidos} \quad (\text{EC.14})$$

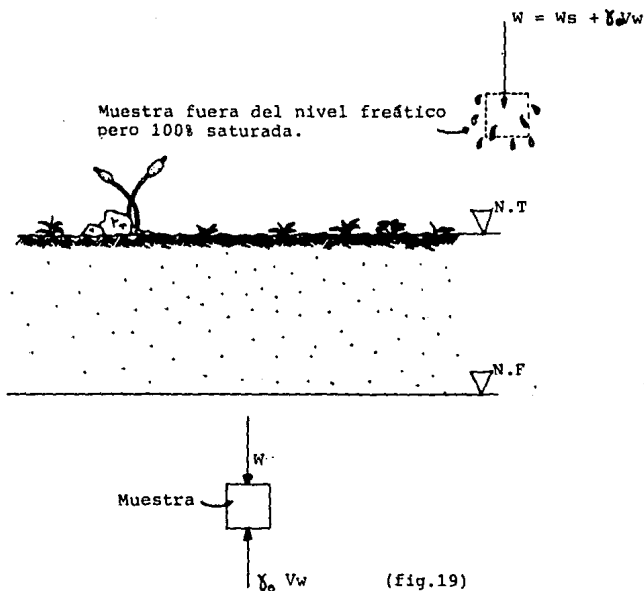
$$G_m = \frac{\gamma}{\gamma_w} \quad \text{Densidad de la muestra} \quad (\text{EC.15})$$

La densidad de los sólidos, en la mayoría de los casos del

subsuelo se encuentra entre los límites de 2.2 a 3.0, en los subsue-  
los que contienen mucho hierro el "Gs" está cercano a 3.0 y en los -  
suelos orgánicos puede resultar que el "Gs" sea tan bajo como 1.5.

En las arcillas del Valle de México, la densidad de los sólidos varía entre 2.2 y 2.4 en promedio.

Hay otra relación entre el peso y el volumen y es la que se  
da cuando el volumen de una muestra de subsuelo se encuentra bajo el  
nivel freático, es decir, que está 100% saturada, a esta relación se  
le conoce como "Peso Volumétrico Sumergido", se le representa con la  
abreviatura "W's" y su fórmula es: (fig. 19).



$$W's = W - \gamma_w V_w \quad (\text{EC.16})$$

El peso volumetrico sumergido siempre se expresa en unidades de fuerza si "W's" tiene un valor negativo, esto significa que esa muestra, bajo el nivel freático, de alguna forma tiende a flotar.

También el "Peso Especifico Sumergido" es otro peso volumétrico, el cual es obtenido de una muestra de subsuelo que se encuentra en las mismas condiciones anteriores, se representa con la abreviatura " $\delta's$ " y se calcula con la siguiente fórmula:

$$\delta's = \delta - \gamma_w \quad (\text{EC.17}).$$

El peso especifico sumergido siempre se expresa en unidades de fuerza sobre unidades cúbicas de longitud.

Con el mismo criterio, la "Densidad Sumergida" se representa con la abreviatura "G's" y su fórmula es

$$G's = G_m - 1 \quad (\text{EC.18}).$$

La densidad sumergida es adimensional.

Las fórmulas estudiadas en este capítulo vienen siendo la aritmética de la mecánica de suelos, por lo que es conveniente tener bien claro el concepto de cada una de ellas.

A continuación se darán algunas fórmulas importantes derivadas de las anteriores:

Relación de Vacíos:

$$e = \frac{n}{1 - n}$$

$$e = \frac{w}{s} G_s \quad \text{Donde "w" y "s" se dan en decimales.}$$

$$e = \frac{(1+w) \gamma_s}{\gamma} - 1 \quad \text{Donde "w" se dan en decimales.}$$

Porosidad:

$$n = \frac{e}{e + 1}$$

Grado de saturación:

$$s = \frac{w G_s}{e}$$

Peso específico de la muestra:

$$\gamma = \frac{(1 + w)}{(1 + e)} \gamma_s$$

Peso específico de los sólidos:

$$\gamma_s = \frac{(1 + e)}{(1 + w)} \gamma$$

Para subsuelos 100% saturados:

Relación de Vacíos:

$$e = G_s w$$

Peso específico de la muestra:

$$\gamma = \frac{e + G_s}{e + 1} \gamma_w$$

#### "GRANULOMETRIA DEL SUBSUELO"

El tamaño de las partículas del subsuelo es muy variada y para medirlas hay dos métodos en el laboratorio principalmente, uno -



es para medir los granos gruesos y el otro es para medir los granos finos.

Por definición, los granos gruesos son los que se pueden mo ver con la mano y los finos son los que están tan pequeños que no -- pueden ser percibidos a detalle con un microscopio simple.

A la clasificación de los diferentes estratos del subsuelo, tomando como referencia el tamaño de las partículas que lo forman, - se le conoce en la mecánica de suelos como "Clasificación Granulomé- trica".

Para poder hacer una buena clasificación granulométrica de una determinada muestra del subsuelo, primero se pesa y en seguida - se desmorona de tal manera que ésta quede lo suficientemente suelta para que así pueda pasar por las diferentes mallas clasificatorias - comunmente conocidas como "Tamices".

A continuación se presentan dos tablas de los diferentes Ta mices más comunes en el laboratorio:

PARA GRAVAS:

No. DE MALLA (Pulg.)	ABERTURA (mm)	TAMAÑO MÁXIMO QUE PASA (cm)
2	50.80	5.08
1 1/2	36.10	3.61
1	25.40	2.54
3/4	19.05	1.90
1/2	12.70	1.27
3/8	9.52	0.95

En la clasificación granulométrica, todo material que pasa -- el tamiz número cuatro se considera que está constituido por arena - y granos finos y todo el material que se queda retenido se considera

PARA ARENAS:

No. DE MALLA	ABERTURA (mm)	TAMAÑO MÁXIMO QUE PASA (cm)
4	4.75	0.475
10	2.00	0.020
20	0.84	0.084
40	0.42	0.042
60	0.25	0.025
100	0.149	0.0149
200	0.074	0.0074

que está constituido por "Grava", así mismo, todo material que pasa por el tamiz número doscientos se considera que está constituido -- por granos finos y todo el que se queda retenido es considerado "Are na",

De lo anterior el "Sistema Unificado de Clasificación de Suelos" (S.U.C.S.) ha creado una nomenclatura para determinar el tipo - de muestra basándose en el tamaño del grano dominante.

Para subsuelos gruesos:

INICIAL	TIPO DE SUBSUELO	DESCRIPCION EN SU CLASIFICACION
A	GRUESO	MAS DEL 50% DEL PESO TOTAL DE LA MUESTRA QUEDA RETENIDO EN EL TAMIZ # 200.
INICIAL	TIPO DE GRANO	DESCRIPCION EN SU CLASIFICACION
G	GRAVA	MAS DEL 50% DEL PESO DEL MATERIAL RETENIDO EN EL TAMIZ # 200 QUEDA RETENIDO EN EL TAMIZ # 4.
S	ARENA	MAS DEL 50% DEL PESO DEL MATERIAL RETENIDO EN EL TAMIZ # 200 PASA EL TAMIZ # 4.

Para subsuelos finos:

INICIAL	TIPO DE SUBSUELO	TIPO DE GRANO	DESCRIPCION DE SU CLASIFICACION
B	FINO	FINO	MAS DEL 50% DEL PESO TOTAL DE LA MUESTRA PASA EL TAMIZ # 200.

Las muestras que se usan en el laboratorio para hacer una clasificación granulométrica deben de pesar entre 200 y 500 gr para así tener una buena representante del material in situ.

Una vez que se ha hecho pasar el material de la muestra - por los diferentes tamices se pesa el que ha quedado retenido en cada uno de ellos; se divide cada uno de estos pesos entre el total - de la muestra teniéndose así el porcentaje retenido en cada tamiz.

A la suma de los porcentajes retenidos en cada tamiz se - les vá restando el cien por ciento para así tener el porcentaje del material que se ha dejado pasar, de tal manera que el material que - ha pasado el tamiz número doscientos, debe de ser aproximadamente - del cero por ciento si se trata de una muestra cuyo contenido de fi nos es bajo.

En seguida se procede a graficar una curva granulométrica (fig. 20), cuyas coordenadas son (Número de tamiz, porcentaje que - pasa el tamiz), en el eje de las abscisas se anota de grande a chico el tamaño de los granos en milímetros intercalando el número de los tamices en su valor correspondiente como se muestra en la figura, en el eje de las ordenadas se gradua en orden acendente del "o" al 100 %'

OBRA \_\_\_\_\_  
 LOCALIZACION \_\_\_\_\_  
 ENSAYE Nº \_\_\_\_\_ SONDEO Nº \_\_\_\_\_  
 MUESTRA Nº: \_\_\_\_\_ PROF.: \_\_\_\_\_  
 DESCRIPCION: \_\_\_\_\_  
 PESO DE LA MUESTRA: 423.0 gr

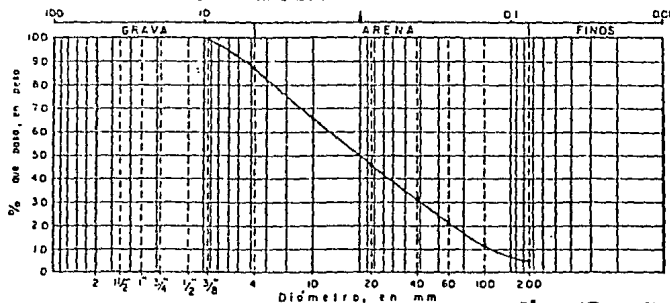
### GRANULOMETRIA POR MALLAS

FORCIENTO	RET Nº 4	PASA Nº 4
TARA + MUESTRA HUMEDA		
TARA + MUESTRA SECA		
PESO AGUA		
PESO TARA		
PESO MUESTRA SECA		
CONTENIDO DE HUMEDAD		

FECHA: \_\_\_\_\_  
 OPERADOR: \_\_\_\_\_  
 CALCULO: \_\_\_\_\_

Malla Nº	Apertura	Peso Suelo retenido	Porcentaje retenido porcent	Porcentaje que pasa	Malla Nº	Apertura	Peso Suelo retenido	Porcentaje retenido porcent	Porcentaje que pasa
	mm	gr	%	%		mm	gr	%	%
2"	50.80				10	2.000	96.1	22.7	64.9
1 1/2"	36.10				20	0.840	78.7	18.6	46.3
1"	25.40				40	0.420	65.0	15.4	30.9
3/4"	19.05				60	0.250	43.5	10.3	20.6
1/2"	12.70				100	0.149	40.8	9.6	11.0
3/8"	9.52				200	0.074	26.5	6.3	4.7
Nº 4	4.75	52.6	12.4	87.6	Peso 200		19.8	4.7	
Peso Nº 4					SUMA				
SUMA									

CLASIFICACION SISTEMA UNIFICADO:



$D_{10} = 0.18 \text{ mm}$      $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{1.50}{0.18} = 7.9$      $> 3 = \text{---} \%$   
 $D_{30} = 0.40$          $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} = \frac{(0.40)^2}{0.18 \times 1.50} = 0.56$      $G = 12.4 \%$   
 $D_{60} = 1.50$          $F = 4.7 \%$

Clasificación sucs.: SP (arena med. graduada)

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

(fig.20) Curva granulométrica

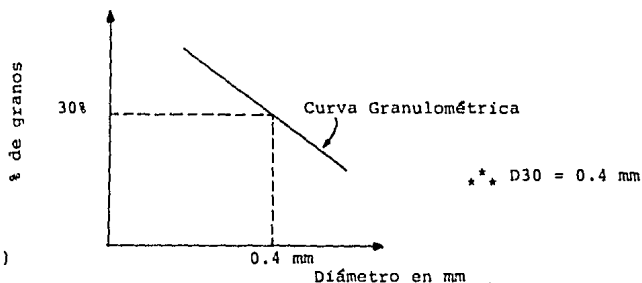
Es preciso aclarar que se debe hacer una curva granulométrica distinta para la grava que para la arena, es decir, no se trazan las dos en una misma gráfica.

Para clasificar el material de las gravas y de las arenas dependiendo de la calidad de graduación de sus granos, el S.U.C.S. usa los siguientes parámetros:

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad \text{Coeficiente de uniformidad.}$$

$$Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}} \quad \text{Coeficiente de curvatura.}$$

Donde "D" es el tamaño del diámetro del grano en milímetro y los subíndices 10, 30 y 60 se refieren al porcentaje de granos de un determinado tamaño "D" existentes en la muestra. (fig. 21).



(fig. 21)

Se dice que una muestra está "Bien graduada" cuando el tamaño de las partículas que la forman son de gran diversidad.

EN GRAVAS:

- |      |          |                |
|------|----------|----------------|
| Si   | $Cu > 4$ | BIEN GRADUADO  |
| " Si | $Cu < 4$ | MAL GRADUADO " |

EN ARENAS:

Si $C_u > 6$	BIEN GRADUADO
Si $C_u \leq 6$	MAL GRADUADO "

EN GRAVAS Y ARENAS:

Si $1 \leq C_c \leq 3$	BIEN GRADUADO
------------------------	---------------

Para que una arena o una grava sean consideradas "Bien Gradadas" se deben cumplir las restricciones de  $C_u$  y  $C_c$  simultáneamente.

La nomenclatura que usa el S.U.C.S. para señalar que una muestra está bien o mal graduada es la siguiente:

W = Bien graduada	(Well Graded)
P = Mal graduada	(Poorly)

Los granos finos se clasifican por el método de sedimentación, el cual consiste a grandes rasgos en la precipitación de las partículas en el fondo de un recipiente con agua, entre más pequeñas sean más lentamente se acientan.

Para fines de la construcción de una cimentación profunda no es necesario hacer una clasificación detallada del tamaño de los granos finos contenidos en una muestra, sin embargo hay que tomar bien en cuenta el porcentaje de su contenido en finos.

Para determinar el "porcentaje de finos" de una estrato, se pesa el material que pasa el tamiz número doscientos y éste se divide entre el peso total de la muestra.

En la clasificación granulométrica, cuando el porcentaje de finos es menor del 5% se considera que la muestra representati-

va del estrato está limpia de finos, cuando el porcentaje de finos es mayor del 12% pero menor del 50% y dependiendo si se trata de arcilla o limo se dice que la muestra es de alta o de baja plasticidad respectivamente, así mismo, cuando el porcentaje de finos es mayor del 5% y menor del 12% a la muestra se le da una clasificación doble.

En seguida se presenta una tabla donde se señala la clasificación que da el S.U.C.S. a los estratos cuya constitución mayoritaria es de material grueso dependiendo del porcentaje de su contenido en finos.

SIGNO	NOMBRE	DESCRIPCION DE SU CLASIFICACION
GW SW	GRAVA BIEN GRADUADA ARENA BIEN GRADUADA	EL PORCENTAJE DE FINOS ES MENOR AL 5% Y CUMPLEN CON LAS RESTRICCIONES DEL Cu y Cc SIMULTANEAMENTE

SIGNO	NOMBRE	DESCRIPCION DE SU CLASIFICACION
GP SP	GRAVA MAL GRADUADA ARENA MAL GRADUADA	EL PORCENTAJE DE FINOS ES MENOR AL 5% Y NO CUMPLEN CON ALGUNA O NINGUNA DE LAS RESTRICCIONES DEL Cu y Cc.
GC SC	GRAVA ARCILLOSA ARENA ARCILLOSA	EL PORCENTAJE DE FINOS ES MAYOR AL 12% Y MENOR AL 50% Y SU CONSISTENCIA ES DE ALTA PLASTICIDAD.
GM SM	GRAVA LIMOSA ARENA LIMOSA	EL PORCENTAJE DE FINOS ES MAYOR AL 12% Y MENOR AL 50% Y SU CONSISTENCIA ES DE BAJA PLASTICIDAD.

Otra propiedad física que se debe tomar en cuenta en los materiales finos es la consistencia que presentan o pueden llegar a presentar.

### "CONSISTENCIA DEL SUBSUELO"

A la firmeza o estabilidad que presentan las partículas finas contenidas en el subsuelo, ya sea arcilla o limo, dependiendo de su contenido de agua se le conoce como "Consistencia del Subsuelo".

Al material fino del subsuelo se le encuentra en la naturaleza con una determinada consistencia que lo caracteriza, a esta consistencia se le denomina "Plasticidad".

El científico sueco Atterberg, hizo ver que la plasticidad no era una propiedad permanente de los materiales finos del -- subsuelo, sino que ésta dependía definitivamente de su contenido -- de agua, es decir, (\*) "Una arcilla muy seca puede tener la consistencia de un ladrillo, con plasticidad nula y esta misma con gran contenido de agua, puede presentar las propiedades de un lodo semi líquido o inclusive las de una suspensión líquida".

Asimismo, Atterberg ideó y desarrolló un método para cuantificar el efecto de la variación de humedad en la consistencia de los suelos y subsuelos constituidos por granos finos y fijó límites definidos para cada estado, a estos límites se le conocen en -- el medio de la mecánica de suelos como "Límites de Atterberg" o -- "Límites de Consistencia".

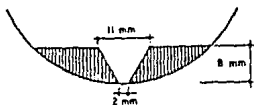
En seguida se muestra una tabla donde se describen los -- estados típicos de consistencia de un material constituido por finos y al mismo tiempo se señala entre qué estados se localizan los límites de Atterberg.

(\*) Love Cit. Pág. 127 "Mecánica de suelos", Juárez Badillo, TOMO I.



ESTADO	DESCRIPCION	LIMITES DE ATTERBERG
LIQUIDO	Con las propiedades y la apariencia de una suspensión.	
SEMILIQUIDO	Con las propiedades de un fluido viscoso.	← Límite Líquido (L.L)
PLASTICO	El material se comporta plásticamente.	← Límite Plástico (L.P)
SEMISOLIDO	El material tiene la apariencia de un sólido, pero aún disminuye de volumen al estar sujeto al secado.	
SOLIDO	El volumen del material no varía con el secado.	

El "Límite Líquido" se determina en el laboratorio mediante una técnica que consiste en tomar una muestra de material fino, a ésta se le agrega agua y se amasa hasta formar un material de consistencia pastosa, el material pastoso es remoldeado en una cápsula en seguida se hace un surco en medio de éste con las dimensiones -- que se muestran en la fig. 22. después la cápsula se golpea contra una placa de goma dura, se cuenta el número de golpes necesarios para que el surco se cierre, los golpes se dan en intervalos de dos segundos, se extrae el material pastoso de la cápsula y se pesa; -- después el material pastoso se mete al horno para secarlo al 100% -- y una vez que se ha secado es vuelto a pesar :



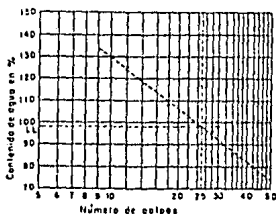
Dimensiones de la ranura en la copa de Casagrande.

(fig. 22)

$$w = \frac{W - W_s}{W_s} \times 100 \quad \text{Contenido de agua}$$

Este procedimiento se repite en cuatro muestras diferentes escogidas al asar, pero con la condición que éstas pertenezcan a un mismo estrato.

Los resultados que se van revelando en cada una de las cuatro muestras se grafican sobre papel semilogarítmico, lo que significa que en la gráfica sólo existirán cuatro puntos cuyas coordenadas serán: (número de golpes, contenido de agua), el eje de las abscisas se gradúa en orden ascendente del cero al cincuenta y el de las ordenadas del cero al 150 por ciento como se muestra en la fig. 23.

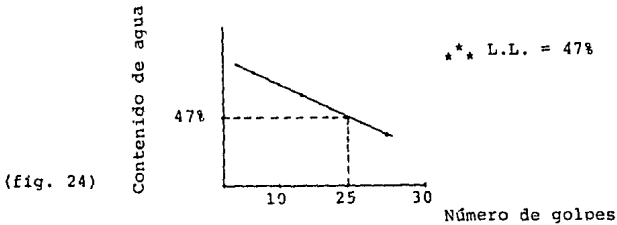


Determinación del límite líquido en la curva de flujo.

(fig. 23)

Atterberg dijo que el límite líquido de una muestra constituida por finos es igual al contenido de agua correspondiente a 25

golpes (ver ejemplo de la fig. 24).



Para determinar el "Límite Plástico" en el laboratorio, primero se toma una muestra de finos, ésta se humedece y se amasa hasta formar una pasta, en seguida con esta pasta se hacen rollitos de diámetro aproximado a 3 mm, éstos se pesan y después se meten al horno para secarlos hasta que estos presenten agrietamientos y desmoronamiento, una vez que los rollitos se sacan del horno son vueltos a pesar para así determinar su contenido de agua en ese momento.

Atterberg dijo que el límite plástico de una muestra constituida por finos es igual al contenido de agua correspondiente al momento en que el material presenta agrietamientos y desmoronamientos.

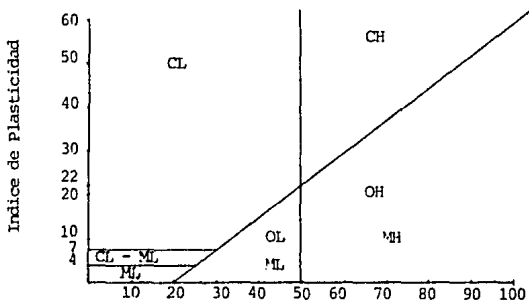
El límite líquido (L.L.) y el límite plástico (L.P.) son en realidad contenidos de agua que caracterizan una cierta consistencia de la muestra y por lo tanto éstos se expresan en porcentaje.

A la diferencia que hay entre el límite líquido y el límite plástico se le conoce como índice de plasticidad, se le representa con la abreviatura "Ip" y se calcula con la siguiente fórmula.

$$I_p = L.L. - L.P.$$

(EC.19).

El índice de plasticidad sirve para definir el tipo de partículas que constituyen al estrato que se está ensayando y esto se hace mediante "La carta de Plasticidad" (fig. 25).



(fig. 25)

Límite Líquido (L.L.)

Dependiendo de la ubicación de las coordenadas (L.L., -- Ip) en la carta de plasticidad, se puede decir que la muestra está constituida por:

(S.U.C.S.)

Arcilla de baja compresibilidad	CL
Arcilla de alta compresibilidad	CH
Limo de baja compresibilidad	ML
Limo de alta compresibilidad	MH
Material orgánico de baja compresibilidad	OL
Material orgánico de alta compresibilidad	OH

L = Low compressibility

H = High compressibility

NOTA.- "La carta de plasticidad" fue diseñada por el -- doctor A. Casagrande en la Universidad de Harvard.

Atterberg definió otros límites aparte de los límites ya mencionados, pero éstos no son de mucha importancia para los fines de la construcción de una cimentación profunda así que sólo se mencionarán.

"Límite de Adhesión": Es el contenido de agua con que los finos pierden sus propiedades de adherencia con una hoja metálica.

"Límite de Cohesión": Es el contenido de agua con el que los grumos formados por finos ya no se adhieren entre sí.

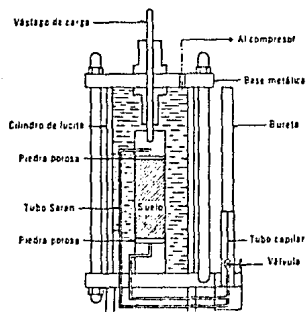
"Límite de Contracción": Es el contenido de agua con el que la muestra de finos ya no disminuye su volumen al seguirse secando.

#### "ANGULO DE FRICCIÓN INTERNA EN LOS MATERIALES DEL SUBSUELO".

El ángulo de fricción interna de los diferentes estratos se determina mediante su resistencia a la compresión, esta resistencia se mide por el esfuerzo normal actuante en el plano en el que ocurre la falla.

La prueba triaxial es el método más usado en el laboratorio de mecánica de suelos para determinar dichos esfuerzos y consiste en meter una muestra cilíndrica del subsuelo, lo más inalterada posible, dentro de una cámara de agua, el objeto de la cámara es confinar por presión hidrostática a la muestra lográndose así una aplicación de esfuerzos en forma tridimensional y en cada punto sobre su superficie, tal y como le sucede cuando está en el subsuelo, a esta cámara de agua se le conoce como "Cámara Triaxial".

La cámara triaxial (fig. 26) consta de un cilindro hueco de lucita lo que forma las paredes de la cámara, las bases de la muestra cilíndrica, donde se aplica la carga axial a través de un



(fig. 26)

Esquema de la cámara de compresión triaxial.

vástago, están cubiertas con piedras porosas para que el líquido - confinante haga presión en toda su superficie, también en las bases de la muestra están instalados unos tubos flexibles comunicados a una válvula y ésta a su vez a una bureta, la bureta es para medir la presión de poro de la muestra y la válvula es para controlar dicha presión de poro, la cámara tiene adaptado también un manómetro para medir la presión hidrostática dentro de ella.

Se debe aclarar que la muestra, en una prueba triaxial, se cubre con una membrana impermeable para evitar que el líquido - confinante penetre por sus poros y la altere.

A la presión confinante aplicada sobre la muestra dentro de la cámara triaxial se le representa como "T3", a la carga axial aplicada a través del vástago se le presenta como "DT", a la suma de "T3" más "DT" se le representa como "T1" y a la diferencia que hay entre "T1" menos "T3" se le llama esfuerzo desviador y se le - representa como 'Td'.

$$T1 = T3 + DT \quad \text{Esfuerzo normal de falla} \quad (\text{EC.20})$$

$$Td = T1 - T3 \quad \text{Esfuerzo normal desviador} \quad (\text{EC.21})$$

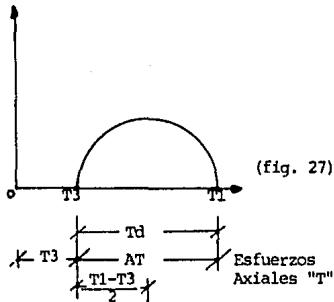
En una prueba triaxial la presión confinante "T3" perma-

nece constante mientras que la carga axial "DT" se vá incrementando hasta que la muestra falle.

La gráfica de una muestra sometida a una prueba triaxial es trazada sobre un plano de ejes coordenados donde en el eje de las abscisas se inscriben los diferentes esfuerzos axiales aplicados sobre los planos de la muestra (" $T_1$ ,  $T_3$ ,  $DT$ ,  $T_1$ ") y en el eje de las ordenadas se inscriben los esfuerzos cortantes " $\tau$ " o "S".

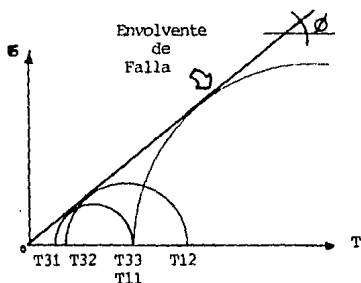
Una vez que se ha inscrito el esfuerzo " $T_3$ " y el " $T_1$ " sobre el eje de las abscisas se traza un círculo cuyo radio es igual a  $\frac{T_1 - T_3}{2}$  como se muestra en la fig. 27, a este círculo se le llama "Círculo de Mohr".

#### Esfuerzos cortantes " $\tau$ "



Este procedimiento se repite en diferentes muestras que pertenezcan al mismo estrato, sólo que las condiciones de esfuerzos confinantes (" $T_1$ ") tendrán que ser diferentes para cada una, - se recomienda que " $T_3$ " se aumente conforme se vaya cambiando de muestra, en este caso se tendrán diferentes círculos en una misma gráfica, uno para cada muestra como se presenta en la fig. 28, en

seguida se traza una línea tangente común para los diferentes círculos, a esta línea tangente se le llama "Envolvente de Falla" -- (fig. 28).



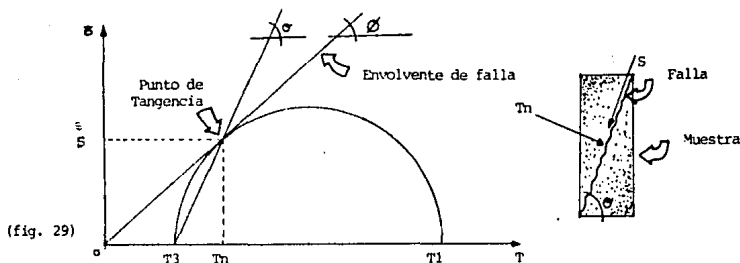
(fig. 28)

El ángulo de inclinación de la envolvente de falla con respecto a la horizontal determina el ángulo de fricción interna del material, asimismo si se une el punto de tangencia de uno de los círculos con su respectiva "T3" se describirá un ángulo de inclinación con respecto a la horizontal, el cual es igual al ángulo de inclinación de la falla en la muestra.

El ángulo de fricción interna se representa como " $\phi$ " y el ángulo de falla en la muestra se representa como " $\sigma$ ". (fig. 29).

Si se traza una perpendicular sobre la gráfica de un círculo hacia el eje de las abscisas y otra hacia el de las ordenadas, pero partiendo las dos desde el punto de tangencia (fig. 29), se obtendrán dos valores; uno en las abscisas representado como " $T_n$ ", el cual es igual al esfuerzo normal sobre el plano de falla de la muestra y otro en las ordenadas representado como " $S$ ", el cual es igual al esfuerzo cortante sobre el mismo plano. (fig. 29).





Hay tres tipos de pruebas triaxiales, dependiendo de las condiciones de drenaje que se le den a las muestras.

1.- CONSOLIDADA Y DRENADA ("CD"):

Esta es una prueba lenta, la cual al aplicar el esfuerzo confinante se permite que la muestra drene abriendo la válvula que controla la presión de poro, esto provoca que la muestra se consolide, después se aplica incrementalmente la carga axial, haciendo que la presión de poro se disipe, hasta que la muestra llegue a la falla.

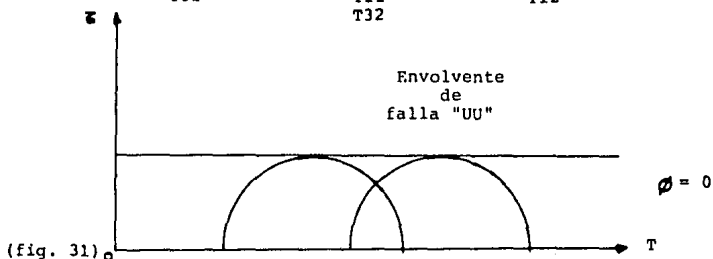
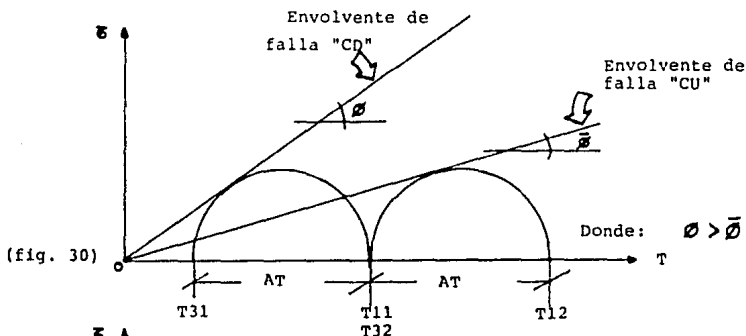
2.- CONSOLIDADA Y NO DRENADA ("CU"):

Esta es una prueba semirrápida, la cual en la primera etapa se abre la válvula que controla la presión de poro para que así la muestra se consolide a la hora de aplicar el esfuerzo confinante, después se cierra la válvula impidiendo que la muestra drene y se incrementa la carga axial hasta que ésta falle.

3.- NO CONSOLIDADA Y NO DRENADA ("UU"):

Esta prueba es rápida y consiste en dejar cerrada la válvula que controla la presión de poro durante todo el tiempo que ésta dure.

En una prueba del tipo "CD" el ángulo de fricción interna " $\phi$ " es mayor que en una prueba del tipo "CU" (Fig. 30), mientras -- que en una prueba del tipo "UU" el ángulo de fricción interna " $\phi$ " -- es igual a cero (fig. 31), lo anterior se cumple siempre que las -- muestras falladas pertenezcan a un mismo estrato.



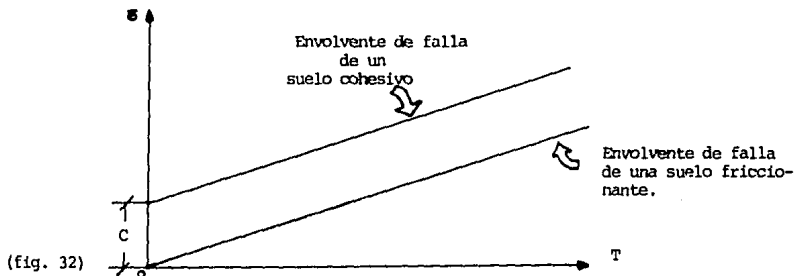
A los estratos constituidos por partículas gruesas se les llaman "Suelos Friccionantes" y a los que están constituidos por finos se les llaman "Suelos Cohesivos",

La diferencia característica que presentan los estratos cohesivos de los friccionantes, es que la envolvente de falla que describen los estratos cohesivos sobre sus gráficas parten desde un punto cualquiera diferente de cero sobre el eje de las ordenadas, -

presentando una cierta resistencia al esfuerzo cortante antes de haber aplicado cualquier carga axial "DT"; mientras que las de los estratos friccionantes parten del origen (fig. 32).

A la resistencia previa que presentan los estratos finos al esfuerzo cortante, se le llama "Cohesión" y se le representa con la letra "C". (fig. 32).

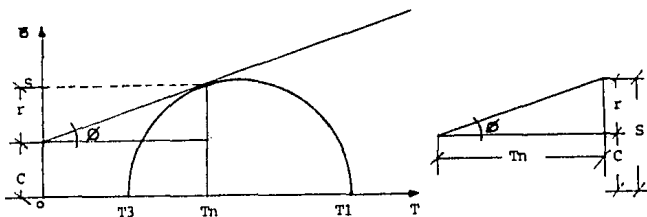
La cohesión es debida principalmente a la fricción que -- hay entre las partículas que forman el estrato, a los efectos capilares y a la movilización tan lenta que tiene el agua a través de las masas del estrato cuya permeabilidad es muy baja.



Para calcular geoméricamente el esfuerzo cortante máximo "S" que soporta una muestra sobre su plano de falla se usa la siguiente ecuación:

$$S = C + Tn \tan \phi$$

(fig. 33)



$$r = T_n \tan \phi$$

$$S = C + r$$

$$** S = C + T \tan \phi$$

c = cohesión

## 2.7. REPRESENTACION GRAFICA DE LA ESTRATIGRAFIA DEL SUBSUELO:

Todas las investigaciones que se le hacen al subsuelo para saber las cualidades y las cantidades en que sus estratos están depositados, son interpretadas mediante parámetros gráficos de tal forma que sea sencillo señalar el estado en que se encuentran.

Para el ingeniero constructor de una cimentación profunda es vital una buena representación gráfica del subsuelo, ya que en base a ésta determina la maquinaria y la forma en que se vá a llevar a cabo su trabajo.

La mecánica de suelos ha propuesto diversas nomenclaturas para tal efecto y como hasta la fecha no se ha llegado a un acuerdo, sólo se mencionarán las más comunes y que interesen al tema.

Las representaciones gráficas del subsuelo que usan los ingenieros cimentadores deben señalar por lo menos para cada estrato :

- 1.- Profundidad.
- 2.- Descripción y nomenclatura S.U.C.S.
- 3.- Corte Estratigráfico.

- 4.- Número de golpes en penetración estándar.
- 5.- Contenido de agua (w) EC 3
- 6.- Límite Líquido (L.L) Fig. 24.
- 7.- Límite Plástico (L.P)
- 8.- Densidad de los sólidos (Gs) EC.14
- 9.- Relación de vacíos (e) EC.3
- 10.- Contenido de finos (F) fig. 20
- 11.- Angulo de fricción interna fig. 29.

En el "Corte Estratigráfico" la nomenclatura que se usa es la siguiente:



GRAVA



ARENA



ARCILLA



LIMO



CONCHAS Y FOSILES

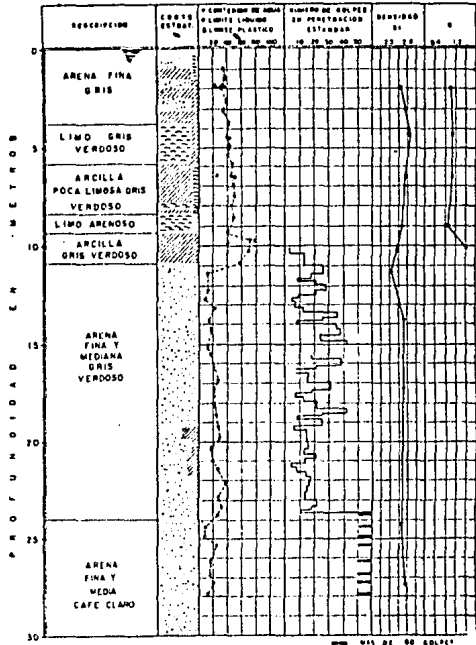
Los demás incisos que señala una gráfica del subsuelo se identifican con la siguiente nomenclatura:

- ⊙ Contenido de agua
- Límite Líquido
- △ Límite Plástico
- × Densidad de sólidos
- Contenido de finos

Tomando como ejemplo una representación gráfica del subsuelo de Pajaritos Veracruz ("Sondeo S-1, almacenamiento de Etileno") (fig. 34), observamos que a la profundidad de 10 m tenemos un subsuelo constituido por material arcilloso, que el número de golpes "N" en su penetración estándar es igual a 4, que su contenido de agua "w" es igual al 75%, el límite líquido "L.L." es de 80% y el límite plástico "L.P." es de 40%, la densidad de los sólidos "Gs" es 2.45, que la relación de vacíos "e" es igual a 1.6 y que su contenido de finos es de más del 50%.

En los temas siguientes se verá con qué criterio son tomados en cuenta todos estos datos para así poder seleccionar el equipo de cimentación profunda y a la vez planear el procedimiento constructivo.

(Fig. 34)



"SELECCION DEL EQUIPO Y HERRAMIENTA"

### III.- SELECCION DEL EQUIPO Y HERRAMIENTA

Hay una estrecha relación entre la maquinaria destinada a construir una determinada obra de cimentación profunda y el tipo de subsuelo que requiere de esta cimentación.

La selección del equipo y de la herramienta es una parte muy delicada dentro del proceso constructivo, ya que ésta abarca desde el cálculo, en lo que se refiere al costo, hasta la ejecución misma de los trabajos, es por eso que en esta especialidad se exige con toda energía un buen estudio representante del subsuelo, el cual permite definir el medio que contendrá a la cimentación con extrema certeza.

En el desarrollo de este tema se explicará por qué motivo se estudia sólo la selección de martillos y perforadoras, sin embargo no queda de menos decir que hay herramientas y equipos secundarios, los cuales sólo se mencionarán si se consideran importantes y en su momento oportuno.

#### 3.1. TIPOS DE CIMENTACIONES:

Debido a la gran variedad de estructuras y a la heterogeneidad del subsuelo se han suscitado diferentes tipos de cimentaciones llegando inclusive a la necesidad de diseñar cimentaciones que resuelvan problemas en específico.



Aunque son muchos los factores que intervienen para definir la cimentación de una determinada estructura, se han logrado clasificar a estas, dependiendo de su profundidad de desplante en el subsuelo, en tres grupos:

- a) Cimentaciones superficiales
  - a.1 Mampostería
  - a.2 Zapatas, ("Aisladas o corridas")
  - a.3 Losas
  
- b) Cimentaciones semiprofundas
  - b.1 Compensadas
  
- c) Cimentaciones profundas
  - c.1 Piloteada
  - c.2 Sobre pilas
  - c.3 Mixtas

Con el propósito de no perder el objetivo de este trabajo, en este capítulo nos concretaremos a definir las cimentaciones semiprofundas y profundas.

Las cimentaciones semiprofundas son todas aquellas en las cuales su cota de desplante se encuentra entre -3 m y -7 m y las cimentaciones profundas son las que se desplantan a más de -7 m.

#### b.1. COMPENSADA :

Esta es una cimentación que consiste en hacer una excavación tal, que el peso del volumen excavado sea igual al peso total de la estructura, con el fin de que los esfuerzos de compresión en el desplante de la cimentación con el estrato sean similares a los que tenía este último en condiciones naturales.

c.1. PILOTEADA:

Esta cimentación está constituida por elementos estructurales esbeltos cuyas secciones pueden ser normalmente cuadradas, triangulares, haches u octagonales y la longitud de estos depende de las necesidades de la superestructura y de las condiciones del subsuelo.

Estos elementos estructurales son construidos generalmente de concreto armado precolado, pero también pueden ser de acero, madera o cal; la instalación de estos elementos es a base de energía dinámica ("Golpe o Presión").

Este tipo de cimentación consiste en transmitir la carga de la superestructura a una gran profundidad en el subsuelo sin necesidad de hacer una enorme excavación que resultaría incosteable.

Hay tres tipos de pilotes:

- 1.- Pilotes de apoyo: Son los que se apoyan en el estrato resistente.
- 2.- Pilotes de fricción : Son los que distribuyen la carga de la superestructura en un espesor grande del subsuelo sin llegar a apoyarse en el estrato resistente.
- 3.- Pilotes mixtos: Son los que trabajan por fricción y apoyo simultáneamente.

c.2. SOBRE PILAS:

Esta cimentación también está constituida por elementos estructurales esbeltos cuyas secciones son circulares y generalmente de gran diámetro; la longitud al igual que los pilotes, depende de las necesidades de la superestructura y de las condiciones del subsuelo.

Estos elementos son hechos de concreto armado, colados in-

situ y su construcción es llevada a cabo en una perforación vertical hecha en el subsuelo, cuyo diámetro y profundidad son iguales a las que requiere la pila en su diseño; se coloca el armado dentro de esta perforación y se llena con concreto fresco.

Esta cimentación transmite la carga de la superestructura al subsuelo evitando una excavación voluminosa.

### c.3. MIXTA :

Esta cimentación es una combinación de las tres anteriores, es decir, es una compensación parcial construida sobre pilas o pilotes.

### 3.2. DESCRIPCION DEL EQUIPO :

En México se han desarrollado técnicas y procedimientos constructivos que han sido adoptados en otras partes del mundo y se ha llegado a diseñar equipos hechizos, los cuales se han perfeccionado en el extranjero.

Las cimentaciones profundas que requieren de equipo especializado para su construcción son las que están hechas a base de pilas o pilotes principalmente, de cualquier manera en los cajones de compensación se requiere de la especialidad para hacer pozos de bombeo - que abatan el nivel freático, para instalar piezómetros y para construir ataguas que contengan las paredes de la excavación.

Partiendo del principio que para construir una cimentación profunda hay que hincar y perforar, los equipos son diseñados esencialmente para que pueda desempeñar dichas funciones y por lo tanto, el equipo básico de cimentación profunda consta de martillos y perforadoras.

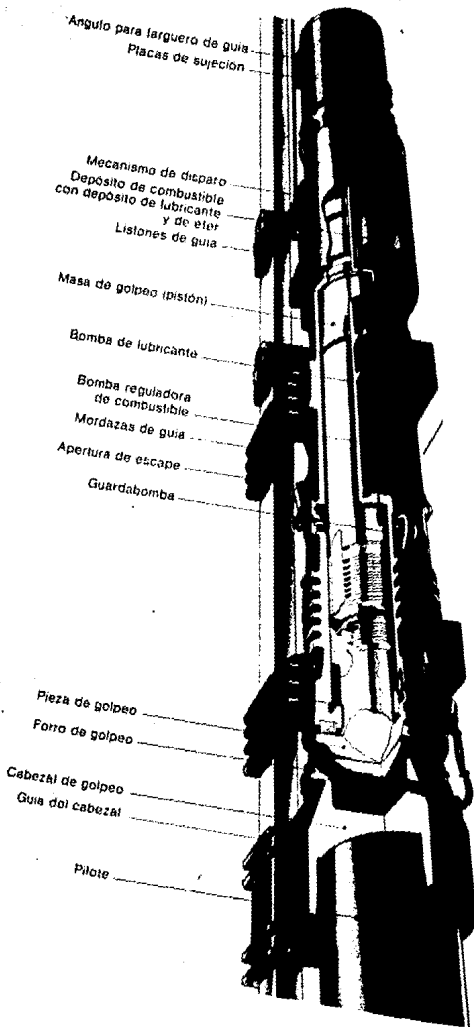
#### 3.2.1. DESCRIPCION DE LOS MARTILLOS :

Existen muchas marcas de martillos en el mercado internaciou

nal y cada una hace frecuentes innovaciones en su producto, por lo que resultaría difícil ennumerar las partes y dispositivos cualitativos de cada tipo.

A continuación se verán las partes principales de un martillo común : (fig. 35).

- 1.- Placas de sujeción: Sirven para izar el martillo hasta la parte superior de las guías.
- 2.- Mecanismo de disparo: A este se le conoce como "Disparador" y sirve para levantar la masa de golpeo dentro del cilindro principal e iniciar el hincado.
- 3.- Listones de guía: Sirven para fijar el mecanismo de disparo a las guías.
- 4.- Masa de golpeo ("Pistón") Es la parte más importante de un martillo, dependiendo del peso del pistón se determina su capacidad cualitativa de golpeo.
- 5.- Mordazas de guía: Sirven para fijar el cuerpo del martillo a las guías.
- 6.- Aberturas de escape: Siven para la combustión del diesel, por estas aberturas se absorbe aire y se expulsa el combustible quemado.
- 7.- Pieza de golpeo: Sirve para transmitir el golpeo del pistón al forro de golpeo.



8.- Forro de golpeo: Sirve para amortiguar el golpeo transmitido por la pieza de golpeo al cabezal de golpeo; es de madera.

9.- Cabezal de golpeo: Se le conoce también como "Golpeador" y sirve para proteger la cabeza del pilote durante el hincado.

10.- Gufa del cabezal: Sirve para fijar el golpeador a las gufas.

"DETERMINACION DE LA ENERGIA DEL MARTILLO  
TRANSFERIDA AL PILOTE".

La energía de golpe del martillo sobre el pilote es la energía cinética de la masa de golpeo que existe inmediatamente antes del choque y que se reduce mediante el forro de golpeo, el cual se encuentra entre la pieza de golpeo y el cabezal (fig. 35); esta energía representa la energía utilizable, es decir, la que efectivamente es aplicada al pilote.

Según la ecuación de la energía potencial, ésta es igual al peso de la masa " $G_1$ " por la altura de caída " $h$ " :

$$E_p = G_1 \times h \quad (\text{EC. 20}).$$

Si consideramos que " $G_1$ " es la masa de golpeo del biston y la denominamos " $R$ " entonces la anterior ecuación quedaría así:

$$E_p = R \times h \quad \text{Energía potencial del martillo}$$

Según la ley del choque se dice que éste es igual a una ma

sa "m" por una velocidad "v" ; de esto resulta que si en el instante del choque del peso de la masa golpeadora del pistón contra el pilote se considera que estos dos tienen la misma velocidad como si sus masas fueran una sola se diría:

$$v(m_1 + m_2) = m_1v_1 + m_2v_2$$

$$*** \quad v = \frac{m_1v_1 + m_2v_2}{(m_1 + m_2)} \quad (\text{EC. 21})$$

Donde:

v      velocidad común de la masa golpeadora y del pilote en el choque.

m<sub>1</sub>    peso de la masa de golpeo.

v<sub>1</sub>    velocidad de la masa de golpeo un instante antes del choque.

m<sub>2</sub>    peso de la masa del pilote.

v<sub>2</sub>    velocidad del pilote un instante antes del choque.

La velocidad final de cualquier cuerpo que se deja caer libremente es igual a la raíz cuadrada de dos veces la aceleración de la gravedad por la altura de caída, entonces podemos decir que la velocidad "v<sub>1</sub>" es igual:

$$v_1 = \sqrt{2 gh}$$

Naturalmente que la velocidad "v<sub>2</sub>" del pilote un instante antes del choque es:

$$v_2 = 0 \quad (\text{cero})$$

Sustituyendo v<sub>1</sub> y v<sub>2</sub> en la EC. 21 de velocidad común entre

el pilote y la masa de golpeo nos queda:

$$v = \frac{m_1 \sqrt{2gh} + m_2 0}{m_1 + m_2} = v = \frac{m_1 \sqrt{2gh}}{m_1 + m_2} \quad (\text{EC. 22})$$

Como se había mencionado anteriormente la energía de golpeo es la energía cinética que existe en medio del choque de "m<sub>1</sub>" y "m<sub>2</sub>" y su fórmula es la siguiente:

$$E_C = \frac{1}{2} (m_1 + m_2) v^2 \quad (\text{EC. 23})$$

Sustituyendo la EC. 22 en la EC. 23 tenemos que:

$$E_C = \frac{1}{2} (m_1 + m_2) \left[ \frac{m_1 \sqrt{2gh}}{m_1 + m_2} \right]^2 \quad (\text{EC.24})$$

Desarrollando la EC. 24 nos queda:

$$E_C = \frac{1}{2} (m_1 + m_2) \frac{m_1^2 \times 2gh}{(m_1 + m_2) (m_1 + m_2)}$$

$$E_C = \frac{m_1^2 g h}{m_1 + m_2} \quad (\text{EC.25})$$

Según la definición de la masa, ésta es igual al peso de una masa "G" entre la aceleración de la gravedad "g" entonces:

$$m_1 = \frac{G_1}{g}$$

$$m_2 = \frac{G_2}{g}$$

Sustituyendolas masas "m<sub>1</sub>" y "m<sub>2</sub>" en la EC. 25 y desarrollando tenemos:

$$E_C = \frac{\frac{G_1^2}{g^2} g h}{\frac{G_1 + G_2}{g}} \Rightarrow E_C = \frac{G_1^2 \times h}{G_1 + G_2} \quad (\text{EC.26})$$



Considerando que "G<sub>2</sub>" es la masa del pilote y la denominamos "W<sub>p</sub>" y cambiando "G<sub>1</sub>" por "R" la EC. 26 nos queda así:

$$E_c = \frac{R^2 h}{R + W_p} \quad \text{Energía transferida al pilote}$$

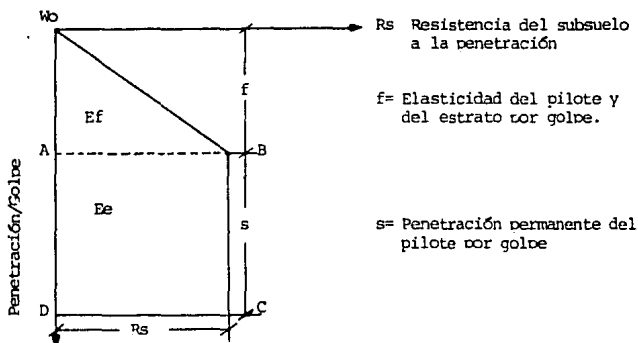
"RESISTENCIA DEL SUBSUELO A LA PENETRACION  
DEL PILOTE.

Para determinar la resistencia del subsuelo a la penetración de un pilote se debe partir de la base que la energía de la oposición a la penetración es igual a la energía cinética producida entre el choque del martillo con el pilote; la resistencia del subsuelo a la penetración es directamente proporcional a la carga que soporta el pilote.

La nomenclatura de las fórmulas que se deducen a continuación es la siguiente:

- E<sub>p</sub>    Energía potencial del martillo.
- R      Peso de la masa de golpeo (Pistón)
- h      Altura de caída del pistón —
- W<sub>p</sub>    Peso del pilote
- s      Penetración media permanente por golpe resultando de los diez últimos golpes en mm.
  
- c      coeficiente de elasticidad del pilote y suelo en mm para un metro de longitud del pilote.
- L      Longitud del pilote
- RS     Resistencia del subsuelo a la penetración.

Un pilote cuando se hinca tiende primero a comprimirse -- junto con el estrato y después el estrato cede para que el pilote penetre, esta acción se repite continuamente durante el proceso de hincado y a continuación se ilustra en el siguiente diagrama:



En el diagrama de arriba la superficie del triángulo ABW corresponde a la energía elástica del pilote y el estrato

$$E_f = \frac{R_s f}{2} = R_s \frac{f}{2} \quad (\text{EC.27})$$

y la superficie ABCD corresponde a la energía plástica o de penetración del pilote en el subsuelo:

$$E_e = R_s \times s \quad (\text{EC.28})$$

La suma de  $E_f + E_e$  es igual a la energía total de oposición a la penetración del pilote en el subsuelo.

Como se había establecido inicialmente:

$$E_c = E_f + E_e \quad (\text{EC.29})$$

Como la magnitud de  $\frac{f}{2}$  de la EC. 27 no se conoce antes de comenzar los hincados, éste  $\frac{f}{2}$  ha sido sustituido por el valor c.L. donde "c" es un valor empírico para la elasticidad del pilote y el estrato en mm por cada metro de longitud de pilote.

	"c"
Pilotes de concreto armado	0.3 mm/m
Pilotes de madera	0.6 mm/m
Pilotes de acero	0.3 mm/m

Tomando en cuenta que:

$$E_c = \frac{R^2 h}{R + W_p} = \frac{R h R}{R + W_p}$$

y si:

$$E_p = R h$$

$$*** E_c = \frac{E_p R}{R + W_p} \quad (EC.30)$$

Sustituyendo la EC. 27 con el valor c.L., la EC. 28 y la EC. 30 en la EC. 29 nos queda:

$$\frac{E_p R}{R + W_p} = R_s \times c.L. + R_s \times s \quad (EC. 31)$$

Despejando "Rs" de la EC. 31 tenemos:

$$R_s = \frac{E_p \times R}{(c \times L + s)(R + W_p)}$$

Resistencia del sub  
suelo a la penetra-  
ción del pilote.

Antes de continuar es necesario hacer un paréntesis y decir que las diferentes firmas que se dedican a fabricar martillos se han puesto de acuerdo en que la altura de caída de la masa de golpeo sea de 2.5 m a 3 m y también es preciso mencionar que el peso de las masas de golpeo más comunes que se utilizan en la especialidad constructiva de la cimentación profunda en México son de 1,250 kg, 2,200 kg, 3,000 kg y 3,600 kg.

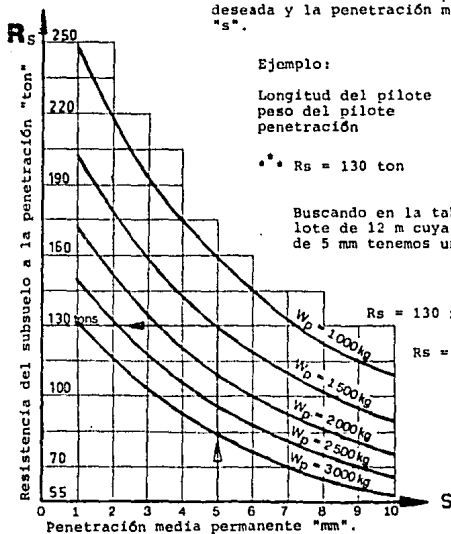
A continuación se muestran unas tablas de las cuatro masas de golpeo más comunes, las cuales sirven para determinar las diferentes resistencias del subsuelo a la penetración dependiendo de la longitud, peso y material del pilote.

"PILOTES DE MADERA HINCADOS CON UN MARTILLO  
DE 1,200 kg".

		Longitud del pilote en "m"										
		5 m	6 m	7 m	8 m	9 m	10 m	11 m	12 m	13 m	14 m	15 m
Penetración en "mm"	1	1.75	1.52	1.35	1.21	1.10	1	0.92	0.85	0.80	0.75	0.70
	2	1.60	1.43	1.29	1.18	1.06	1	0.93	0.87	0.82	0.77	0.73
	3	1.50	1.36	1.25	1.15	1.07	1	0.94	0.88	0.83	0.79	0.75
	4	1.43	1.32	1.22	1.14	1.06	1	0.94	0.89	0.85	0.81	0.77
	5	1.38	1.28	1.20	1.13	1.06	1	0.95	0.90	0.86	0.82	0.79
	6	1.33	1.25	1.18	1.11	1.05	1	0.95	0.91	0.87	0.83	0.80
	7	1.30	1.23	1.16	1.10	1.05	1	0.96	0.92	0.88	0.84	0.81
	8	1.26	1.21	1.15	1.09	1.04	1	0.96	0.92	0.89	0.85	0.82
	9	1.25	1.19	1.14	1.09	1.04	1	0.96	0.93	0.89	0.86	0.83
	10	1.23	1.11	1.13	1.06	1.04	1	0.96	0.93	0.90	0.86	0.84

Las curvas que se muestran en la gráfica son para pilotes de madera de 10 m de longitud y el peso - del pilote se indica sobre cada una de éstas.

Si se desea saber la resistencia del subsuelo a la penetración de un pilote cuya longitud sea diferente de 10 m, se busca en la gráfica el valor de "Rs" y éste se multiplica por el valor que nos muestre la tabla de arriba correspondiente a la longitud - deseada y la penetración media permanente por golpe "s".



Ejemplo:

Longitud del pilote = 12 m  
peso del pilote = 1500 kg  
penetración = 5 mm

••• Rs = 130 ton

Buscando en la tabla de arriba para un pilote de 12 m cuya penetración promedio es de 5 mm tenemos un valor de 0.90.

$$Rs = 130 \times 0.90$$

$$Rs = 117 \text{ ton.}$$

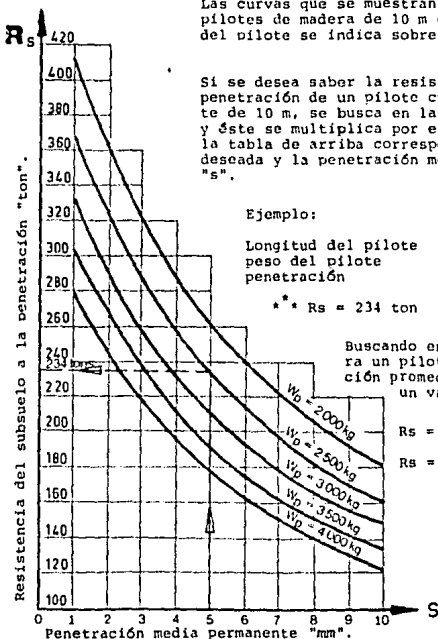
"PILOTES DE MADERA HINCADOS CON UN MARTILLO  
DE 2,200 kg".

Longitud del pilote en "m".

Penetración en "mm"	Longitud del pilote en "m".										
	5m	9m	10m	11m	12m	13m	14m	15m	16m	17m	18m
1	121	110	1	0.92	0.85	0.80	0.75	0.70	0.67	0.63	0.59
2	118	108	1	0.93	0.87	0.82	0.77	0.73	0.69	0.66	0.63
3	115	107	1	0.94	0.88	0.83	0.79	0.75	0.71	0.68	0.65
4	114	106	1	0.94	0.89	0.85	0.81	0.77	0.74	0.70	0.68
5	113	106	1	0.95	0.90	0.86	0.82	0.79	0.75	0.72	0.70
6	111	105	1	0.95	0.91	0.87	0.83	0.80	0.77	0.74	0.71
7	110	105	1	0.96	0.92	0.88	0.84	0.81	0.78	0.76	0.73
8	109	104	1	0.96	0.92	0.89	0.85	0.82	0.79	0.77	0.75
9	109	104	1	0.96	0.93	0.89	0.86	0.83	0.81	0.78	0.76
10	106	104	1	0.96	0.93	0.90	0.87	0.84	0.82	0.79	0.77

Las curvas que se muestran en la gráfica son para pilotes de madera de 10 m de longitud y el peso - del pilote se indica sobre cada una de estas.

Si se desea saber la resistencia del subsuelo a la penetración de un pilote cuya longitud sea diferente de 10 m, se busca en la gráfica el valor de "Rs" y éste se multiplica por el valor que nos muestre la tabla de arriba correspondiente a la longitud - deseada y la penetración media permanente por golpe "s".



Ejemplo:

Longitud del pilote = 16 m  
peso del pilote = 2,500 kg.  
penetración = 5 mm

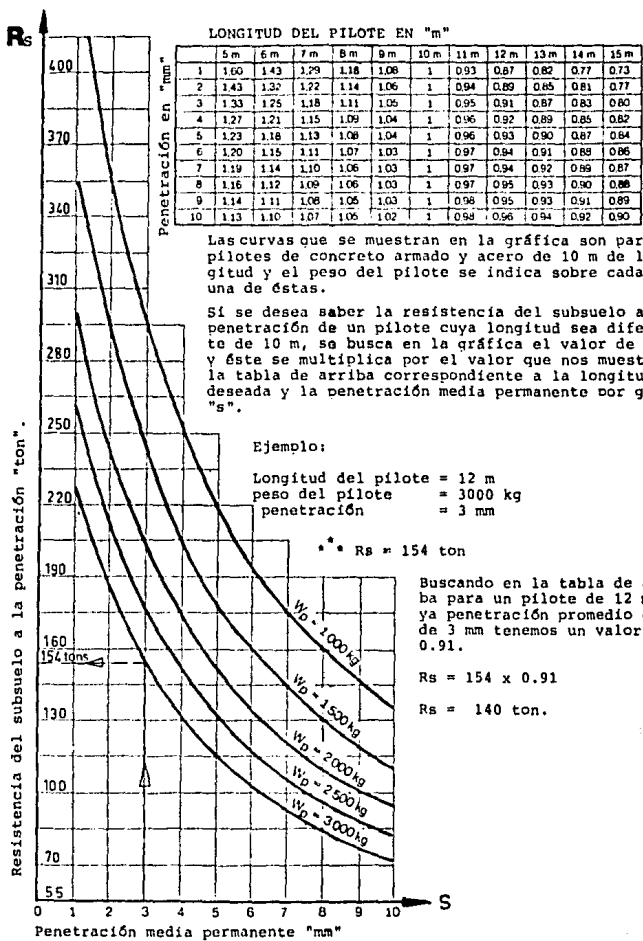
\*\*\* Rs = 234 ton

Buscando en la tabla de arriba para un pilote de 16 m cuya penetración promedio es de 5 mm tenemos un valor de 0.75.

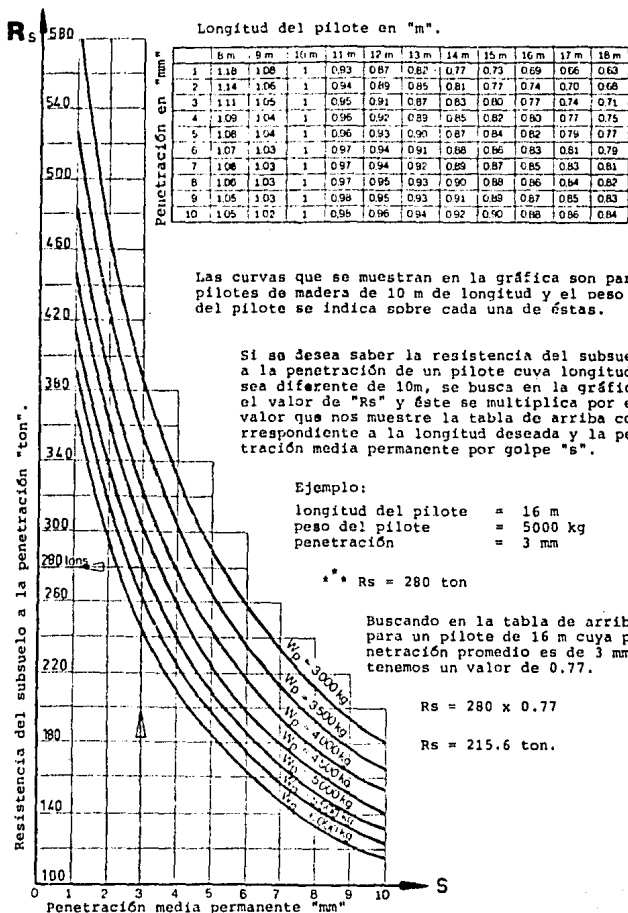
Rs = 234 X 0.75

Rs = 175.5 ton.

"PILOTES DE CONCRETO Y ACERO HINCADOS CON  
UN MARTILLO DE 1,200 kg"



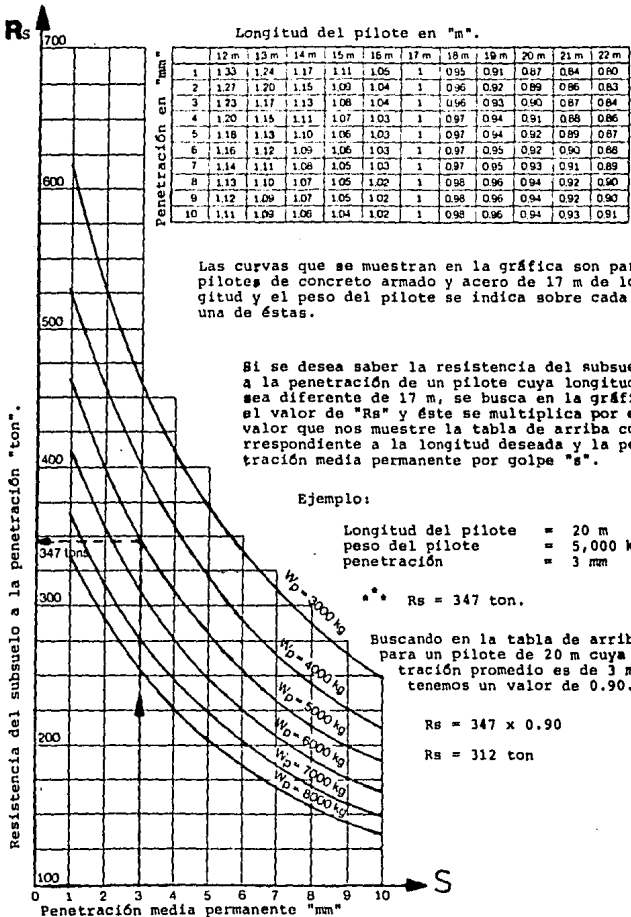
"PILOTES DE CONCRETO Y ACERO HINCADOS  
CON UN MARTILLO DE 2,200 kg".



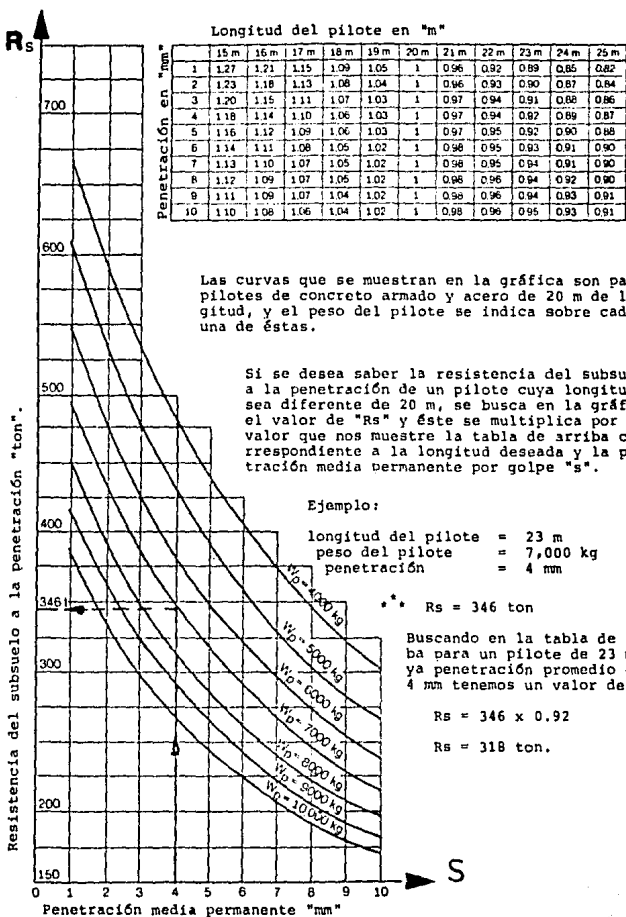


ESTA TESIS NO DEBE  
- SALIR DE LA BIBLIOTECA

"PILOTES DE CONCRETO Y ACERO HINCADOS  
CON UN MARTILLO DE 3,000 kg"



"PILOTES DE CONCRETO Y ACERO HINCADOS CON  
MARTILLO DE 3,600 kg".



Si tuvieramos datos de algún problema de hincado de pilotes que estuvieran fuera del rango de las tablas mostradas anteriormente se procedería a usar la fórmula de "Resistencia del subsuelo a la penetración del pilote".

$$R_s = \frac{E_p \cdot R}{(c \cdot L + s)(R + W_p)}$$

Ejemplo:

¿Cuál es la carga que soporta un pilote de concreto armado de 20 m de longitud cuyo peso es de 6,000 kg y éste es hincado con un martillo de 2,200 kg de masa de golpeo, si en la última calda (1 calda = 10 golpes) se considera que la penetración media permanente es de 2 mm?

Longitud del pilote       $L = 20 \text{ m}$

Penetración               $s = 2 \text{ mm}$

Peso del pilote             $W_p = 6,000 \text{ kg}$

$E_p = 5,500 \text{ kg - m}$

$R = 2,200 \text{ kg}$

$c = 0.3 \text{ mm/m}$

$$R_s = \frac{5,500 \times 2,200}{(0.3 \times 20 + 2)(2,200 + 6,000)} = 185 \text{ ton} \quad R_s = 185 \text{ ton}$$

### 3.2.2. DESCRIPCION DE LAS PERFORADORAS:

Al igual que en el caso de los martillos; hay muchas marcas de perforadoras en el mercado internacional y también en éstas las innovaciones son muy frecuentes.

En el caso particular de las perforadoras, debido a la -- gran diversidad de condiciones del subsuelo se ha dado lugar al diseño de dos tipos:

- a) "Perforadora de hélice continua"; comunmente conocida como perforadora de gusano.
- b) "Perforadora de bote o broca"; comunmente conocida como perforadora de barretón.

Estos dos tipos de perforadoras pueden atacar cualquier - subsuelo escarbable, sólo que tomando en cuenta sus cualidades particulares se recomienda más una que otra en determinadas estratigrafías.

El procedimiento de perforación consiste a grandes rasgos en introducir la herramienta en la perforación, hacerla girar, extraerla y limpiarla.

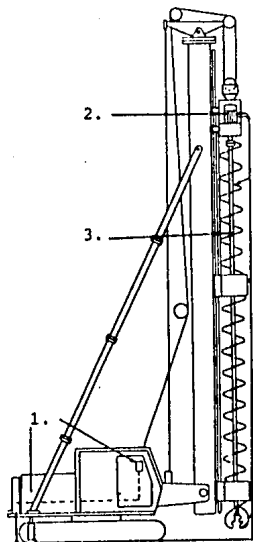
- a) Perforadora de hélice continua:

Cuando se hace una perforación en un subsuelo constituido por materiales gruesos de poca estabilidad como la arena, se corre el peligro que las paredes de esa perforación se deterioren a causa de la continua extracción e introducción de la herramienta de ataque; la perforadora de hélice continua puede extraer el material -- producto de la perforación sin necesidad de estar sacando continuamente la herramienta y hace avances hasta de 5 m de profundidad, -- por otra parte se puede ademar con lodos bentoníticos haciendo trabajar a la perforadora simultáneamente.

Las desventajas de esta perforadora son que no pueden hacer perforaciones batidas, sólo perfora hasta 30 m de profundidad, su diámetro máximo es de 80 cm y se adaptan a la grúa en varias -- piezas.

A continuación se verán las partes más comunes de una perforadora de hélice continua (fig. 36).

1.- Centralina: Esta se instala en el contrapeso de la grúa y sirve para accionar el impulsor.



2.- Impulsor: Este es instalado en unas guías similares a la de los martillos, puede ser eléctrico o hidráulico y sirve para hacer girar el gusano.

3.- Gusano: Es la herramienta que perfora y está formada por una hélice continua, a manera de sinfín, dependiendo de sus dimensiones se determinan las de las perforaciones.

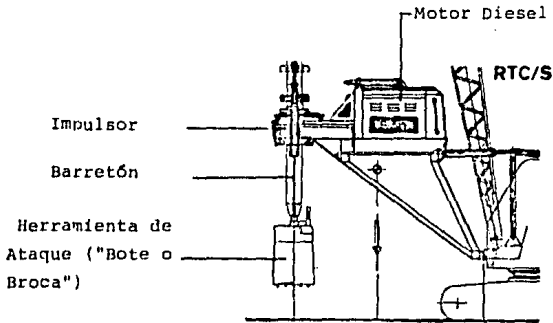
(fig. 36)

#### b) Perforadora de bote o broca:

Cuando el subsuelo en el que se pretende perforar está constituido por materiales finos muy compactos y que además presentan una consistencia muy elástica, se recomienda utilizar una perforadora de bote o broca, ya que la potencia de su motor permite hacer perforaciones batidas, por otro lado, se adapta a la grúa en una sola pieza, puede hacer perforaciones con diámetros relativamente grandes a grandes profundidades y son ideales para la construcción de pilas.

Las desventajas que presentan este tipo de perforadoras son que se tiene que estar extrayendo e introduciendo continuamente la herramienta en la perforación, por lo que su avance es muy lento y no se puede ademar conforme se va perforando.

En seguida se verán las partes más comunes de una perforadora de bote o broca (fig. 37).



(Fig. 37)

Las perforadoras no sólo se adaptan a grúas, éstas también pueden ser montadas en camión sólo que su diseño en lo que se refiere a configuración es diferente a las anteriormente mencionadas.

La cualidad que diferencia a una perforadora de otra, ya sea de gusano o barretón, es la magnitud de su torque y éste puede variar desde 3,100 kg-m hasta 21,000 kg-m.

El torque es un momento torsionante producido por el impulsor, el cual es aplicado al gusano o barretón dependiendo del tipo de perforadora.

El gusano y el barretón son diseñados de tal manera que no se deformen permanentemente debido al torque que transmiten, es

decir, que trabajen dentro de su rango elástico.

Otra característica que es interesante mencionar en las perforadoras, es que el empuje que se le dá a la herramienta de ataque para que la perforación avance es proporcionado por el peso mismo del gusano o barretón y éste varía de 3.5 ton a 6 ton dependiendo del tamaño y tipo de perforadora.

En el caso de las perforadoras de gusano, éstas tienen un empuje adicional dado por el peso del impulsor y éste es permanente.

En el caso de las perforadoras de barretón, algunas tienen un dispositivo conocido como "Pull-Down", el cual sirve para incrementar el empuje del peso del barretón, este empuje es generalmente de 16 ton y su aplicación es optativa dependiendo de la resistencia que presente el subsuelo.

#### "TIPOS DE ADEMES"

Muchas veces resulta que el subsuelo está en ciertas condiciones que se produce una comoleta inestabilidad en las paredes de una perforación provocando incluso que éstas se derrumben a causa de diversos factores, tales como vibración, movimientos bruscos accidentales de la herramienta o simplemente por las cualidades físico-mecánicas de los mismos materiales; esta situación ha dado lugar a elaborar una técnica dentro del mismo procedimiento de perforación, la cual consiste en contener las paredes mediante ademes y evitar que las perforaciones se cierren.

En la especialidad de la cimentación profunda hay cuatro técnicas para ademar principalmente:

- 1.- Brocales.
- 2.- Camisas de acero.

3.- Lodos bentoníticos.

4.- Mixtos.

1.- ADEME CON BROCAL:

Un brocal consiste en ademar la parte superior de una perforación para evitar que ésta se avocarde, los brocales pueden ser de acero o concreto en forma de tubo y sus dimensiones dependen del diámetro y de la profundidad donde se encuentran los estratos inestables.

La experiencia dice que por muy firme que sea el subsuelo, una perforación siempre termina avocardada, es por eso que en la construcción de pilas siempre es necesario el uso de brocales - que por lo menos tengan una profundidad de 60 cm, pues este recurso permite que el fuste ("cuerpo de la pila") se mantenga constante en toda su longitud.

2.- ADEME CON CAMISA DE ACERO:

Las camisas de acero son tubos cuyas dimensiones dependen del diámetro de la perforación y de la longitud de la pila y consiste en ademar toda la perforación, desde su nivel de desplante hasta la superficie.

Este tipo de ademe se usa cuando se pretende construir una pila en un subsuelo que presenta inestabilidad a lo largo de toda una perforación.



Las camisas de acero pueden ser recuperables cuando el subsuelo es capaz de servir como "cimbra", ya que el concreto ejerce presiones contra las paredes de la perforación, en este caso la calidad del fuste está en función de la sanidad del concreto, es decir, que éste no debe mezclarse con derrumbes de la perforación.

Para evitar la contaminación del fuste de una pila, se utiliza el ademe metálico perdido, ya sea en toda su longitud o en parte de la misma.

### 3.- ADEME CON LODO BENTONITICO:

Es muy común encontrar subsuelos no cohesivos, lo que dificulta hacer perforaciones estables; en estos casos el uso de lodo bentonítico facilita la estabilidad de las paredes de una perforación.

El consultor de mecánica de suelos deberá especificar la calidad del lodo bentonítico en función del subsuelo por perforar, así por ejemplo la dosificación del lodo bentonítico será más rica en un subsuelo arenoso que en uno areno-limoso.

La dosificación del lodo bentonítico también depende del tipo de cimentación profunda, pues si se pretende efectuar un colado insitu la especificación es más estricta que cuando se trata de instalar un elemento precolado ("hincado de un pilote"), en algunas ocasiones la instalación de elementos precolados requiere de -

una estricta vigilancia en la dosificación del lodo.

El lodo bentonítico como ya lo hemos indicado anteriormente, deberá especificarse de acuerdo al tipo de subsuelo, cimentación profunda- dimensiones de la perforación, desplante del nivel freático y calidad del agua ("dulce, salda, etc"); por lo tanto la calidad del lodo bentonítico solamente se puede garantizar con equipo especial cuya mezcla se hace en forma semejante a la del concreto.

#### DOSIFICACION:

Los ingredientes básicos de un buen lodo son, arena bentonítica y agua dulce.

La cantidad de bentonita varía en la práctica del 5 al 20% en peso del volumen de agua, esto quiere decir que por cada metro cúbico de agua se requiere de 50 a 200 kg de arena bentonítica.

#### PREPARACION:

Se debe contar con dos tanques o cisternas de por lo menos 40 m<sup>3</sup> cada uno, así como de una dosificadora de bentonita y dos bombas de 3"Ø con sus respectivas mangueras de succión y distribución.

Una de las cisternas contendrá agua limpia reuniendo la

calidad, es decir, exenta de sales que pudiesen flocular al lodo bentonítico.

El principio de una dosificadora de bentonita estriba en hacer pasar a gran velocidad el agua en el lugar donde se está depositando el polvo de bentonita, no es recomendable pretender hacer la mezcla manteniendo el agua en forma estática, es decir, vaciar los sacos directamente en una cisterna con agua, ya que esto ocasionaría la formación de grumos requiriendo de muchas maniobras muy costosas para deshacerlos.

Una vez que ya se ha logrado una perfecta hidratación del polvo bentonítico éste es depositado en la otra cisterna en forma de lodo y ahí se mantendrá reposando de 3 a 4 hr. haciéndola circular con una de las bombas de 3"Ø antes de ser usada; la otra bomba se usa para proporcionar de agua limpia a la dosificadora bombeándola desde la cisterna correspondiente.

Para evitar contaminar el drenaje se debe construir una cisterna más donde se depositará la bentonita ya usada y además ésta misma podrá ser reutilizada en el caso de elementos colados insitu ("Pilas").

La recuperación de este lodo bentonítico para después ser reutilizado se hace mediante un equipo especial, cuya función principal es la de desarenar, cuando en la cisterna de recuperación se tiene un lodo bentonítico sumamente degradado, éste deberá ser transportado a un tiradero mediante una pipa. ✓

Existen aparatos para vigilar la calidad de lodo bentonfítico de los cuales el más usado es el densímetro que como su nombre lo indica mide la densidad de la mezcla, la cual se recomienda sea lo más próximo posible a 1.05.

Resuminedo, al hablar del lodo bentonfítico se podría hacer una tesis de considerable volumen, por lo que este trabajo se ha concretado a enunciar algunos aspectos íntimamente ligados a la práctica de la cimentación profunda.

#### 4.- ADEMES MIXTOS:

Este tipo de ademe como su nombre lo indica consiste en conjugar el ademe bentonfítico con el metálico.

Como sabemos, el subsuelo por naturaleza es heterogéneo, por lo tanto una perforación puede tener en forma intercalada zonas estables e inestables, y por razones de economía se colocan en una misma perforación partes ademadas con bentonita y partes con camisas de aceros o brocales; debe aclararse que en un subsuelo de estas características se debe considerar independientemente del brocal o camisa de acero el lodo bentonfítico desde el nivel freático hasta el desplante de la perforación, ya que por el principio de vasos comunicantes el lodo bentonfítico encuentra su equilibrio dentro de la perforación en la cota del manto freático, en cambio el ademe metálico se puede ubicar en toda la longitud o en cualquier parte de la misma; el ademe metálico sólo se puede recuperar cuando se usa en toda la longitud de la perforación o como brocal y es perdido cuando adema sólo una parte de la perforación.

### 3.2.3.- DESCRIPCION DE LAS GRUAS

Hace poco tiempo, aproximadamente 25 años, los equipos de perforación y pilotaje eran instalados en armatostes, los cuales se desplazaban sobre rieles cuando se construía en terrenos firmes o sobre roles cuando se trataba de terrenos lodosos, esto hacía que el movimiento de un punto de hincado a otro requiriera de maniobras sumamente complicadas y de varias horas de trabajo provocando que los rendimientos fueran muy bajos, de aquí que -- los ingenieros mexicanos dieron una gran aportación a la especialidad de la cimentación profunda, pues ellos idearon la forma de adaptar el equipo de cimentación en grúas montadas sobre orugas y a raíz de este suceso hasta la fecha la mayoría del equipo de cimentación se trabaja de esta forma en todo el mundo.

Las grúas que más se recomiendan para la adaptación -- del equipo de cimentación profunda son las Link-Belt LS-98, LS-108 y LS-118, ya que:

+ ) Tienen una capacidad de carga óptima:

La capacidad de carga de las grúas LS-98, LS-108 y LS-118 cumplen exactamente con las necesidades de una obra de cimentación profunda. ("ver tablas 1 y 2").

+ ) No son tan voluminosas:

Desde el punto de vista de transporte, el 100% de la grúa cabe en una plataforma a excepción de la LS-118 y desde el punto de vista de ejecución de obra, es posible trabajar con varias máquinas simultáneamente en áreas relativamente pequeñas.

+ ) Se arman de manera sencilla:

Es importante que una grúa se arme en forma simplificada, porque así se evitan las verificaciones minuciosas y las --

pérdidas de tiempo, el cual puede ser mejor empleado en checar que el equipo de cimentación profunda esté bien adaptado.

+ ) Su sistema es hidráulico:

Esto hace que su operación sea fácil y exacta, pues en los trabajos de cimentación profunda se requiere de maniobras de precisión, cosa que sería muy difícil lograr con dragas mecánicas.

+ ) La mayoría de sus partes son de manufactura nacional lo que resuelve el problema refaccionario.

### 3.3. "SELECCION DEL EQUIPO EN FUNCION DEL ESTUDIO DEL SUBSUELO"

Para poder llevar a feliz término la construcción de una cimentación profunda es básico conocer las características cualitativas y cuantitativas del subsuelo, esto es, tener los sondeos y el estudio de mecánica de suelos que sirvieron de base para el diseño de la cimentación.

En el tema II capítulo 2.7 se señalaron 11 diferentes características que contempla un estudio de mecánica de suelos para cada estrato y que aparte de que sirven para diseñar el tipo de cimentación, sirven también para enriquecer el criterio constructivo de un cimentador.

Dentro de esas 11 características hay 5 que son de vital importancia para la selección del equipo y del procedimiento constructivo:

- 1.- Localización del manto freático
- 2.- Número de golpes en la penetración estándar.
- 3.- Descripción y nomenclatura S.U.C.S.
- 4.- Contenido de agua
- 5.- Límites de Atherberg (L.L. Y L.P.)

CAPACIDADES DE LEVANTE (TRABAJANDO COMO GRUA) DE LA MAQUINA LS-98

CON GRUGAS TIPO: Ancho - Estándar  
 Longitud - Extra

Tabla 1

P L U M A			Altura del extremo sup. de la pluma - (A) en mts.	con - contra-peso A + B en kgs.	con - contra-peso A + B + C en kgs.
Long.	Radio	Angulo Q			
40'	10'	80°	13.65	20,550	23,120
	15'	73°	13.30	10,750	12,140
	20'	65°	12.75	7,240	6,090
	30'	48°	10.70	4,120	4,690
	40'	23°	6.45	2,780	3,190
50'	12'	80°	16.70	15,030	16,940
	15'	76°	16.45	10,650	12,020
	20'	70°	16.00	7,030	7,970
	25'	64°	15.35	5,150	5,870
	30'	58°	14.50	4,000	4,580
	35'	51°	13.40	3,220	3,710
	40'	43°	11.95	2,660	3,080
	45'	33°	10.00	2,230	2,600
	50'	21°	7.00	1,900	2,230
60'	15'	79°	19.60	10,530	11,920
	20'	74°	19.20	6,910	7,860
	25'	69°	18.70	5,030	5,750
	30'	64°	18.00	3,880	4,460
	35'	58°	17.15	3,100	3,580
	40'	52°	16.10	2,540	2,960
	45'	46°	14.75	2,110	2,480
	50'	39°	13.10	1,780	2,110
	55'	30°	10.90	1,520	1,810
	60'	10°	7.50	1,300	1,560
70'	15'	80°	22.70	10,420	11,800
	20'	76°	22.40	6,800	7,740
	30'	68°	21.30	3,760	4,340
	40'	58°	19.80	2,420	2,840
	50'	48°	17.50	1,660	1,990
	60'	36°	14.10	1,170	1,440
	70'	17°	7.95	830	1,070

80'	20'	78°	25.50	6,680	7,630
	30'	70°	24.60	3,640	4,220
	40'	63°	23.30	2,300	2,720
	50'	54°	21.45	1,540	1,870
	60'	45°	18.80	1,050	1,320
	70'	33°	15.10	720	940
	80'	16°	8.50	470	660
90'	20'	79°	28.60	6,570	5,510
	30'	73°	27.85	3,520	4,110
	40'	66°	26.70	2,180	2,590
	50'	59°	25.10	1,420	1,750
	60'	51°	22.90	930	1,200
	70'	42°	20.00	590	820
	80'	31°	15.95	340	540
90'	15°	8.85	150	330	
100'	20'	80°	31.70	-	7,400
	30'	74°	31.00	-	3,980
	40'	68°	30.00	-	2,480
	50'	62°	28.60	-	1,620
	60'	55°	26.70	-	1,080
	70'	48°	24.35	-	700
	80'	40°	21.15	-	420
	90'	30°	16.75	=	200
	100'	15°	9.30	=	40



CAPACIDADES DE LEVANTE (TRABAJANDO COMO GRUA) DE LA MAQUINA LS-108 B  
CON ORUGAS TIPO RETRAIBLES Y PLUMA DE SECCION 34" X 34"

Tabla 2

P L U M A			Altura del extremo sup. de la pluma (A) en mts.	O R U G A S		
Long.	Radio	Angulo Q		Retraída con contrapeso	Extendida con contrapeso	con A + B contrapeso
				A retraída en kgs.	A en kgs.	en kgs.
40'	10'	80.2°	13.70	26,270	35,220	40,820
	15'	73.0°	13.30	13,470	16,620	23,830
	20'	65°	12.75	8,900	10,700	15,450
	30'	48°	10.70	5,120	6,060	8,890
	40'	23°	6.45	3,470	4,100	6,110
50'	12'	80°	16.70	19,000	24,350	34,800
	15'	76°	16.50	13,350	16,520	23,730
	20'	70°	16.00	8,780	10,590	15,350
	25'	64°	15.40	6,430	7,670	11,220
	30'	58°	14.55	5,000	5,940	8,770
	35'	50°	13.45	4,040	4,790	7,140
	40'	43°	12.00	3,340	3,970	5,990
	45'	33°	10.05	2,830	3,360	5,120
	50'	21°	7.05	2,420	2,890	4,450
60'	15'	79°	19.60	13,240	16,420	23,640
	20'	74°	19.25	8,660	10,480	15,240
	25'	69°	18.70	6,310	7,560	11,110
	30'	63°	18.05	4,880	5,820	8,650
	35'	58°	17.20	3,910	4,680	7,020
	40'	52°	16.15	3,220	3,860	5,870
	45'	46°	14.80	2,700	3,240	5,000
	50'	39°	13.15	2,300	2,770	4,330
	55'	30°	10.00	1,970	2,390	3,790
70'	15'	80.3°	22.70	13,150	16,340	23,540
	20'	76°	22.40	8,560	10,390	15,130
	25'	72°	21.95	6,210	7,470	11,000
	30'	68°	21.35	4,770	5,720	8,540
	35'	63°	20.70	3,810	4,570	6,910
	40'	58°	19.80	3,120	3,750	5,750
	45'	53°	18.80	2,590	3,140	4,880
	50'	48°	17.55	2,190	2,660	4,200

	55'	42°	16.00	1,860	2,280	3,670
	60'	36°	14.10	1,590	1,970	3,230
	65'	28°	11.70	1,370	1,710	2,870
	70'	17°	8.00	1,180	1,490	2,550
80'	20'	78°	25.55	8,430	10,190	15,000
	30'	70°	24.65	4,640	5,520	8,420
	40'	63°	23.30	2,980	3,540	5,630
	50'	54°	21.45	2,040	2,440	4,090
	60'	45°	18.85	1,450	1,750	3,110
	70'	33°	15.10	1,040	1,270	2,430
	80'	16°	8.50	730	920	1,940
90'	20'	79°	28.65	8,310	10,160	14,910
	30'	73°	27.85	4,510	5,470	8,300
	40'	66°	26.70	2,850	3,500	5,510
	50'	59°	25.10	1,920	2,400	3,960
	60'	51°	22.95	1,320	1,710	2,980
	70'	42°	20.05	910	1,230	2,310
	80'	31°	15.95	610	880	1,810
	90'	15°	8.90	380	610	1,430
100'	20'	80.3°	31.70	-	10,050	14,800
	30'	74°	31.05	-	5,360	8,190
	40'	68°	30.00	-	3,370	5,390
	50'	62°	28.60	-	2,280	3,840
	60'	55°	26.75	-	1,590	2,860
	70'	48°	24.35	-	1,110	2,190
	80'	40°	21.20	-	760	1,690
	90'	30°	16.80	-	480	1,310
	100'	14°	9.30	-	180	1,010

NOTAS :

- 1.- Las capacidades de levante están indicadas en kg y equivalen al 75% de la capacidad límite, cuando la máquina está en un piso firme y nivelada. (La capacidad límite es la capacidad en donde se voltea la máquina).

- 2.- Se requiere el guarnido retractil para plumas mayor de 55'.
- 3.- Las capacidades para dragar equivalen a las capacidades de levante de la grúa con contrapeso A+B, el peso total del bote más carga más no debe estar mayor de 3860 kg.
- 4.- Las capacidades para almeja equivalen a 90% de las capacidades de levante de la grúa con contrapeso A+B. El peso total de la almeja más carga no debe estar mayor de 4540 kg.
- 5.- Las capacidades de levante para dragar y almeja son para condiciones ideales, y se tiene que hacer deducciones para terrenos flojos etc..
- 6.- Para dragar o almejar la pluma no debe estar mayor de 60 piés y el ángulo de la pluma no debe estar menor de 35 grados.

### "LOCALIZACION DEL MANTO FREATICO".

Conocer la localización del manto freático es importante para saber si se tiene una superficie segura para la operación del equipo pues cuando la capa freática se acerca a la plataforma de trabajo se debe usar maquinaria montada sobre orugas de tal manera que pueda distribuir su carga en una mayor área; utilizar equipo montado sobre neumáticos en un terreno como el que se describe, resulta totalmente ineficiente.

En la mayoría de los casos en que el nivel freático se aproxima a la superficie de trabajo, se recomienda utilizar cascajo para así formar una plataforma de trabajo firme y segura para el equipo.

En tiempo de lluvias se construyen drenes localizados estratégicamente, los cuales desembocan a pozos equipados con bombas a fin de evitar el deterioro de la superficie rodante.

En subsuelos no cohesivos como en el caso de la arena suelta, la localización del manto freático resulta determinante en la selección del equipo de cimentación profunda, por ejemplo; si en un subsuelo como el que se describe la capa freática se encuentra a 4 m de profundidad con respecto a la plataforma de trabajo, no se podrá perforar ademandando con lodo bentonítico, pues éste se perdería en la parte superior al nivel freático y además sería prácticamente imposible hacer una perforación en esta zona por tratarse de arena suelta; en este caso lo indicado será introducir un tubo de ademe metálico mediante un vibrohincador o martillo vibratorio hasta una profundidad tal que se contengan las paredes de la perforación en los primeros 4 m pudiéndose continuar ademandando con lodo bentonítico del nivel freático hasta el desplante requerido en la perforación.

El vibrohincador se basa en un principio muy simple:

$$T = \frac{P}{A}$$

T = Esfuerzo cortante

P = Peso o fuerza

A = Area

Si en la fórmula anterior el área "A" tiende a cero ("A → 0") el esfuerzo "T" tiende a infinito ("T → ∞"), y a parte la vibración que transmite el vibrohincador a la pieza por hincar, en este caso un tubo, hace que este último forme parte del mismo martillo vibratorio de tal suerte que la frecuencia del tubo es idéntica a la del vibrohincador, por lo tanto las partículas de subsuelo que envuelven al tubo se encuentran "flotando" reduciendo al mínimo el efecto de fricción entre el tubo y el subsuelo, con lo que todo el peso "P" del equipo vibratorio ("9 ton") más el peso del tubo se concentran en la parte inferior de éste, lo que hace que se introduzca en el subsuelo hasta que el material se compacte dentro del tubo formando un gran tapón, en este momento se suspende el vibrohincado para extraer dicho tapón y se repite la operación anterior hasta la profundidad que se desée.

El espesor de los tubos o camisas por hincar deben tener tantos centímetros como metros tenga su diámetro, así por ejemplo, un tubo de 1.20 m de diámetro tendrá un espesor de 1.2 cm y un tubo de 0.8 m de diámetro tendrá 0.8 cm de espesor.

El vibrohincador se alimenta de energía eléctrica y dependiendo de la marca y del tamaño deberá limitarse su operación - de acuerdo con el manual del fabricante, los cuales recomiendan no sobrepasar los 200 amp., ya que éste se vá incrementando a medida que el subsuelo es más compacto.

Por último, el manto freático nos revela el contenido de sales que hay en el subsuelo dando lugar a el uso de elementos químicos antifloculantes de lodo bentonítico si se trata de agua salada

da o bien a la utilización de cemento de aluminato tricálsico en el colado de piezas insitu; el aluminato tricálsico se usa para preservar la sanidad del armado en subsuelos cuyo nivel freático está contaminado por agentes que degraden el acero.

Para el hincado de pilotes en terrenos arenosos cuyo nivel freático se encuentra a una gran profundidad y por las razones anteriormente mencionadas sería imposible ademar con lodo bentonítico e ilógico utilizar camisas de acero, es necesario el uso de chiflón de agua, pues éste dá resultados muy positivos.

El chiflón de agua consiste en una bomba con una presión mínima de 7 atm ("1 atm = 1 kg/cm<sup>2</sup>") y un gasto "Q" de 100 o 125 m<sup>3</sup>/h.

La tubería del chiflón es de PVC y ésta es instalada en el eje longitudinal del pilote; la boquilla de entrada de esta tubería es de 2" de diámetro y la boquilla de salida ("En la punta - del pilote") es de 1" de diámetro.

Es necesario que en el hincado de pilotes con chiflón el suministro de agua sea constante durante todo el proceso de hincado, ya que si se suspende instantáneamente, el flujo de agua se invierte hacia dentro de la tubería arrastrando material del subsuelo provocando así que quede inutilizado el chiflón y probablemente no se logre hincar el pilote a la profundidad deseada.

Por la razón anterior los pilotes hincados con chiflón - deben de ser de una sola pieza.

Otro enemigo del chiflón es la presencia de estratos cohesivos intercalados en el subsuelo por hincar, ya que al pretender atravesarlos se corre el peligro que se taponé.

"NUMERO DE GOLPES EN LA PENETRACION ESTANDAR"

Para el ingeniero constructor de una cimentación profunda el sondeo de penetración estándar no es otra cosa que el registro de hincado de un pilote a menor escala, por lo tanto este dato nos va a permitir seleccionar el equipo más idóneo.

Como ya en los temas pasados se había explicado, se debe partir de la idea que un pilote es un elemento estructural diseñado para transmitir una carga, ya sea al subsuelo que lo envuelve, al estrato donde se apoya o a ambos; con lo anterior se entiende que el pilote es un elemento de carga y no una herramienta para romper los estratos del subsuelo, de esta idea parte la necesidad de interpretar la resistencia a la penetración estándar de una determinada estratigrafía.

Si se tiene por ejemplo un estrato constituido por material cohesivo, el cual acusa 20 golpes en el sondeo de penetración estándar difícilmente será atravesado por un pilote mediante golpes de martillo; asimismo un estrato no cohesivo con 10 golpes que registre en su penetración estándar presentará resistencia para ser atravesado; si se pretendiera atravesar con un pilote un estrato con las características anteriormente mencionadas se pondría en peligro la sanidad del pilote, esto se debe a la compactación que se produce en este tipo de estratos durante el proceso de hincado pues al ejercer una acción dinámica aumenta incrementalmente la resistencia a la penetración en todo el material que circunda al pilote, inclusive este sistema de compactación se utiliza muy a menudo en subsuelos no cohesivos.

El sondeo de penetración estándar permite prever con claridad los problemas que se pueden presentar en la construcción de una cimentación profunda y es así como se define el equipo a usar, ya sea el martillo, si se va a requerir de una perforación previa antes de hincar un ademe metálico o un pilote, o si con un chiflón de agua es posible perforar la estratigrafía.

La selección de un martillo para hincar un pilote obedece a la necesidad de dejarlo perfectamente apoyado en su cota de desplante y también obedece a la necesidad de suministrar la energía dinámica adecuada para atravesar pequeñas lentes que aún cuando sean resistentes no ponen en peligro la calidad del pilote.

La experiencia indica que un pilote podrá ser hincado con un martillo que genere una energía potencial de 0.3 a 0.5 kg m por cada kilogramo de pilote por hincar, como esta energía se podría obtener con una masa pequeña dejada caer de una gran altura ocasionaría que en su impacto en la cabeza del pilote se rompería al no poderse transmitir toda la energía través de todo el pilote, para aclarar un poco más el fenómeno, pensando que una bala fuera capaz de producir en la cabeza del pilote la energía especificada, debido a su pequeña masa ocasionaría que en el impacto se destruyera una mínima porción del pilote disipando su energía a poca profundidad del choque, por la razón anterior se especifica que la energía para el hincado de un pilote se debe dar con una altura de caída máxima de un metro si se utiliza un martillo de caída libre.

Actualmente se han diseñado martillos de combustión interna y la energía liberada equivale a la que generaría un martillo de caída libre a una altura de entre 2.5 a 3 m.

A continuación se muestra la fórmula que se utiliza para determinar el peso de la masa golpeante y a consecuencia el martillo.

$$R = \frac{W_p * E_{pp}}{h} \quad (\text{EC. 27})$$

Donde:

- R = Peso de la masa de golpeo
- $W_p$  = Peso del pilote
- $E_{pp}$  = Energía potencial requerida por cada kg de pilote (0.3 a 0.5 kg-m)
- h = Altura de caída del pistón del martillo (2.5 m).



Como se dijo anteriormente, el sondeo de penetración estándar nos va a detectar si se requiere o no hacer perforaciones -- previas al hincado de un pilote, por tal motivo se tendrá buen cuidado en conjugar el equipo de acuerdo a la información que se tenga.

#### "DESCRIPCION DE LOS DIFERENTES ESTRATOS"

En el estudio del subsuelo para describir las diferentes capas o estratos del mismo, se acostumbra nombrar el material que -- más abunda seguido del o los que menos predominan, así por ejemplo, se dice que un estrato es areno-arcilloso cuando el material que -- predomina es la arena, si se tiene un estrato arcilloarenolimoso -- quiere decir que el material que predomina es la arcilla en seguida la arena y el que se encuentra en menor calidad es el limo.

El tener conocimiento de los materiales que conforman el subsuelo es muy importante pues al correlacionarlo con el número de golpes en el sondeo de penetración estándar se determina la necesidad de hacer perforación previa en el hincado de pilotes, por ejemplo, si el número de golpes es de 10 y no se consulta la descripción del estrato se podría incurrir en el error de tratar traspasar un -- material arenoso ("no cohesivo") con un pilote sin antes haber hecho una perforación previa, de aquí la necesidad de manejar esta información adecuadamente.

Por otra parte, para seleccionar la herramienta de perforación ("botes o brocas") va sea para la hincada de pilotes o fabricación de oílas, varían radicalmente si se tratan de suelos cohesivos o no.

Los botes que se usan para material cohesivo son abiertos para facilitar su limpieza, ya que éste se adhiere fuertemente, así mismo, las brocas son con espirales inclinadas a 30° y de doble ataque; en cambio los botes para subsuelos no cohesivos son cerrados -- para evitar que se salga el material y las espirales de las brocas son sensiblemente horizontales, pudiendo ser de ataque sencillo o -- doble.

El uso de brocas en material no cohesivo sin manto freático son ideales, ya que se obtienen grandes rendimientos, en cambio es ineficaz usar brocas bajo el nivel freático, en este caso lo más recomendable es usar un bote.

Tratándose de material cohesivo lo más recomendable es el uso de broca por la facilidad de limpieza, sin embargo se usa el bote cuando se trata de material cohesivo poco consistente.

#### "CONTENIDO DE HUMEDAD"

Esta información nos va a permitir conocer el estado en que se encuentra el subsuelo, pues conociendo los límites líquido y plástico podemos modificar de acuerdo con nuestras necesidades el contenido de humedad, ya sea suministrando agua o bombeándola.

Tratar de suministrar agua al subsuelo es para que éste alcance su límite líquido y así permite reducir esfuerzos en el equipo de perforación.

Reducir el contenido de agua natural del subsuelo es para que éste alcance su límite plástico y así permita hacer perforaciones más estables.

#### "LIMITES DE ATHERBER"

Los límites de Atherberg se refieren a la cantidad de agua que requiere un subsuelo para alcanzar sus límites líquido y plástico.

A la diferencia que hay entre los porcentajes del contenido de agua para llegar al límite líquido y límite plástico se le conoce como índice de plasticidad.

Aunque esto ya había sido explicado en los temas anteriores, es necesario tenerlo presente en este capítulo, ya que así nos

va a ayudar a determinar la necesidad de utilizar ademes para las perforaciones, por ejemplo, si en un sondeo tenemos que el límite líquido coincide con el límite plástico, su índice de plasticidad va a ser igual a cero y seguramente se trata de un subsuelo no cohesivo y por lo tanto habrá necesidad de usar algún tipo de ademe si se requiere perforar, en cambio, si se trata de un material en don de el índice plástico tiene algún valor podrá hacerse perforación sin ademar, se deberá definir el tipo de ademe dependiendo de los diferentes índices de plasticidad del subsuelo por perforar.

"APLICACION REAL DE LOS CONOCIMIENTOS MENCIONADOS"

IV.- "APLICACION REAL DE LOS CONOCIMIENTOS MENCIONADOS"  
HOSPITAL REGIONAL DE PEMEX DE VILLAHERMOSA, TABASCO.

Petróleos Mexicanos decidió construir un hospital para sus empleados en la Cd. de Villahermosa, Tabasco, después de haber hecho todos los estudios preliminares, se concluyó que dicha construcción requeriría de una cimentación profunda.

Tomando como base los sondeos de dicha zona se podía decir que la solución más conveniente era construir una cimentación profunda a base de pilotes, pues las características del subsuelo indican que la fabricación de elementos precolados e hincados dinámicamente no presentaría ningún problema, sin embargo se decidió que dicha cimentación se hiciera a base de pilas, ya que adyacente a la obra se encontraba un hospital en funcionamiento argumentándose que el hincado de pilotes produciría molestias a los internos.

Los estudios de mecánica de suelos que sirvieron como base para el diseño de las pilas no fué posible anexarlo a este trabajo - debido a que las fotocopias proporcionadas por Petróleos Mexicanos - no eran muy nítidas, pero cabe resaltar lo siguiente:

El manto freático se encontraba a -1.5 m, lo que hacía que la plataforma de trabajo fuera muy inestable, afortunadamente el terreno era un estacionamiento, el cual estaba cubierto por una losa - de concreto de unos 10 cm de espesor, no obstante los ejes "6x" y -- "7x" se encontraban en una zona donde no estaba cubierta por dicha - losa, en esta porción del terreno fué necesario hacer una plataforma

mediante cascajo y desperdicio de concreto, ya que el equipo corría peligro de atascamientos y/o volteos.

El subsuelo estaba constituido en su totalidad por material cohesivo ("arcillas y limos") con un alto contenido de agua llegando hasta 274% entre los -10 y -12 m después de los -13 m el contenido de agua oscilaba entre 50 y 134%, debido a estas circunstancias era evidente que la perforación corría el peligro de no poderse mantener estable por sí sola e inclusive ésta podía cerrarse, además tomando en cuenta que el límite plástico estaba entre el 20 y el 60% - no podía pensarse en bombear agua para que el contenido de agua quedara en el intervalo del índice plástico y así los materiales del subsuelo fueran de consistencia más plástica y por lo tanto más estables, ya que esta maniobra resultaría muy costosa, pues el volumen de agua por extraer sería muy grande.

Después de un estudio económico se decidió utilizar un ademe mixto en donde los 15 primeros metros de perforación se ademaron con una camisa de acero perdida y el resto con lodos bentoníticos, - cuya dosificación se hizo al 15%, esto es que por cada 1000 kg de agua se pondrían 3 sacos de bentonita de 50 kg cada uno.

Para la selección del tipo de perforadora se tuvo que tomar en cuenta lo siguiente:

1.- En algunos estratos el contenido de agua era del 30% lo que hacía al terreno muy chicloso y por lo tanto muy difícil de perforar, ya que en estas zonas tenían que hacerse perforaciones batidas.

2.- La pila de mayor diámetro era de 1.2 m y tomando en cuenta que las perforaciones tenían que llegar a -26 m era necesario una perforadora con un torque de 10,500 kg-m.

3.- El terreno de trabajo era muy pequeño, por lo tanto era necesario evitar el exceso de maquinaria.

En un principio se había pensado en una perforadora RTA -- montada sobre camión y en una grúa Link-Belt LS-98, la cual serviría como nodriza, es decir, para izar ademes, castillos y lanzar el tubo tremie, ya que de esta forma se tendría un rendimiento muy eficiente pero debido al tamaño del área de trabajo se tuvo que idear la forma de reducir todo a un solo equipo, el cual hiciera las veces de nodriza y simultáneamente hiciera las veces de perforadora, por lo anterior se seleccionó una perforadora RTC-5 de barretón montada sobre grúa, la cual tiene un torque máximo de 10,500 kg-m, hace perforaciones hasta 42 m de profundidad, el peso del barretón es de 4 ton y -- tiene un dispositivo Pull-Down de 16 ton, la potencia de su motor es de 78 hp, lo que permite hacer perforaciones batidas; esta perforadora fué montada sobre una grúa Link-Belt LS-108 montada sobre orugas, con una pluma de 21 m de longitud y por lo tanto con una capacidad de carga de 23.54 ton con la pluma a 80° y con las orugas extendidas.

Como se había mencionado anteriormente el material del subsuelo en algunas zonas tenía una consistencia muy chiclosa y pegajosa, por lo que se tuvo que utilizar botes abiertos para que de esta forma la limpieza de estos se hiciera rápidamente y además a estos se le instalaron dientes de ataque para poder desgarrar y romper la estructura del subsuelo con facilidad.

En algunas ocasiones el subsuelo tenía una consistencia -- tal que el bote no podía traspasarlo, ya que con el peso del barretón y el dispositivo Pull-Down éste se compactaba, para tal efecto se -- usaron brocas de diferentes diámetros para romper poco a poco la estructura del subsuelo mediante perforaciones batidas, las brocas --- eran de doble ataque con dientes instalados y con una inclinación en las aspas de 30° para facilitar su limpieza.

Para evitar que la grúa trabajara arriba de su capacidad - ("23.54 ton") fue necesario instalar unas rimas en los puntos tangenciales de los diámetros, tanto de botes como de brocas, esto es por que si se metiera alguna herramienta de ataque sin dichas rimas a la

hora de extraerla se haría un vacío entre el piso de la perforación y la herramienta y tomando en cuenta el peso del barretón, el peso del material por extraer, la fricción de la herramienta con las paredes de la perforación y a todo esto se le adiciona la succión propiciada por el vacío antes mencionado se pondría en peligro tanto el cable de levante como a la grúa misma.

La obra llegó a feliz termino en un lapso de tiempo de 75 días calendario, cabe aclarar que ésta pudo haberse hecho en 38 días pero el equipo se redujo a una sólo máquina y además se suscitaron -- muchos imprevistos, los cuales se resolvieron sobre la marcha.



CONCLUSION:

El hombre sólo puede cambiar a su conveniencia lo que él mismo ha creado, pero de ninguna manera puede modificar a la naturaleza, de lo anterior podemos decir que el hombre se aviene a las condiciones que el medio le impone mediante artificios, los cuales son producto de su creatividad.

Esta creatividad ha sido la clave para adaptarse con gran rapidez y facilidad a casi cualquier medio, pues para él le dá lo mismo desarrollarse en los polos que en el más cálido de los desiertos.

En la especialidad de la cimentación profunda el ingeniero hace modificaciones a la maquinaria de tal manera que pueda tratar una determinada estratigrafía, es decir, adapta el equipo al subsuelo para así obtener resultados satisfactorios.

A pesar de que el ingeniero cimentador contempla el estudio detallado de la estratigrafía del subsuelo, para así seleccionar el equipo más idóneo, es preciso llegar al campo y estudiar el comportamiento del subsuelo ante la acción de la maquinaria y viceversa para así hacer los ajustes necesarios y lograr un rendimiento óptimo y seguro.

Como en la naturaleza el subsuelo se presenta de muy diversas formas, sería imposible hacer un cuadro sinóptico mediante el cual nos indicara con exactitud qué equipo usar en cada caso de cimentación.

Hasta la fecha en el mundo de la construcción, difícilmente se ha registrado un caso en donde se hagan dos obras idénticas; cada obra tiene sus propios problemas y éstos se presentan cuando -- uno menos se lo espera y aquí es donde la habilidad del ingeniero cimentador cumple su mejor papel sobra la marcha.

Muchos problemas de ingeniería se han resuelto a través de modelos como es el caso de las obras hidráulicas y de algunas estructuras, sin embargo este sistema no se puede aplicar en la solución - de los problemas de cimentación profunda y esto se debe básicamente a:

a) Los componentes del subsuelo son constantes, o sea, -- que su escala siempre será 1:1, por ejemplo, una arcilla seguirá --- siendo arcilla en cualquier dimensión, y

b) A manera semejante del caso anterior el agua se comporta igual y el fenómeno de la capilaridad impide hacer conclusiones en un subsuelo si tratáramos de resolver una cimentación a base de modelos.

Por lo tanto, el aservo técnico de un cimentador es su constante observación de los problemas que vaya resolviendo de ahí que -- los ingenieros cimentadores deben de apoyarse en su experiencia y si a caso consultar resultados de obras similares entre sí para poder definir equipos y procedimientos de construcción quedando advertidos de que la nueva obra por ejecutar seguramente tendrá nuevos problemas a resolver.

Con lo anterior se concluye que para poder seleccionar el - equipo de cimentación profunda y el procedimiento de construcción, -- hay que partir de la base de que:

- 1.- Ninguna obra es exactamente igual a otra.
- 2.- Jamás hay que ignorar a la experiencia.
- 3.- Los modelos en cimentación profunda son a escala 1:1.

BIBLIOGRAFIA:

1.- "Mecánica de Suelos", tomo I, Juárez Badillo y Rico Rodríguez, Editorial Limusa, Tercera Edición, México 1975, Págs.: - 51 a 58, 97 a 101, 127 y 128, 150 a 152, 382 a 389.

2.- "Mecánica de Suelos", Tomo II, Juárez Badillo y Rico Rodríguez, Editorial Limusa, Segunda Edición, México 1979, Pág.: 459.

3.- "Introducción a la Mecánica de Suelos y Cimentaciones", George B. Sowers y George F. Sowers, Editorial Limusa, Tercera Edición, México 1980, Págs.: 23 a 31, 51 a 95, 184 a 195, 337 a 44, 352 y 353, 368 a 373.

4.- Borradores del "Manual para el Ingeniero Residente de Cimentación Profunda", Grupo de cimentación profunda de la C.N. I.C., México 1986, coordinador Ing. Roberto Avelar López, Págs.: - 1 a 9, 16 a 31.

5.- "Diseño de Cimentaciones de Concreto", Tema: Investigación de los suelos, Ing. Luis Montañez Cartaxo, apuntes. México 1982, págs.: 1 a 7.

6.- "Diseño de Cimientos de Concreto", Tema: Determinación de las propiedades del suelo, Ing. Luis Montañez Cartaxo, --- apuntes. México 1982, págs.: 1 a 29.

7.- "V Reunión Nacional de Mecánica de Suelos", sociedad de Mecánica de Suelos, Tomo I y II, Litográfica Ingramex, S.A. Primera Edición, México 1970, Pág.:I-67.

8.- "Cimientos Profundos Colados en Sitio", Reunión conjunta ADSC-SMMS, Editorial Guillermo Springall Cáram, Primera Edición, México 1976, Págs.: 2 a 4.

9.- "Revista Mexicana de la Construcción", No. 374, Diciembre de 1985, Órgano oficial de la Cámara Nacional de la Industria de la Construcción, Director de la revista. Ing. Jorge Pérez Montaña, Págs.: 34 a 36.

10.- "Revista Mexicana de la Construcción", No. 350, Diciembre de 1983, Órgano oficial de la Cámara Nacional de la Industria de la Construcción, Director de la revista: Ing. Eduardo Madrugal Victoria, Págs.: 35 a 37.

11.- Apuntes de Geotecnia I Y II, de la carrera de Ingeniería civil de la Universidad La Salle.

12.- Folletos:

Grúas Link-Belt  
Perforadoras Soil-Mec  
Martillos Delmag  
Martillos Hammers.