

31
2 Ely



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DIVISION DE INGENIERIA CIVIL,
TOPOGRAFICA Y GEODESICA

Excavaciones y Cimentaciones
en Edificación

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A

Cruz Sosa Jerónimo Emiliano



México, D. F.

Junio 1985



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.

INDICE

	Página
- INTRODUCCION.....	3
I.- <u>CLASIFICACION DE LOS TERRENOS Y CARACTERIS- TICAS. ABUNDAMIENTO. TALUD NATURAL</u>	5
I.1.- CONOCIMIENTO DEL PROYECTO.....	5
I.2.- CLASIFICACION DE LOS TERRENOS.....	7
I.3.- ABUNDAMIENTO.....	13
I.4.- TALUD NATURAL.....	14
II.- <u>PROCEDIMIENTOS PARA EL ABATIMIENTO DEL NIVEL FREATICO</u>	23
II.1.- TIPOS DE PROCEDIMIENTOS.....	23
II.2.- METODOS DE DRENAJE.....	26
II.3.- METODOS DE IMPERMEABILIZACION.....	36
III.- <u>DIVERSOS TIPOS DE CIMENTACIONES</u>	46
III.1.- TIPOS EXISTENTES.....	46
III.2.- CIMENTACIONES SUPERFICIALES.....	47
III.3.- CIMENTACIONES PROFUNDAS.....	51
III.4.- CIMENTACIONES COMBINADAS.....	55
IV.- <u>APUNTALAMIENTOS Y ADEMES</u>	59
IV.1.- CARACTERISTICAS.....	59
IV.2.- METODOS PARA EXCAVACIONES ANGOSTAS Y POCO PROFUNDAS.....	61
IV.3.- METODOS PARA EXCAVACIONES ANGOSTAS Y PROFUNDAS.....	64
IV.4.- METODOS EN EXCAVACIONES ANCHAS Y PROFUNDAS.....	67
IV.5.- CASOS ESPECIALES DE APUNTALAMIENTO.....	70

	Página
V.- <u>PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCION. MAQUINARIA Y EQUIPO.</u>	80
V.1.- METODOS DE EXCAVACION.....	80
V.2.- CONSTRUCCION DE CIMENTACIONES.....	83
V.3.- MAQUINARIA Y EQUIPO.....	93
V.4.- EJEMPLOS DE CARGOS UNITARIOS.....	103
VI.- <u>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</u>	104
- BIBLIOGRAFIA.....	106
- ANEXOS	

- I N T R O D U C C I O N

El objetivo del presente trabajo es proporcionar un criterio general para DETERMINAR EL PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION ADECUADO, DESDE EL PUNTO DE VISTA ECONOMICO, EN CIMENTACIONES PARA EDIFICACIONES.

Entendiéndose por económico el que la Cimentación reúna las siguientes características.

- . Menor Costo Posible.
- . Funcionalidad.
- . Seguridad.

Para alcanzar dicho objetivo se analizan las fases principales que intervienen en la solución de un problema de cimentación de un edificio; como son:

. Conocimiento del Proyecto.- Magnitud, distribución y forma de transmisión de las cargas de la superestructura.

. Conocimiento del Terreno.- Principales características mecánicas del suelo de apoyo, problemas durante la excavación.

. Tipo de Cimentación.- Seleccionar el tipo de cimentación más apropiado de acuerdo a las cargas esperadas y al tipo de terreno.

. Procedimiento de Construcción.- Proponer el equipo y maquinaria específicos para el tipo de cimentación seleccionada.

Asimismo, se complementa el análisis con un estudio más detallado de los aspectos principales que intervienen en el -

proceso constructivo de la cimentación, como son: Abundamiento, Talud, Abatimiento del Nivel Freático, Apuntalamientos y Ademes.

El estudio no pretende profundizar en problemas específicos sobre diseño de cimentaciones. Para ésto existe gran cantidad de literatura, textos, de calidad reconocida. Más bien se trata de dar una visión general del proceso de solución que debe seguirse en el arte de cimentar un edificio . . .

I.- CLASIFICACION DE LOS TERRENOS Y CARACTERISTICAS.
ABUNDAMIENTO. TALUD NATURAL.

I.1.- CONOCIMIENTO DEL PROYECTO.

Existen dos aspectos principales a considerar en el -
diseño para la cimentación de un edificio:

- . La estructura que se pretende construir.
- . El suelo de apoyo.

Para resolver en forma conveniente el problema es ne
cesario tomar en cuenta estos dos aspectos, así como los fac-
tores que más influyan en ellos.

Los factores que determinan el comportamiento mecáni-
co de la estructura son:

a) Módulo de Elasticidad -E-.(*) Representa la natura
leza del material, así por ejemplo se dice que el concreto sim
ple tiene una E del orden de $10\ 000\ (f'c)^{\frac{1}{2}}\text{kg./cm.}^2$, mientras -
que el acero tiene una E del orden de $2.1 \times 10^6\text{kg./cm.}^2$. Luc-
go pues, puede afirmarse que en el caso de que todas las demás
características de estos dos materiales se mantengan constan-
tes, el concreto simple es más deformable que el acero.

b) Momento de Inercia -I-. Interviene en el comporta
miento mecánico de la estructura relacionando la dimensión con
la forma de la sección transversal de cada elemento estructu-
ral. Considera, además, la dirección de aplicación de las car-
gas de tal manera, que a mayor momento de inercia, mayor rigi-
dez.

(*).- E es la relación esfuerzo/deformación, en el rango elás-
tico.

c) Longitud -L-. Es la longitud del elemento estructural, interviene en la rigidez estructural de tal modo que a mayor L, menor rigidez.

La teoría de la Elasticidad nos indica que los factores anteriores están relacionados según la expresión $\lambda EI/L^X$, (Módulo de Rigidez) en donde λ es un coeficiente adimensional y X un exponente mayor que 1.

Haciendo intervenir este módulo de rigidez de manera que logremos generar distribuciones de carga convenientes, no necesariamente uniformes, podemos diseñar la estructura de la edificación. Y consecuentemente obtener la "Bajada de Cargas" para cuantificar la distribución y magnitud de la carga a que estará sometido nuestro conjunto cimentación-suelo.

Las formas más comunes para estructurar un edificio -son:

- . Muros de Carga -hasta 6 u 8 pisos-.
- . Marcos alojados en dos direcciones ortogonales.
- . Marcos con muros de cortante.
- . Marcos con muros de cortante y trabes de granperalte en algunos pisos.
- . Tubular -más de 40 pisos-.
- . Escalonados.

Donde se observa que, para todas las formas, las cargas de la superestructura se transmiten a la cimentación por medio de:

- . Columnas.
- . Muros de Carga.
- . Columnas y Muros de Carga.

Una vez determinadas la Magnitud, Distribución y Forma de Transmisión de las cargas de la estructura a la cimentación, el ingeniero civil pasará a analizar el aspecto referente al terreno.

-Conviene mencionar antes, que una de las tendencias actuales, es considerar las deformaciones que aparecen en el suelo (hundimientos básicamente) relacionándolas con la influencia de las cargas transmitidas y la rigidez estructural, aplicando las teorías de Mecánica de Suelos y Análisis Estructural. Sin embargo, este procedimiento implica manejar varias variables, lo que obliga a que el cálculo se haga con computadora, usando un programa; requiere conjuntar los conocimientos de Mecánica de Suelos, Análisis Estructural y Computación; lo cual cae fuera del alcance y objetivo del presente trabajo.

I.2.- CLASIFICACION DE LOS TERRENOS

Conocer el terreno, de cualquier manera, es algo que se requiere siempre para cualquier obra de Edificación. La investigación puede ser desde un simple examen superficial, con o sin pozos a cielo abierto, hasta un detallado estudio del comportamiento mecánico del suelo y del nivel de aguas freáticas a profundidades considerables, por medio de sondeos y pruebas en el terreno y en el laboratorio de las muestras obtenidas.

En México no es costumbre efectuar sondeos y llevar a cabo pruebas de terreno para casas-habitación de uno ó dos pisos, o edificaciones semejantes, puesto que por lo general se conocen suficientemente las profundidades de cimentación requeridas y las cargas soportadas. La información suficiente, en estos casos, se puede obtener por medio de algunos pozos peque

ños de prueba, o con perforaciones de barreno hechas a mano. - Sólo si se encuentran penosas condiciones de cimentación tales como estratos de turba o abundante material de relleno, se ría necesario realizar profundos sondeos, posiblemente complementados con pruebas de laboratorio.

Para estructuras pesadas, tales como edificios de un gran número de pisos, o plantas industriales, es necesaria una detallada investigación del suelo de apoyo, llevada a cabo por medio de sondeos profundos y pruebas de laboratorio de las - - muestras del terreno. Además de obtener la información para - el diseño estructural de la cimentación, proporcionan una serie de datos para conocer las condiciones del suelo y el nivel de aguas freáticas. De este modo el proyecto resultará económico, al estar fundamentado en un adecuado conocimiento previo de las condiciones del terreno.

Existen varios procedimientos por medio de los cuales el Ingeniero Civil puede conocer el terreno en cuanto a sus propiedades mecánicas. Puede utilizar peones para que efectuen pozos a cielo abierto o perforaciones hechas a mano. O bien puede emplear un contratista para que efectue sondeos y obtenga - muestras inalteradas que sean enviadas a un laboratorio de ensayo. Los datos de los sondeos y pruebas de laboratorio son entonces analizadas por el Ingeniero para poder efectuar el proyecto de cimentación.

Al interpretar los datos obtenidos, al ingeniero proyectista, le interesará principalmente definir la Capacidad de Carga del suelo y sus Asentamientos (hundimientos) durante la - vida útil de la edificación. Para el ingeniero constructor la característica fundamental a definir, es la dificultad de manejar el material del terreno durante el proceso constructivo.

Ambos ingenieros deberán tener una concepción razonablemente aproximada de las propiedades físicas del suelo que hayan de ser consideradas en su análisis.

Una concepción "razonablemente aproximada" de las propiedades mecánicas del suelo, la podemos obtener a través del llamado "Sistema Unificado de Clasificación de Suelos" -SUCS-. Este sistema está basado en propiedades físicas de los suelos, en forma cualitativa.

El SUCS divide a los suelos en gruesos y finos, distinguiendo ambos por el cribado, a través de la malla 200 - (0.074 mm. de diámetro de partículas); los suelos gruesos tienen partículas mayores que dicha malla y los finos menores. Un suelo se considera grueso si más del 50% de sus partículas son gruesas y fino si más de la mitad de sus partículas, en peso son finas.

En el Laboratorio de Mecánica de Suelos, se sigue - - este mismo sistema de clasificación, realizando las pruebas correspondientes (6). Sin embargo, es posible obtener un concepto general sobre el suelo, sin tener contacto con el laboratorio; de la manera siguiente:

Cribese una muestra de suelo; si más de la mitad del material es retenido en la malla 200, el suelo es Grueso. Si más de la mitad del material pasa la misma malla, el suelo es Fino. En caso de no contarse con la malla 200, se puede considerar que las partículas de 0.074 mm. de diámetro (malla 200) son aproximadamente las más pequeñas a simple vista. Un suelo grueso o fino se subdivide en:

(6).- Examen Visual, Granulometría y Límites de Consistencia.

a) Suelo Grueso.- Sí más de la mitad de la fracción gruesa es retenida en la malla 4, el suelo es Grava. Sí más de la mitad de la fracción gruesa pasa la malla 4 es Arena. En caso de no contarse con la malla 4, visualmente puede considerarse 1/2 cm. como equivalente a la abertura de la malla 4.

b) Suelo Fino.- Determinar el Límite Líquido -Ll- - utilizando la Copa de A. Casagrande y la Curva de Flujo. Sí es menor de 50% el suelo es de Baja Compresibilidad. Sí es mayor de 50% es de Alta Compresibilidad.

A la vez las gravas y arenas pueden dividirse de la siguiente manera:

Gravas.- Con poco o nada de partículas finas es Grava Limpia. Con una cantidad apreciable de partículas finas, - es Grava con Finos.

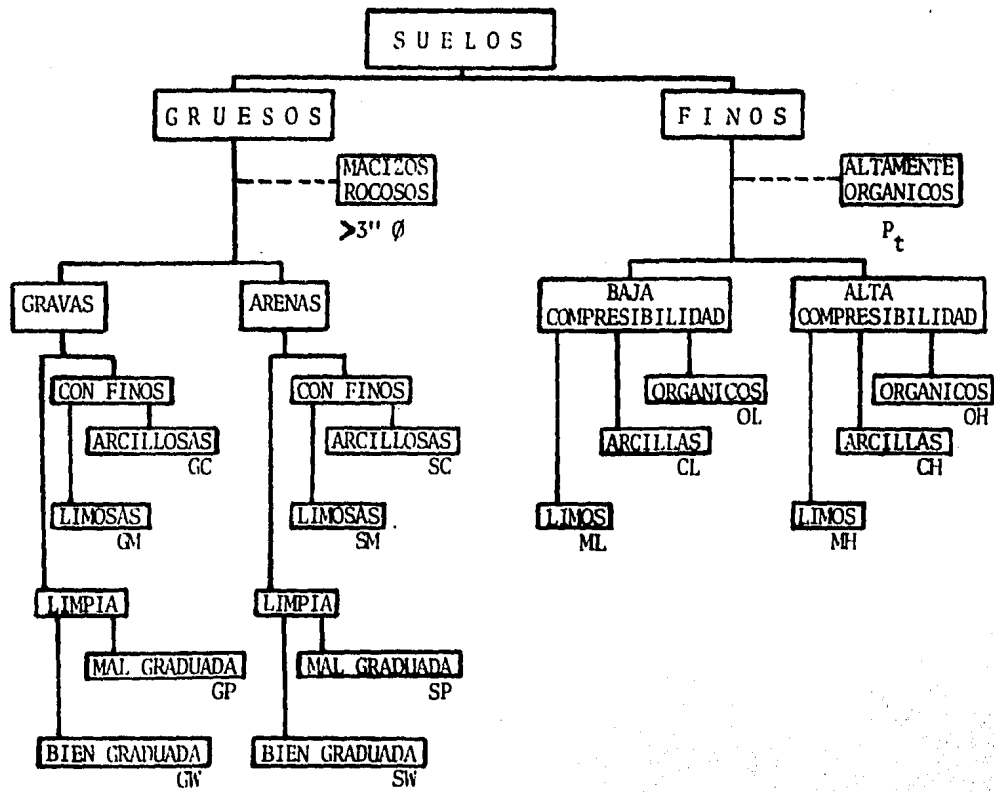
Arenas.- Con poco o nada de partículas finas es Arena Limpia. Con una cantidad apreciable de partículas finas, - es Arena con Finos.

Y los suelos de baja o alta compresibilidad en:

Suelo Fino de Baja Compresibilidad.- Se clasifican - en función de su Resistencia en Estado Seco(*), Dilatancia(*) y Tenacidad(*) en Limos, Arcillas y Suelos Orgánicos.

Suelo Fino de Alta Compresibilidad.- Se clasifican - en función de las mismas características anteriores, también - en Limos, Arcillas y Suelos Orgánicos.

(*).- Estas tres propiedades índice de un suelo también se pueden evaluar en campo, con los procedimientos indicados - por el mismo SUCS.



En resumen:

Por otra parte, el terreno también exige ser clasificado en función de la dificultad del manejo del material durante la excavación.

El manejo del material del terreno depende de su comportamiento mecánico, fundamentalmente de su resistencia. En México, es común aceptar la clasificación que divide al material en:

Tipo "A" ó "I".- "SUELO"

Tipo "B" ó "II".- "INTERMEDIO"

Tipo "C" ó "III".- "ROCA"

Así por ejemplo, en la práctica se dice que se tiene un material "100-0-0", lo que significa que se tiene un suelo puro. O bien un material "0-0-100", lo que determina un macizo rocoso.

De esta clasificación, conviene destacar el problema que se presenta en el material intermedio, cuya clasificación y cuantificación no es fácil. Si tenemos, por ejemplo, un material "10-40-50", bien podría clasificarse variando el 40. En la práctica la clasificación se hace teniendo en cuenta la forma óptima en que se puede atacar el material durante la excavación.

Así se dice que un material "C", es aquel que debe atacarse con explosivos, mientras que el "A" se puede atacar con pico y pala y el "B" se establece que puede atacarse fácilmente con un equipo de determinadas características.

I.3.- ABUNDAMIENTO

Ya definidos el tipo de material y la forma de atacarlo durante la excavación, es muy importante conocer su peso y expansión volumétricas; con el fin de poder calcular eficientemente el rendimiento de los equipos a utilizar en la extracción, carga y acarreo del material.

El peso volumétrico del material es el peso del mismo por unidad de volumen (m^3). Es fácil cuantificarlo, de su conocimiento se afecta la capacidad de carga, velocidad y potencia del equipo de excavación.

Debe considerarse el material a extraer con su contenido de agua natural y en estado suelto.

La Expansión Volumétrica o Abundancia es el incremento del volumen del material extraído en la excavación, cuando el material es movido de su estado natural. Se debe principalmente a la disminución de la relación de vacíos (e) del suelo por la disgregación de las partículas.

Así tenemos, por ejemplo, que un metro cúbico de arcilla medianamente compacta en estado natural, es igual a 1.3 metros cúbicos en estado suelto.

Para determinar la expansión que sufrirá cierto material afectamos al volumen del material a extraer en estado natural (sin excavar) por el Coeficiente de Abundamiento que es la relación:

$$CA = \frac{\text{Volumen Abundado}}{\text{Volumen en el Banco}}$$

Existen tablas empíricas para los suelos más comunes. Aunque en la práctica constructiva es frecuente recurrir a los siguientes valores:

TIPO DE MATERIAL	COEFICIENTE DE ABUNDAMIENTO
"A"	1.2
"B"	1.3
"C"	1.5
SUELTO	1.0

I.4.- TALUD NATURAL

Los taludes constituyen una de las estructuras ingenieriles que exigen mayor cuidado, debido a que su falla trae consecuencias de primer orden.

Un talud es una superficie, inclinada respecto a la horizontal, que adopta una superficie de tierra; ya sea en forma artificial -como en cortes adomados o apuntalados- o natural -cortes sin adomar, terraplenes y laderas-. Pueden ser de dos tipos, según su vida útil:

- . Permanentes.
- . Temporales.

Los taludes permanentes tienen gran aplicación en la construcción de vías terrestres y exigen un mayor cuidado por parte del proyectista, quien analizará el problema empleando el método más adecuado de Estabilidad de Taludes que proporciona la Mecánica de Suelos.

El talud temporal se utiliza generalmente en excavaciones para Edificación, los cortes realizados tienen como fin

dar cabidad en estratos inferiores al personal, equipo y material que intervienen en la construcción de la estructura de cimentación. Siendo finalmente sustituido el material extraído por la cimentación misma.

Generalmente las excavaciones se inician con un corte vertical. Algunos suelos se mantienen estables hasta profundidades considerables cuando se cortan verticalmente; pero la mayoría se desploma. Cuando los taludes verticales se desploman hasta un ángulo estable, grandes bloques de material pueden caer al fondo de la excavación, originando serios peligros para el equipo y principalmente para los obreros.

En general; en los suelos gruesos (Gravas y Arenas) el suelo tenderá a deslizarse y desplomarse durante la excavación. Por lo común, éste se estabiliza a un determinado ángulo de reposo ϕ , sin riesgos importantes.

No obstante, los suelos finos (Limos, Arcillas, Arenas Limosas, Arenas Arcillosas) se excavan a veces hasta profundidades considerables, antes de que los grandes bloques de material se deslicen hasta el fondo. Creando peligrosos latentes para el equipo que se localiza en el fondo de la excavación.

Es posible calcular el ángulo al que puede esperarse que se mantenga el talud temporalmente, evitando tales peligros.

En la siguiente tabla(6) se presentan algunos ángulos aproximados y empíricos.

TIPO DE SUELO	ANGULO DE INCLINACION TEMPORAL ϕ
1.- Arena o arena y gravas	TERRENOS SECOS: 35° ($1\frac{1}{2}$ a 1) TERRENOS MOJADOS: 45° (1 a 1) TERRENOS HUMEDOS: 35° a 45°
2.- Arena cementada	H HASTA 3 mts: 90° (VERTICAL) H DE 3 a 6 mts: 64° ($\frac{1}{2}$ a 1) H MAS DE 6 mts: 53° ($3/4$ a 1)
3.- Limo blando o arcilla blanda	H HASTA 1 m: 90° (VERTICAL) H DE 1 a 1.80 m: 64° ($\frac{1}{2}$ a 1) H DE 1.80 a 3 m: 53° ($3/4$ a 1) H MAS DE 3 m: 35° ($1\frac{1}{2}$ a 1) HUMEDOS : DE $3/4$ a 1 HASTA 4 a 1
4.- Limo o arcilla moderadamente firme	H HASTA 1.80 m: 90° (VERTICAL) H DE 1.80 a 3 m: 64° ($\frac{1}{2}$ a 1) H DE 3 a 9 m: 53° ($3/4$ a 1) H MAS DE 9 m: 45° (1 a 1) MOJADOS: MENOS DE 45°
5.- Limo o arcilla firme	H HASTA 3 m: 90° (VERTICAL) H DE 3 a 6 m: 64° ($\frac{1}{2}$ a 1) H DE 6 a 9 m: 53° ($3/4$ a 1) H MAS DE 9 m: 45° (1 a 1)



(6).- Según Tomlison M.J.

Puede ser que el talud, aún cuando se haya excavado con el ángulo ϕ adecuado comience a desplomarse, conviene entonces estabilizarle para evitar ésto. El método más evidente de estabilización, consiste en disminuir su pendiente. Cuando no haya espacio para tender un talud, se necesitará - tomar alguna otra medida. Es conveniente que esas medidas - se tomen antes de iniciar una excavación o antes de que se - haya avanzado demasiado.

Los métodos de estabilización más comunes son:

- A.- Drenaje
- B.- Cubierta de Gunite(*)
- C.- Productos Químicos

A.- Drenaje: en muchos casos la extracción de agua muy atrás de las pendientes, utilizando pozos de bombeo (G), hace aumentar la estabilidad.

B.- Cubierta de Gunite: si la ladera o talud no tiene una pendiente excesiva, una cubierta de gunite retendrá - la humedad del suelo y agregará cierta resistencia.

C.- Productos Químicos: cuando es necesario cortar los taludes muy inclinados en zonas con grandes limitaciones de espacio, es posible estabilizar algunos suelos, inyectándoles productos químicos como Silicato de Sodio, Lignum Cromo y AM9 (gel rígido). En general los compuestos químicos se mezclan en grandes depósitos y luego se transportan mediante un sistema de mangueras a una bomba que introduce el líquido al terreno, a presión, -alrededor de 20 lb/pulg².-

(G).- Como Pozos Punta o Electrosmóticos.

(*).- Gunite es una mezcla arena-cemento seca.

Una vez hecho el talud es frecuente encontrarse con situaciones problemáticas, como:

- A.- Erosión
- B.- Agrictamiento
- C.- Cargas en la parte superior
- D.- Protección del fondo
- E.- Corte Vertical
- F.- Detección de falla
- G.- Abatimiento del Nivel Freático

A.- Erosión.- Los taludes excavados no tienen ningún recubrimiento y ninguna protección natural, por lo que son muy susceptibles a la erosión, principalmente, por fuertes lluvias.

Es esencial controlar la cantidad de agua que puede correr sobre el talud. Esto se puede hacer mediante la construcción de un dique o una barrera en la parte superior del talud, que desvíe el agua y no corra ésta sobre la pendiente o el fondo del talud.

Antes de lluvias inminentes, el frente de la excavación se puede proteger cubriéndolo con materiales plásticos, o bien, rociándolo con varios materiales impermeables. El silicato de sodio es uno de los materiales más comunes. Este material se puede inyectar o bien rociar sobre la superficie del talud. Los materiales o productos químicos deben ser muy fluidos, debido a que es preciso que circulen a través del suelo. La finalidad de este tipo de inyección, no es desplazar al suelo. En lugar de ello, estos compuestos químicos fluyen en torno a los granos de suelo, se endurecen o se solidifican y se sujetan a los granos de suelo. Tienden a cementar el suelo y, algunos de ellos, después de su solidificación, son muy duros.

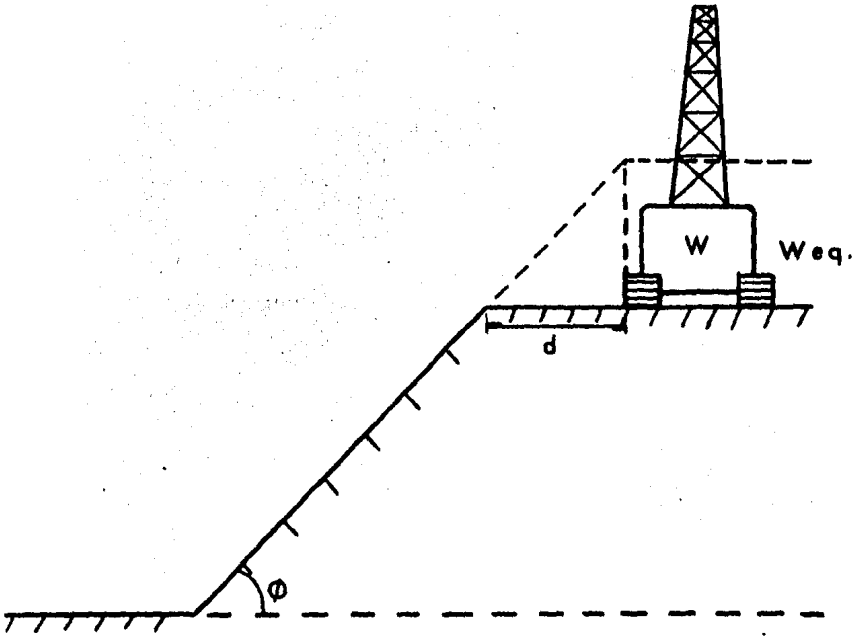
B.- Agrietamiento.- En pendientes que tienden a la vertical el agrietamiento es un problema grave. Como resultado de la desecación en el suelo aparecerán grietas que a cierta profundidad pueden hacer que se deslicen grandes bloques de material, se desmoronen o desplomen.

Los taludes agrietados por desecación, al colocar la cimentación y rellenar la excavación, pueden volver a moverse. En estas condiciones el suelo se dilatará y quizá resquebrajará muros o losas de concreto situados en contacto con el talud.

Limitando la evaporación de agua, limitamos también la desecación y por tanto el agrietamiento, esto se puede hacer rociando con agua periódicamente el talud o a través de un recubrimiento protector; como: plástico, compuestos químicos o materiales bituminosos.

C.- Cargas en la parte superior.- Es común que durante el proceso constructivo de la cimentación se depositen materiales o equipo en la parte superior de los taludes. El peso de los materiales y equipo, así como las vibraciones producidas por la maquinaria pesada, aumentan los riesgos de desplome del talud.

Es posible y recomendable calcular una distancia de seguridad hacia atrás del borde superior del talud, como límite para colocar las cargas antes mencionadas. Esta distancia puede estimarse como aquella a la cual una capa nueva de suelo imaginaria produciría la carga equivalente a la carga del equipo o material sobrepuestos. Conservando el mismo ángulo de excavación. Como se muestra a continuación:



D.- Protección del fondo.- Si el fondo de una excavación se deja expuesto durante períodos prolongados a un clima seco y cálido, puede secarse excesivamente, agrietarse y contraerse. Al recuperar su contenido normal de agua se dilatará y puede provocar problemas después del colado de la losa de fondo. Por consiguiente se recomienda evitar la evaporación de agua rociándolo, cubriéndolo con plástico o una capa de arena.

También es frecuente que el suelo del fondo de la excavación esté saturado, aún cuando el nivel freático esté por debajo del nivel del fondo de la excavación. Es común entonces que el fondo se vuelva inestable para el funcionamiento de equipo como cargadores, camiones y otros equipos sobre ruedas.

Los suelos saturados y blandos pueden ser poco convenientes para colar cimentaciones corridas, para apoyo de columnas de edificios, ya que pueden haberse "hinchado" o dilatado al retirarse el material de excavación que estaba sobre ellos. En estos casos suele resultar económico excavar unos 30 ó 45 cms más y rellenar ese espacio con una plantilla de suelo que permita drenaje libre, proporcionando así una base uniforme de trabajo.

E.- Corte vertical.- En suelos finos de gran cohesión y en suelos gruesos arenosos con cohesión temporal aparente es posible hacer cortes verticales. En general este tipo de cortes temporales, deben rellenarse o ademarse tan pronto como sea posible.

La máxima altura vertical (H) a la que podemos mantener un suelo fino es:

$$H = 2C/\text{Peso del Suelo}$$

Donde la cohesión (C) se cuantifica en el laboratorio de suelos, a través de una prueba triaxial. Debe considerarse también, un factor de seguridad normalmente de 1.5; no obstante se recomienda evitar estos cortes e inclusive no iniciar la excavación de un talud con cierta pendiente con corte vertical y después tratar de dar la pendiente, lo que conviene es que el operador del equipo de la pendiente, especificada desde el inicio del corte.

F.- Detección de falla.- Cuando hay equipo en funcionamiento en la parte superior del talud, debe inspeccionarse con cierta frecuencia la parte superior del mismo, ya que las fallas como deslizamientos de tierras y fracturas, se producen gradualmente, con ciertas señales como agrietamientos a

una distancia del borde igual a la altura del talud. También deberá observarse la presencia de expansiones al pie o al centro del talud, y poder así proteger el equipo de excavación en caso de falla.

G.- Abatimiento del Nivel Fréatico.- Frecuentemente por razones de diseño de la cimentación, es necesario profundizar la excavación por debajo del nivel fréatico. Puede pasar que no nos demos cuenta de haber llegado a él; sin embargo hay algunas señales que nos permiten saberlo, como:

- Las excavadoras y equipos de carga sobre ruedas, en el fondo de la excavación, encuentran problemas de fallas en el suelo, baches y ondulaciones.

- Los equipos de excavación corren peligro de hundirse, hasta perderse de vista, si se sigue excavando.

- Al retirar el equipo de excavación, el agua emergerá de las superficies del terreno en cantidad apreciable.

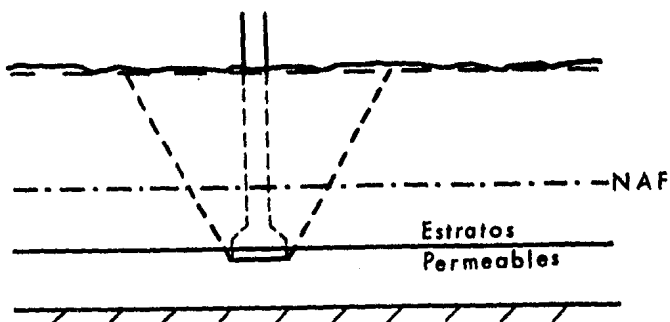
Para poder realizar o continuar la excavación, es necesario recurrir a la aplicación de algún método adecuado para el Abatimiento del Nivel Fréatico.

II.- PROCEDIMIENTOS PARA EL ABATIMIENTO DEL NIVEL FREATICO

II.1.- TIPOS DE PROCEDIMIENTOS

Al lugar geométrico de los puntos en la zona de saturación en que la presión del agua, en el suelo, es igual a la presión atmosférica, se le llama "Nivel de Aguas Freáticas" o más brevemente: nivel freático.

Cuando por necesidad de proyecto la excavación para desplantar la cimentación se deba profundizar por abajo del nivel freático, es común que se presenten problemas.



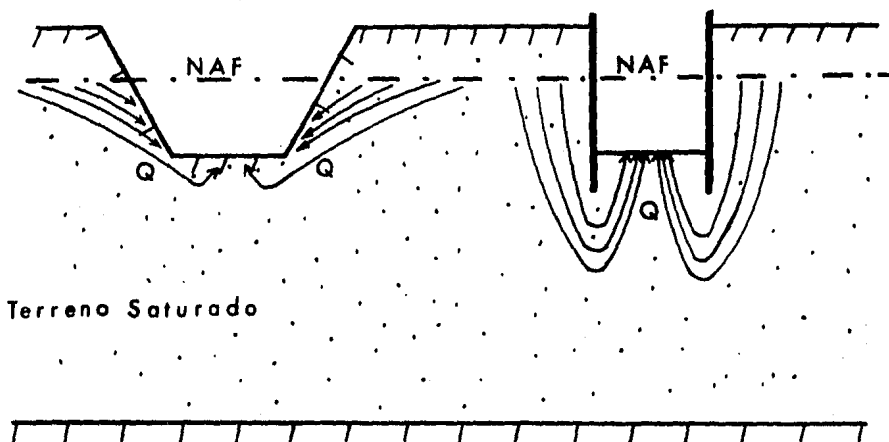
"Cimentación por abajo del NAF"

En el caso de suelos no cohesivos -limos, arenas, arenas limosas-, el agua freática tenderá a fluir hacia la zona excavada, dificultando grandemente o imposibilitando el proceso de excavación. Según se va removiendo el material, el agua continua fluyendo y las fuerzas de filtración producidas

originan arrastres de partículas de manera que el fondo de la excavación se ira rellenando continuamente. La presencia del agua encarecerá extraordinariamente todos los trabajos, cimbrado, colado y ademado, empleados en la construcción de la cimentación.

En suelos cohesivos de alta compresibilidad y poco permeables, la excavación por abajo del nivel freático producirá cambios en las propiedades del suelo adyacente a la misma. La resistencia disminuirá y habrá expansiones volumétricas del material, lo que traerá consecuencias negativas para la estabilidad de los taludes naturales de excavación.

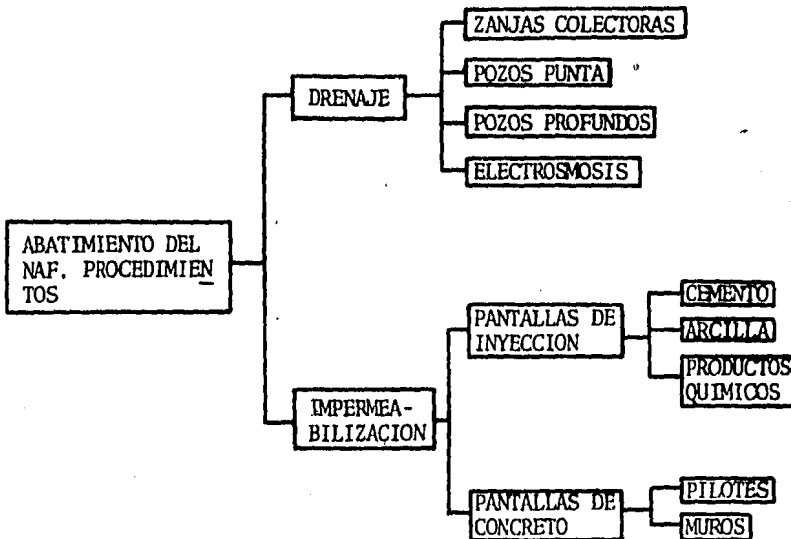
En suelos estratificados con capas de suelo fino -poco permeables- y suelo grueso -permeables- alternadas pudiera ser que el agua freática contenida en el manto permeable tenga una presión superior a la debida al peso del estrato adyacente superior de suelo fino. Sí la excavación se profundiza hasta este estrato de suelo fino, el agua tenderá a fluir hacia el fondo de la excavación; como se muestra enseguida:



Luego entonces, ante los problemas antes mencionados resulta conveniente lograr dejar la zona por excavar en seco, para profundizarla la magnitud que el proyecto requiera en forma eficiente.

Existen procedimientos que permiten el abatimiento del nivel freático en forma local, a través del drenaje del flujo de agua establecido, permitiendo trabajar con la excavación en condiciones favorables. A tales métodos se les considera como "Métodos de Drenaje". Hay otro tipo de procedimientos utilizados que a través de pantallas impermeables impiden el paso del agua a la excavación; logrando también el desenso del nivel freático en la zona. A estos procedimientos se les denomina "Métodos de Impermeabilización".

En resumen, los principales procedimientos empleados para abatir el nivel freático en excavaciones son:



II.2.- METODOS DE DRENAJE

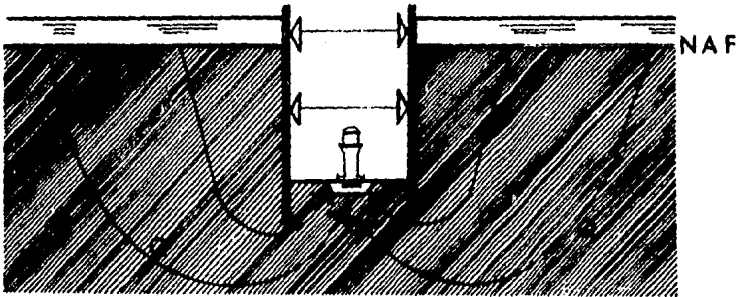
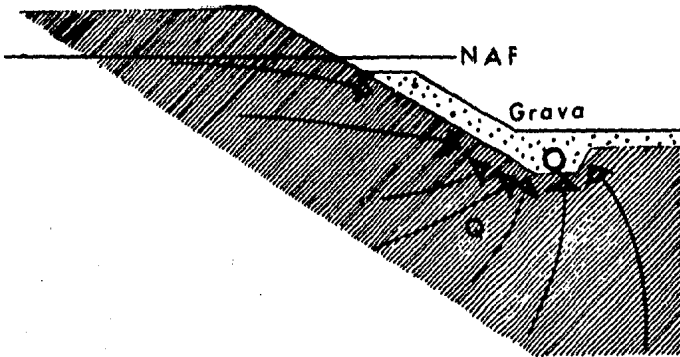
Estos métodos permiten el abatimiento del nivel de aguas freáticas mediante el control del flujo de agua en el terreno de excavación. En Edificación destacan los siguientes:

- A. Zanjas Colectoras
- B. Pozos Punta
- C. Pozos Profundos
- D. Electrósmosis

A.- Zanjas Colectoras.- Es el procedimiento más sencillo, consiste en colocar en lugares apropiados zanjas a las que el agua llegue por gravedad -generalmente al pie del talud o en la parte media del fondo de la excavación-. El agua captada por las zanjas será conducida a través de ellas mismas hacia zonas alejadas de la excavación ya sea por bombeo, gravedad, o ambos.

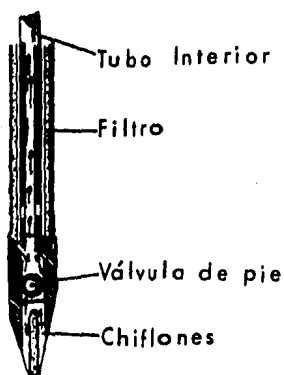
Cuando la zanja colectora se construye al centro de la excavación es -generalmente- porque el talud es vertical y se han utilizado tablestacados verticales. En este caso conviene cubrir todo el fondo de la excavación con una capa de material grueso con el fin de facilitar el drenaje y disminuir el riesgo de tubificación.

Este procedimiento se utiliza en excavaciones no muy profundas, realizadas en suelos permeables, para evitar poner en peligro la estabilidad del talud o tablestacado. También puede emplearse en suelos relativamente poco permeables -como algunas arcillas con arena- de baja expansibilidad. En cualquier caso el suelo deberá tener una ligera cohesión.



"Control de flujo de agua en excavaciones poco profundas con zanjias colectoras"

B.- Pozos Punta.- Este método consiste en construir una serie de pozos de bombeo para lograr el abatimiento del nivel freático a la profundidad deseada en la zona de excavación, y el control del agua en la zona circundante. Los pozos de bombeo empleados con los del tipo denominado "Pozo Punta", los cuales están formados por tubos verticales lisos, hincados a la profundidad requerida por medio de agua a presión o barrenos.



"Detalle de la punta"

La "punta" es un tubo perforado, o un tubo de malla de acero inoxidable o de latón, de 5 a 7.5 cms. de diámetro y de 0.30 a 1 m. de longitud. En la parte inferior del tubo perforado se encuentra una válvula de pie. Los tubos hincados en el terreno a través de un chiflón de agua deberán inyectar -desde su extremo superficial- agua a una presión del

orden de 14 kg./cm^2 , precisándose cerca de 900 litros para un solo pozo. El chiflón saldrá por el extremo inferior, - alrededor de la válvula de pie.

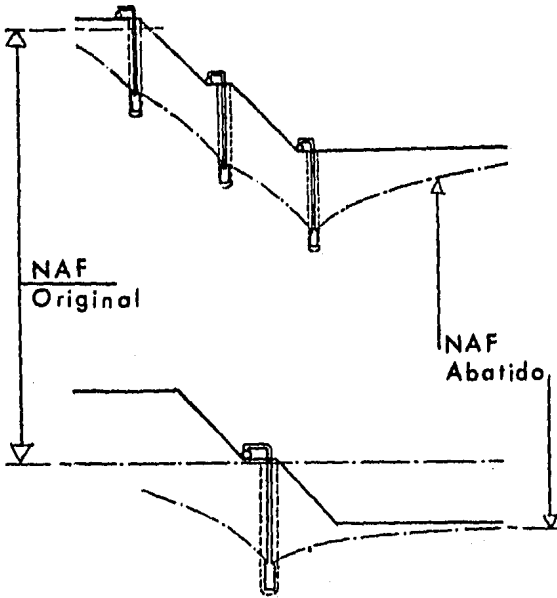
Los pozos punta deberán colocarse en líneas rectas que circunden la excavación proyectada, a una profundidad - que garantice el abatimiento deseado del nivel freático.

El extremo superior de cada tubo de un pozo se une a una tubería de descarga con diámetros usuales de 15 a - 30 cms. A su vez, la tubería de descarga va conectada a una bomba que extrae el agua.

La extracción de agua, lograda por medio de la bomba, se realiza por la creación de un vacío en la tubería de succión, la válvula de pie de la punta cierra el extremo inferior de ésta y el agua del suelo circundante pasa a tra vés de las perforaciones, evitándose así el arrastre de par tículas sólidas.

El gasto extraído por cada pozo-punta depende de - la permeabilidad del material y del diámetro de la tubería, normalmente no va más allá de 1 litro por segundo, la - separación de cada pozo con respecto a otro está en función del gasto que hay que bombear por metro lineal del perime tro de la excavación, el cual se puede estimar aplicando la Teoría de Pozos de Bombeo. Comúnmente estas separaciones varían entre 1 y 4 mts.

El método de pozos punta es apropiado cuando el - abatimiento del nivel freático requerido no es muy profundo. Por lo general es apropiado para profundidades hasta de - 5 mts. En casos que el abatimiento sea mayor se emplean va rias hileras paralelas de estos pozos, a distintos niveles; como se muestra:



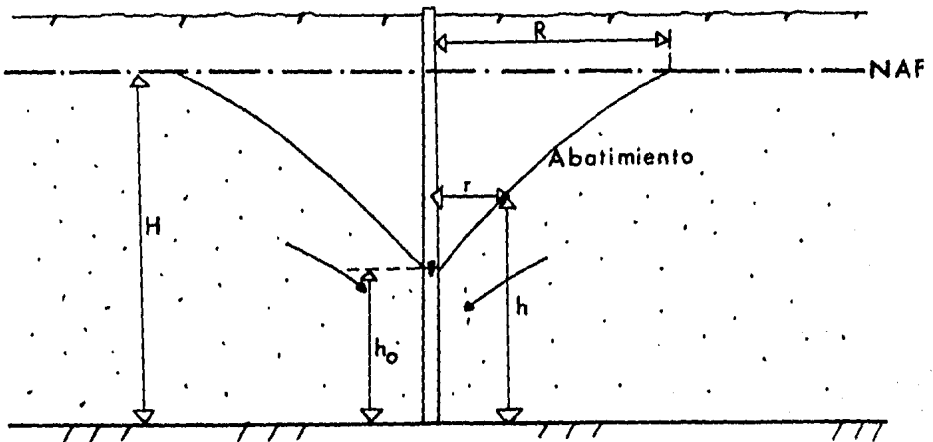
En suelos de baja permeabilidad ($k < 10^{-4}$ cm/seg) puede incrementarse la eficiencia de los pozos punta de captación colocando en su parte superior un sello de bentonita entre el tubo y el suelo, lo que permite aplicar un vacío en el interior del pozo, que aumenta el gradiente hidráulico del mismo.

En esta forma se han logrado abatimientos del nivel freático del orden de 20 a 30 mts. Sin embargo para tales profundidades resulta más económico utilizar pozos profundos.

C.- Pozos Profundos.- Estos pozos utilizan bombas de turbina instaladas en su parte inferior, por tanto son de mayor diámetro que los pozos punta. Son frecuentemente usados para abatir el nivel freático en excavaciones profundas. Se emplean en suelos permeables -arenas y gravas arenosas- de suficiente espesor para poder alojar la parte de captación del pozo.

La mayor parte de los pozos profundos se construyen con perforaciones previas, utilizando máquinas pesadas de percusión o con ayuda de perforadoras de tipo rotatorio. Al construir la perforación muchas veces se requiere -en casos de suelos no muy firmes- ademar empleando tubos metálicos hincados a golpes.

Al construir el pozo y comenzar a bombear agua con un gasto constante, el nivel del agua se empieza a abatir y se produce un flujo de la masa de agua que rodea el pozo hacia éste. Conforme pasa el tiempo el nivel sigue bajando y el flujo hacia el pozo se modifica:



En las grandes excavaciones es necesario calcular la cantidad de agua que debe bombearse para reducir el nivel freático. Esta cantidad debe conocerse para que puedan disponerse el número y capacidad requeridos de las bombas. Un método de cálculo normalmente utilizado es el que emplea la fórmula de Du Puit-Forchheimer:

$$Q = \pi K \frac{H^2 - h_0^2}{\ln R/r}$$

Donde el gasto (Q) esta en función de la permeabilidad del acuífero (K), el radio del pozo (r), el radio del abatimiento (R) y la altura del agua (H).

Es necesario conocer el coeficiente de permeabilidad del terreno. En suelos uniformes y blandos puede calcularse de modo aproximado por la fórmula de Hazen:

$$K = C_1 D_{10} \text{ (cms/seg)}$$

K = Coeficiente de Permeabilidad

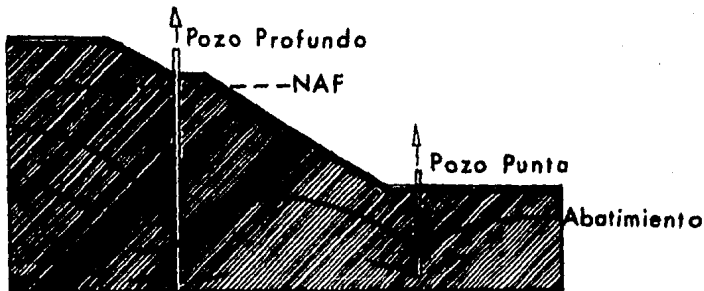
C₁ = Factor que varía entre 100 y 150

D₁₀ = Tamaño medio del grano retenido al 10% de la curva granulométrica.

En trabajos menos importantes el ingeniero puede considerar que las bombas de pozo profundo se fabrican con capacidades entre 5 a 100 lts/seg, y que los conos de abatimiento de cada uno de los pozos a lo largo de la línea de bombeo deben traslaparse. Por tanto puede tomarse como criterio una separación entre pozos no mayor que la mitad de profundidad -

de abatimiento requerida (entre 5 y 50 mts.) y que el nivel de agua abatida en cada pozo de bombeo se encuentre de 2 a 3 mts abajo de la profundidad de abatimiento deseada de la excavación. El diámetro de los pozos suele oscilar entre 15 y 50 cms y la longitud del extremo perforado entre 5 y 20 mts.

Es frecuente combinar estos pozos profundos con pozos punta en muchos casos prácticos. En la siguiente figura se muestra una excavación en la que se ha hecho uso de un sistema de pozos punta para abatir el nivel freático, pero además se ha usado un sistema de pozos profundos para reducir la presión del agua en la zona del talud:



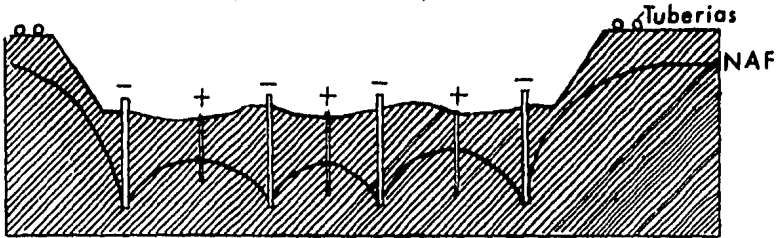
D.- Electrósmosis.- Cuando tratemos con suelos de baja permeabilidad -como limos arcillosos y arcillas de alta plasticidad-, la aplicación de los procedimientos antes descritos (zanjas y pozos) es insuficiente para lograr el abatimiento rápido del nivel freático. En estos casos es recomendable el procedimiento denominado "Electrósmosis".

El drenaje electrósmotico consiste en una serie de pozos de bombeo, generalmente dispuestos en hilera, a modo de crear una pantalla de captación del flujo de agua. La separación de los pozos varía en la práctica de 3 a 5 mts., el diámetro de los mismos es del orden de 20 cms.

Dentro de cada pozo se instala un tubo de hierro ranurado -de unos 10 cms. de diámetro-, rellenándose con arena mal graduada el espacio entre el tubo y la perforación, tratando de formar un filtro. En el extremo inferior del tubo metálico se dispone una barra de hierro de 2 ó 3 mts. de longitud y unos 3 cms de diámetro, para formar el polo negativo (catódo). El polo positivo (anódo) se forma con una barra de hierro de menor longitud -1.2 mts.-, dispuestas en hileras paralelas a los pozos catódos.

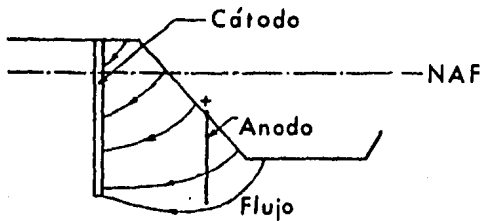
Al conectar los electrodos (catódo y anódo) a las tomas correspondientes de un generador de corriente contínua se forma un gradiente de potencial eléctrico que acelera el flujo de agua a través de los poros del suelo y forma un estado de tensión en el agua contenida que incrementa la resistencia del terreno.

El agua se acumula en los pozos cátodo como consecuencia del flujo electrósmotico y es eliminada por bombeo.



"Instalación típica de pozos electromiéticos"

En el caso de proteger los taludes, la electromiésis es uno de los métodos más empleados debido a su éxito. El cátodo se dispone en la corona del talud y el ánodo en el pie - algo atrás de la pendiente-; de esta manera se logra la - - orientación de las fuerzas de filtración a favor de la estabi - lidad, pues estas trabajarán en dirección contraria al despla - zamiento; como se ve en la gráfica siguiente:



La instalación electrósmodica impide el flujo de agua hacia la zona de excavación, causado por el hecho de que en las zonas aledañas el nivel freático se mantiene a su altura original, a mayor altura que el nivel del fondo de la excavación realizada. El flujo hacia la excavación causa la expansión del fondo y la inestabilidad probable de los taludes en los suelos arcillosos, lo cual se evita con la pantalla captadora que representa la línea de pozos electrósmodicos. En arcillas altamente compresibles deben distribuirse los pozos y analizar el potencial eléctrico aplicado, de modo que los agrietamientos sean mínimos en la corona de los taludes y en la zona vecina a la excavación, con el fin de evitar daños y prevenir grandes agrietamientos.

II.3.- METODOS DE IMPERMEABILIZACION

Abatir el nivel freático resultará costoso en terrenos donde la permeabilidad es de tal magnitud que el gasto generado en los pozos requiere la instalación de un gran equipo de bombeo de agua.

Los métodos de Impermeabilización constituyen una alternativa. Estos forman pantallas poco permeables dentro del terreno adyacente a la excavación, reduciendo así el flujo de agua del suelo hacia la zona excavada; llegando incluso -en circunstancias favorables- a eliminar totalmente la entrada de agua.

En Edificación es frecuente utilizar los siguientes procedimientos:

A.- Pantallas de Inyección

- 1.- Lechada de cemento
- 2.- Arcilla
- 3.- Productos químicos

B.- Pantallas de Concreto

- 1.- Pilotes
- 2.- Muros

A.1.- Inyección de lechada de cemento.- El cemento actua rellenando los vacíos y aumentando la resistencia del suelo. Se requiere que el suelo tenga una granulometría elevada (arenas gruesas y gravas) para que sea posible realizar la inyección. A fin de economizar conviene -además- usar una mezcla cemento-arena-agua.

La mezcla se inyecta en el terreno empleando una bomba trabajando a una velocidad uniforme y a una presión constante, a través de perforaciones verticales convenientemente separadas -del orden de 3 a 4 mts.- en proporción cemento-arena 3:1.

A.2.- Inyección de Arcilla.- Cuando la granulometría del terreno es fina, tal que no sea posible efectuar la inyección de cemento, se podrán utilizar arcillas -como bentonita- adicionadas de productos químicos en algunas ocasiones para ayudar a su dispersión y suspensión.

El procedimiento consiste en utilizar bentonita en combinación con cemento portland, silicatos solubles y otros compuestos; para producir una mezcla cuyas características pueden variar y adaptarlas a la permeabilidad del terreno en que

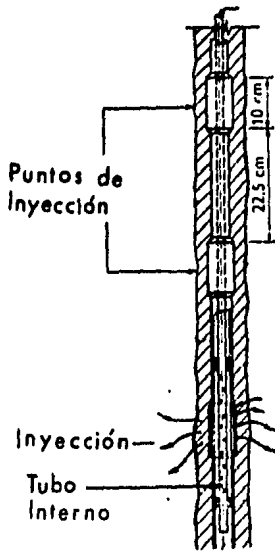
se inyecta. Los huecos más grandes se rellenan primero con una mezcla arcilla-cemento, seguida de inyección de arcilla más productos químicos para rellenar los espacios vacíos entre las partículas más finas.

Para lograr la inyección se realizan agujeros verticales en el terreno, donde se introducen tubos de inyección (unos 4 cms de diámetro), rellenándose el espacio - - suelo-tubo con una mezcla plástica de bentonita. El tubo de inyección tiene perforaciones radiales cada 30 cms. y en él se introduce otro tubo -perforado también- de unos 25 cms. de diámetro. A continuación se bombea la mezcla por el tubo interno y se hacen coincidir las perforaciones de ambos tubos en el nivel deseado para que la mezcla rompa el sello de bentonita plástica y penetre en el terreno circundante.

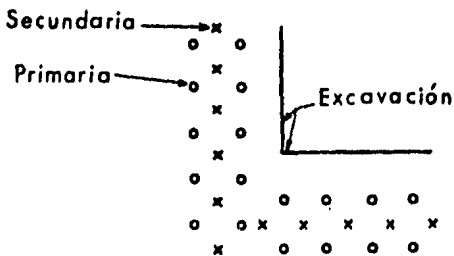
A.3.- Inyección de Productos Químicos.- Este procedimiento solo da resultados favorables en gravas arenosas y arenas en general. Los productos químicos más utilizados son el silicato sódico y el cloruro cálcico, que reaccionan conjuntamente formando un "gel" bastante duro e insoluble en agua que recibe el nombre de "Gel de Sílice" (Silicato Cálcico).

En el procedimiento se introducen en el terreno dos secciones de tubería con una separación de 60 cms. entre ellas. Por una se inyecta cloruro de calcio y por la otra silicato sódico, a medida que se procede lentamente a la recuperación de las dos tuberías.

También pueden inyectarse los dos productos químicos conjuntamente a través del mismo tubo, añadiéndose un retardador que impida la formación del "gel" hasta que se haya recuperado el tubo de inyección.



"Tubo de inyección de lechada de cemento"



"Disposición de los agujeros de inyección"

B.1. Pilotes de Concreto.- Estas pantallas se forman mediante pilotes colocados en el sitio, dentro de una perforación estabilizada con bentonita. El concreto debe tener un alto revenimiento (unos 15 cms.) y el colado se realizará introduciendolo dentro del pozo con un tubo "tremie" hasta el fondo. De modo que el concreto vaya desplazando -por diferencia de densidades- a la bentonita hasta terminar el colado.

Inicialmente se cuele una hilera de pilotes alternados en el sitio de colocación de la pantalla y finalmente se cuelean las secciones intermedias.

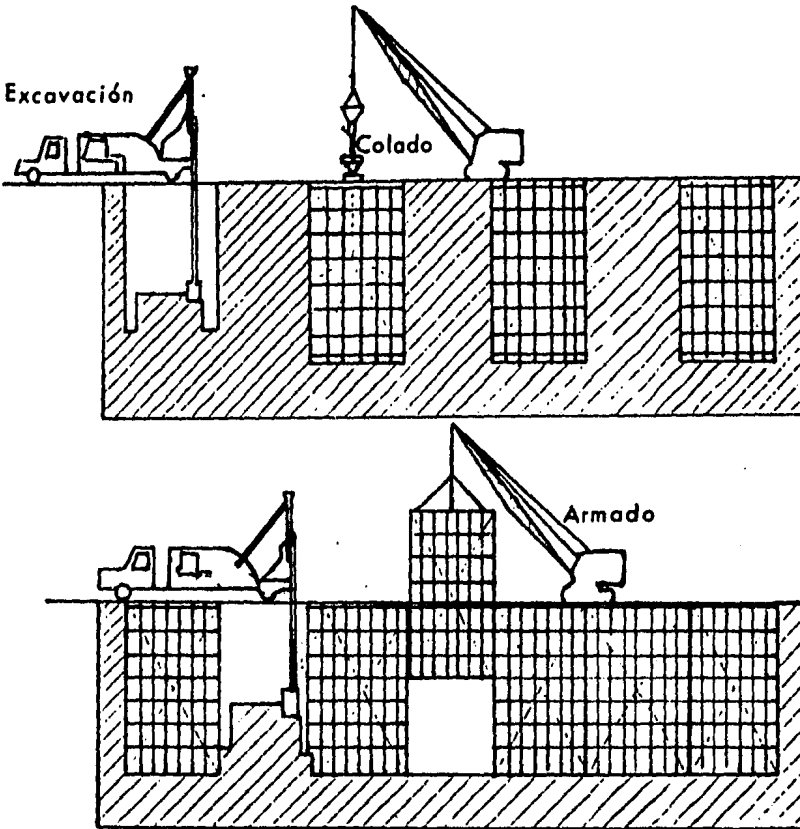
Los pilotes comunmente empleados tienen un diámetro de 50 a 60 cms. y longitud suficiente para que su extremo inferior llegue al estrato impermeable.

B.2.- Muros de Concreto.- Cuando las dimensiones de la excavación sean relativamente grandes, el procedimiento de pilotes de concreto resultaría muy lento. Asimismo, las perforaciones pueden presentar serias dificultades si hay presencia de rocas (depósitos fluviales) en el suelo.

Conviene entonces hacer la excavación, y abatir el nivel freático en ella, empleando tableros rectangulares de concreto (del orden de 50 a 80 cms. de espesor por 3 a 6 mts. de longitud) a manera de pantallas impermeables que limiten la zona a excavar.

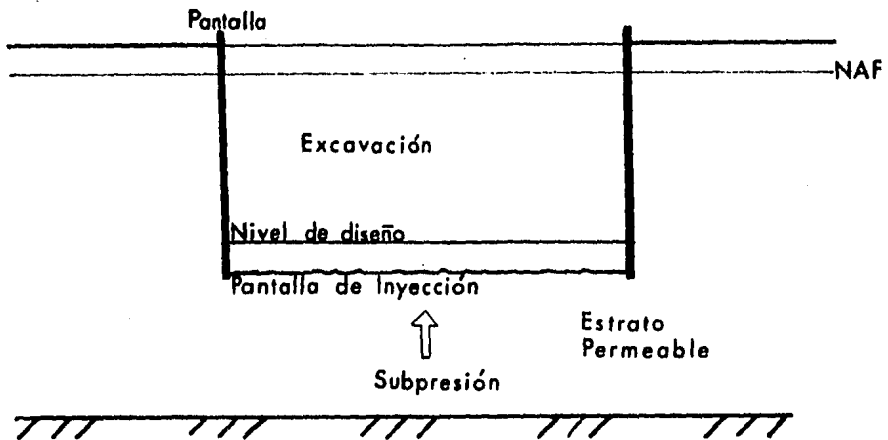
Es común utilizar para el colado de estos muros un cucharón de almeja especialmente diseñado. A medida que la excavación es más profunda se mantiene llena de lodo bentónico, el cual ejerce una presión contra las paredes de la zanja y las estabiliza, evitando el derrumbe de los materiales del terreno hacia el interior de la excavación.

Una vez alcanzada la profundidad deseada, la zanja se llena de concreto de alto revenimiento (más de 15 cms) - depositándolo por medio de un tubo tremie ("trompa") hasta desplazar toda la bentonita y formar el muro. En la construcción de cimentaciones estos muros llevan acero de refuerzo, para que además de servirnos para abatir el nivel freático, puedan emplearse como estructura de contención durante la excavación y cimbra de la estructura de cimentación.



"Construcción de muros de concreto para excavaciones"

La profundidad de la pantalla empleada en todos los métodos de impermeabilización esta en función de la existencia de un estrato impermeable en la cual empotrarla, ésto, - para evitar filtraciones por el fondo de la excavación. Cuando no existe una capa impermeable en la cual se apoye el extremo de la pantalla conviene formar una capa impermeable horizontal mediante la inyección - a la profundidad deseada de arcilla o compuestos químicos a través de una retícula de agujeros distribuidos dentro del área por excavar. La profundidad de esta capa impermeable horizontal debe ser tal - que la fuerza de subpresión sea equilibrada por el peso del material que quede entre el fondo de la excavación y la capa misma, para evitar que ésta sea levantada por la subpresión. Como se muestra a continuación:



Existen otros procedimientos para abatir el nivel freático en las excavaciones de cimentaciones; como el om - pleo de aire comprimido o el proceso de congelación del te - rreno. Sin embargo, el elevado costo de estos procesos los hace inoperantes.

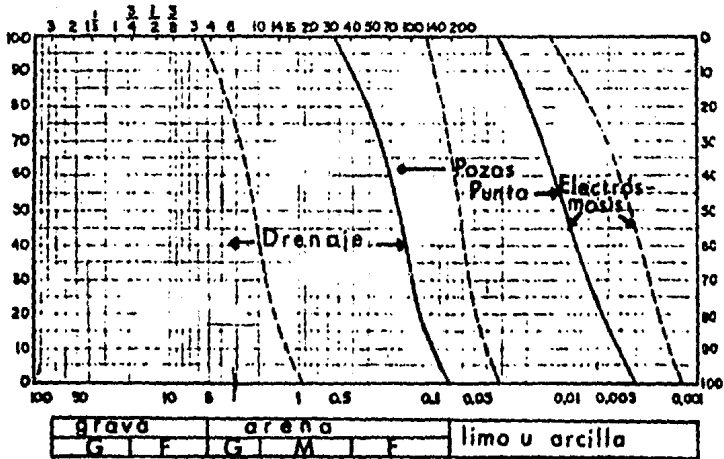
El bombeo desde pozos profundos puede utilizarse en terrenos donde la superficie del lugar es suficientemente grande para permitir que los lados de la excavación tengan pendientes estables y que en sus proximidades no existan edificaciones importantes que podrían ser dañadas por los asentamientos producidos como consecuencia del flujo de agua hacia el pozo colector. Las líneas de pozos punta pueden usarse en condiciones más restringidas, y los procedimientos como inyección de cemento y productos químicos se emplean en los sitios en que es necesario proteger estructuras próximas, o en terrenos de condiciones particulares donde no puede hacerse uso del bombeo.

En general, la elección de un procedimiento para el abatimiento del nivel de agua freáticas en excavaciones para cimentaciones está en función de:

A.- Tipo de Terreno

B.- Tipo de Cimentación

A.- Tipo de Terreno.- Son varias las características del terreno a considerar -principalmente la localización de la excavación con respecto a estructuras aledañas y la permeabilidad del material-. Un criterio para seleccionar el procedimiento mas conveniente sería considerar la granulo - metría del material, como se muestra en la siguiente gráfi - ca:



Sin embargo, en la práctica esta correlación es limitada, hay otros factores -como la temperatura y la compacidad- que ejercen notoria influencia en la permeabilidad del suelo. Conviene evaluar la permeabilidad a través de algún método directo -usando parámetros-. A. Casagrande y R.E. Fadum consideran a un suelo con buen drenaje o permeabilidad alta aquel donde $K > 10^{-4}$; uno con permeabilidad baja o mal drenaje el que alcanza valores de K menores que 10^{-4} , mientras que un terreno con permeabilidad media tiene un valor del mismo coeficiente aproximado a 10^{-4} . Siendo K el coeficiente de permeabilidad incluido en la ecuación de Darcy: Volumen = $K \cdot \text{Area} \cdot i \cdot \text{tiempo}$.

De acuerdo al tipo de permeabilidad del material y a la profundidad de la excavación se recomiendan los siguientes procedimientos:

METODO	PROFUNDIDAD (m)	PERMEABILIDAD	TIPO DE SUELO
Zanjas	0-5	Media, Alta	Arenas, Gravas
Pozos Profundos	20-30	Alta	Arenas
Electr ^o smosis	5-20	Baja	Arcilla, Limos
Lechada de Cemento	0-5	Alta	Arenas, Gravas
Inyección de Arcilla	0-5	Media	Limos, Arenas
Productos Químicos	0-5	Alta	Arenas
Pantallas de Concreto	5-30	Baja	Arcillas inestables

B.- Tipo de cimentación.- El tiempo de intemperización, la profundidad, dimensiones y ademado de la excavación son factores que dependen del tipo de cimiento elegido. Conviene entonces, conocer los diversos tipos de cimentación - - usados en edificación.

III.- DIVERSOS TIPOS DE CIMENTACIONES

III.1.- TIPOS EXISTENTES

En la construcción de cimentaciones se emplean comunmente dos tipos de éstas, las poco profundas o "Superficiales" y las "Profundas".

No hay un criterio estricto para diferenciar las - cimentaciones superficiales de las profundas; se acepta por - lo general que cuando la relación entre la profundidad y el - ancho del cimiento es del orden de 3 o más se tienen cimientos profundos.

Existen también cimentaciones "Combinadas", que tienen características de diseño y construcción pertenecientes - tanto a las cimentaciones superficiales como a las profundas.

En general, el ingeniero proyectista seleccionará la cimentación mas' apropiada teniendo en cuenta tres factores - principales:

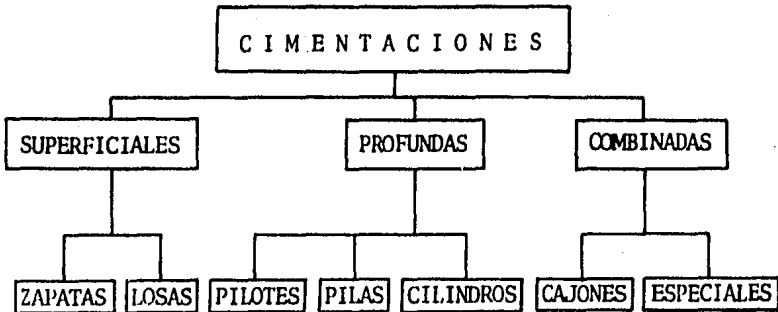
a) Características de la superestructura.- Cargas y materiales.

b) Condiciones del suelo de apoyo.- Propiedades - mecánicas y capacidad de carga.

c) Factores económicos.- Costos de la cimentación.

Del análisis correcto y balance de éstos factores el ingeniero llegará a una solución que no necesariamente deberá ser la única posible.

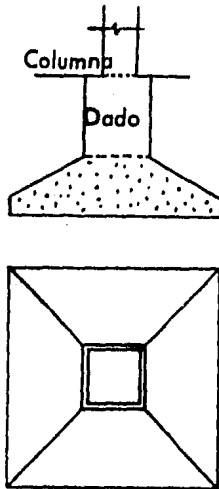
A la vez, las cimentaciones superficiales, profundas y combinadas las podemos clasificar de manera sencilla en otras varias; dependiendo de sus características constructivas y funcionales específicas. En edificación básicamente tenemos:



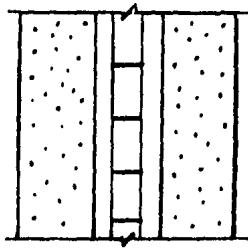
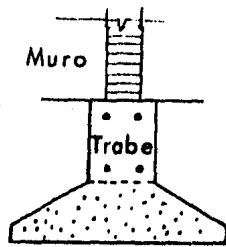
III.2.- CIMENTACIONES SUPERFICIALES

Tenemos en esta clasificación a las llamadas "Zapatas" y "Losas", que son elementos estructurales cuadrados, rectangulares y -pocas veces- circulares; que se construyen bajo las columnas o muros con el fin de transmitir la carga que soportan estos elementos al terreno, en una mayor área, logrando así una distribución de presión más apropiada. Existen fundamentalmente dos tipos de zapatas; Aisladas y Corridas.

A.- Zapatas Aisladas.- Soportan generalmente una columna, tienen -por lo común- forma cuadrada y como material concreto reforzado. En general tienen la forma siguiente:

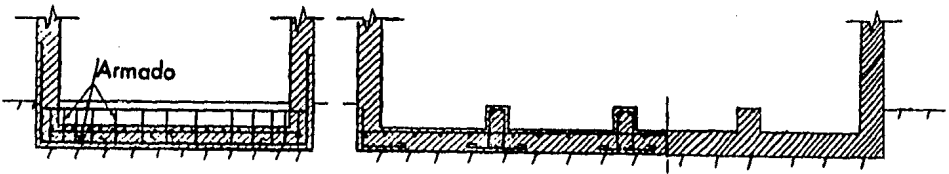


B.- Zapatas Corridas.- Son semejantes a las Aisladas, pero en estas la longitud es notablemente mayor al ancho. Sirven para soportar varias columnas o un muro de carga. Se construyen de concreto reforzado -en edificios altos- o de mampostería -en casas habitación-. Las Zapatas Corridas son una alternativa de solución cuando el empleo de Zapatas Aisladas no sea satisfactorio debido a una baja capacidad de carga del suelo, que obligue a usar mayores áreas de distribución en la transmisión de las cargas esperadas.



"Zapatas corridas"

C.- Losas.- En caso de que al emplear Zapatas Corridas en la cimentación la capacidad de carga del suelo sea tan baja o las cargas esperadas muy altas, que nos obligue a desechar ésta solución y buscar ampliar más la superficie de suelo de apoyo; se llegará al uso de las denominadas "Losas de Cimentación", que también pueden recibir varias columnas o varios muros de carga. Son construidas de concreto reforzado y ocupan generalmente toda la superficie construida. Como se muestra enseguida:



No existen normas específicas para diferenciar los tres tipos anteriores de cimentación, es en la práctica donde -a criterio- se distinguen.

Si aún cuando usemos una Losa de Cimentación, las presiones transmitidas al suelo son mayores que su capacidad de carga, habrá de recurrirse a apoyar la estructura en un tipo de cimentación que incremente la capacidad de carga del suelo de apoyo sin aumentar la superficie con que se cuenta para construir. Este tipo de cimentación requerida es el siguiente.

III.3.- CIMENTACIONES PROFUNDAS

El utilizar una cimentación profunda es característico al edificar en suelos con estratos superficiales blandos y poco resistentes. En este caso será conveniente buscar terreno de apoyo más resistente a mayor profundidad, o si éste aparece a niveles muy profundos, podemos apoyarnos en el mismo terreno blando, o en ambos. En todo caso, debemos contar con elementos de cimentación que distribuyan las presiones recibidas en un espesor grande de suelo; lo cual es común en las cimentaciones profundas.

Los elementos comprendidos en esta clasificación generalmente son esbeltos y en ellos distinguimos los siguientes tipos:

A.- Pilotes

B.- Pilas

C.- Cilindros

A. Pilotes.- Es el tipo de cimentación profunda más utilizado en nuestro medio. Son piezas macizas muy esbeltas, que pueden ser prefabricadas o formadas en el lugar, teniendo -por lo general- diámetros menores de 76 cms. en el primer caso y menores de 60 cms. en el segundo.

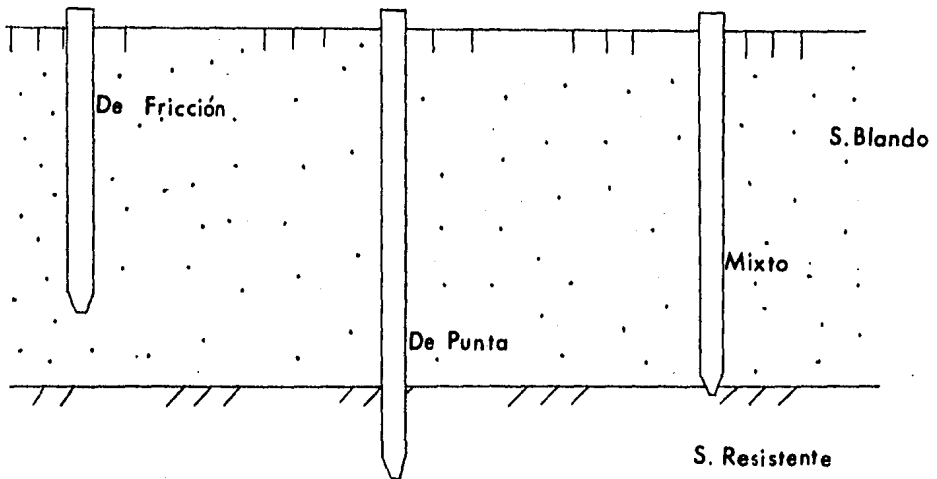
Desde el punto de vista de su forma de trabajo, los pilotes se clasifican en de Punta, de Fricción y Mixtos.

Los Pilotes de Punta transmiten las cargas de la estructura a través de un espesor de suelo blando hasta un estrato de suelo resistente, que garantice el apoyo adecuado. Caso especial dentro de los Pilotes de Punta es el de los "Pilotes de Control"; que a través de un mecanismo ingenioso permiten controlar los asentamientos de la estructura.

Los Pilotes de Fricción transmiten la carga a un cierto espesor de suelo blando, utilizando para ello la fricción lateral que se produce entre suelo y pilote.

Los Pilotes Mixtos aprovechan los dos efectos antes mencionados.

En relación al material de fabricación los pilotes pueden ser de concreto reforzado, concreto presforzado, acero o madera (raramente) y en secciones circulares, cuadradas, octagonales, triangulares, "H" o "I".

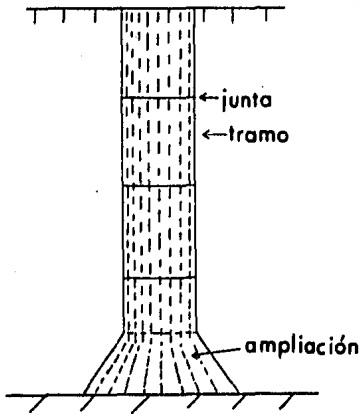


"Tipos de pilotes"

B.- Pilas.- Se forman en el lugar, con secciones transversales circulares, cuyo diámetro es mayor de 60 cms., en general son macizas.

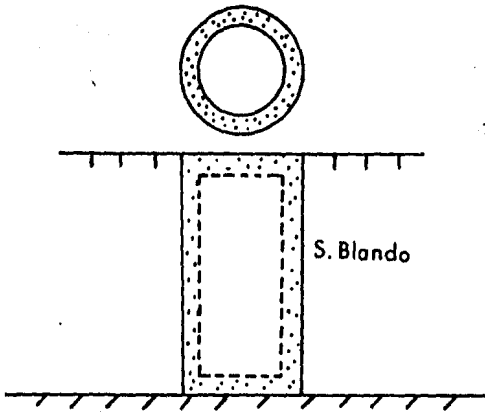
Quando no hay agua freática o bien, el flujo de agua en el suelo es pequeño, es éste el tipo más económico de cimentación profunda. Las pilas pueden transmitir cargas concentradas procedentes de la estructura y mediante procedimientos constructivos sencillos pueden ampliar su base.

No existe entre pilas y pilotes una diferencia más sustancial que su diámetro -pilotes de 30 a 60 cms. y pilas de 60 a 200 cms-. La capacidad de carga de los asentamientos en pilas pueden establecerse en la misma forma usual que para los pilotes.



"Pila hecha con largueros de madera"

C.- Cilindros.- Son elementos voluminosos de sección circular de concreto reforzado, cuyo diámetro y capacidad de carga son usualmente mayores que en las pilas -alrededor de 3 m. o mas de diámetro-. Generalmente son huecos, aunque es posible rellenarlos si las necesidades estructurales del proyecto así lo requieren.



"Cilindro"

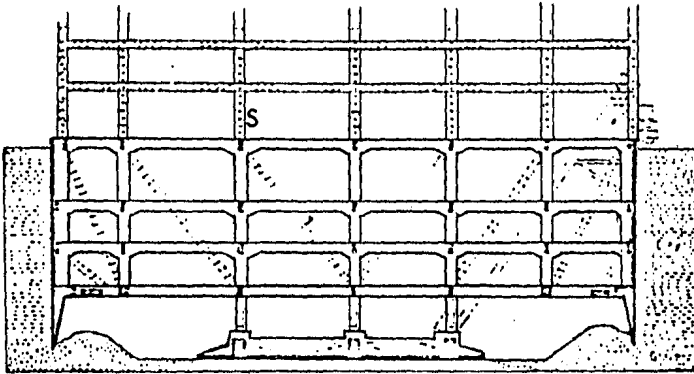
III.4.- CIMENTACIONES COMBINADAS

Cuando las descargas estructurales a la cimentación son demasiado altas para emplear pilotes o pilas se deberá buscar otra solución. La alternativa a escoger es un tipo de cimentación que combina las características de las superficiales --de acuerdo a su relación profundidad/ancho y el método de cálculo para evaluar su capacidad de carga-- con las características de las cimentaciones profundas --en cuanto al punto de vista constructivo--. Dentro de estas cimentaciones combinadas tenemos los tipos denominados "Cajones" y "Especiales".

A.- Cajones.- Los cajones de cimentación se distinguen de los cilindros por su forma paralelepípedica. Un cajón de éstos compensa una porción importante del peso de la estructura, mediante extracción correspondiente de suelo.

Cuando el peso de la estructura -incluyendo su cimentación- es igual al peso desalojado se dice que el cajón tiene "Compensación Total".

Si el peso del suelo desalojado es menor que el del edificio se tiene "Compensación Parcial" y finalmente, la situación inversa se conoce como "Sobrecompensación".



"Cajón profundo para edificios"

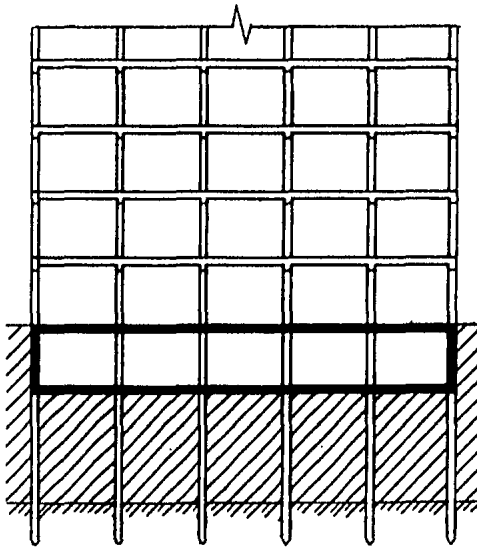
B.- Especiales.- Usualmente en la Zona del Lago del Valle de México los edificios mayores de cinco niveles deben diseñarse con cimentaciones especiales que emplean dos tipos diferentes de cimentación, pero trabajando ambas en conjunto. Básicamente estos edificios deben considerarse con cajones parcialmente compensados más pilotes; éstos últimos pueden ser de punta o de fricción.

B.1.- Compensación parcial más pilotes de punta.- Cuando una cimentación basada en pilotes de punta se combina con un cajón, no existe compatibilidad de movimientos y en terrenos con abatimiento, el suelo tiende a desprenderse del cajón; por lo cual todo el peso de la estructura recae sobre los pilotes de punta, incluyendo la fricción del suelo. Los pilotes aparecen como indeformables en relación al suelo, por lo que este tipo de cimentación es sólo aplicable si - -

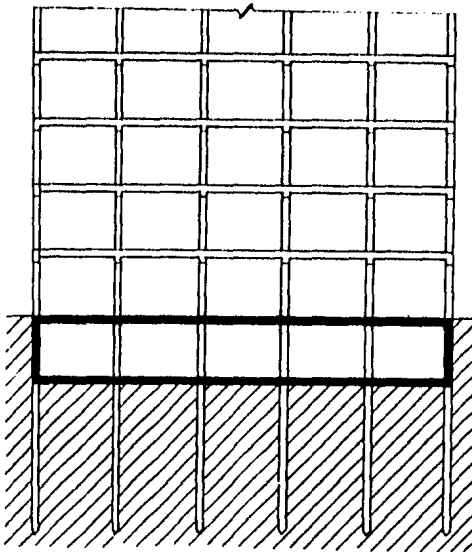
existe nivel freático perenne en la zona, por encima del cajón. Es entonces posible de tomarse en cuenta, para calcular la capacidad de carga del conjunto, el efecto de flotación - debida exclusivamente al agua.

B.2.- Compensación parcial más pilotes de fricción.- Con el advenimiento de edificios altos en la zona del Valle de México antes mencionada, se puso en práctica la solución combinada de compensación parcial y pilotes de fricción, la cual tiene por objeto reducir asentamientos y evitar emergimiento del conjunto.

La compatibilidad de funcionamiento entre ambas soluciones de cimentación proviene de que los pilotes trabajan por fricción casi al límite, o sea, que siempre deslizan - hacia abajo ligeramente; permitiendo que el cajón parcialmente compensado funcione como tal, redistribuyendo las presiones en el subsuelo con fin de reducir los asentamientos.



"Cajón y pilotes de punta"



"Cajón y pilotes de fricción"

Utilizar excavaciones abiertas es caso típico de los cajones de compensación que se construyen en áreas abiertas, donde no existen restricciones de espacio en el perímetro de la obra y los taludes de la excavación pueden tenderse tanto como lo requiera la estabilidad del suelo -talud natural-. Debiendo llevar en mente en todo momento los problemas constructivos relacionados con el suelo y con el agua freática, -tales como estabilidad del talud, expansión del fondo de la excavación y abatimiento del nivel freático.

Cuando no existe suficiente amplitud para tender talud, se emplean ademes y apuntalamientos alrededor del área en excavación con la finalidad específica de sostener los -taludes de la excavación.

Cada apuntalamiento y ademe tiene su particular forma, de acuerdo a las características de la excavación.

IV.- APUNTALAMIENTOS Y ADEMES

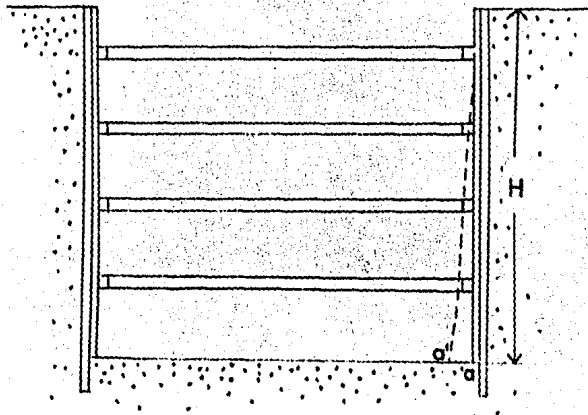
IV.1.- CARACTERISTICAS

Se entiende por "Ademe" aquella estructura provisional que se realiza en excavaciones libres de agua freática, y cuyo fin es garantizar la estabilidad de las paredes durante el tiempo requerido para la construcción de la cimentación. El ademe -propriadamente dicho- está formado por los elementos que soportan directamente las paredes de la excavación, como vigas con tablonés y tablestacas, mientras que los miembros que van de pared a pared o suelo a pared con el objeto de contrarrestar el empuje del suelo manteniendo en equilibrio el ademe se denomina "Puntales" y al proceso de colocación de éstos "Apuntalamiento".

Generalmente tanto los puntales como el ademe se construyen utilizando madera o acero o una combinación de éstos. Para poder proyectar el estructuramiento del apuntalamiento se debe conocer la magnitud y la distribución del empuje de la tierra; estos últimos dependen de las propiedades del suelo, de los desplazamientos que tenga la estructura del ademe durante el proceso de construcción y de la flexibilidad de la misma.

Conforme aumenta la profundidad de la excavación la rigidez de los puntales ya colocados impide el desplazamiento del suelo. Bajo el efecto del empuje el ademe gira hacia adentro de la excavación en las zonas inferiores de la misma; de manera que la colocación de los puntales en esa zona va precedida de un desplazamiento del suelo. Es debido a éste giro del elemento de soporte alrededor de su extremo superior que no podemos aplicar las teorías clásicas de Rankine y

Coulomb para determinar la presión ejercida en el ademe; ya que estas teorías consideran que el suelo es un semiospacio vacío en "reposo". Se requiere entonces recurrir a otros métodos de cálculo.



"Deformación que determina el empuje sobre el ademe de una excavación a cielo abierto"

Podemos considerar cuatro métodos generales de cálculo y construcción, de acuerdo a las dimensiones y características de la excavación:

- Métodos de excavaciones angostas y poco profundas.
- Métodos de excavaciones angostas y profundas.
- Métodos en excavaciones anchas y profundas.
- Casos especiales de apuntalamiento.

IV.2.- METODOS PARA EXCAVACIONES ANGOSTAS Y POCO PROFUNDAS.

La ejecución de excavaciones con una profundidad menor de unos seis metros -como zanjas para zapatas- simplemente requieren seguir en forma estricta las normas usuales de entibación, ya que los refinamientos en el proyecto de sistemas de apuntalamiento y ademe resultarían antieconómicos; sólo se necesita efectuar un reconocimiento general del suelo - antes de la construcción, no requiriéndose por otro lado cálculo alguno con respecto al empuje.

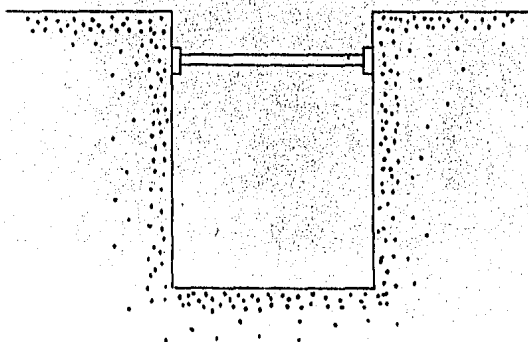
En suelos cohesivos podrían hacerse excavaciones de una profundidad igual o menor a H_c (Profundidad Crítica) sin apuntalamiento o ademe alguno. Podemos tomar, según Terzaghi (8), los siguientes valores aproximados para H_c :

Arcilla muy blanda.....	1.50 m.
Arcilla blanda.....	1.50 a 3.00 m.
Arcilla mediana.....	3.00 a 5.50 m.
Arenas cohesivas.....	3.00 a 5.00 m.
Arcillas compactas.....	Variable

Sin embargo, las arcillas compactas y muy compactas suelen estar fisuradas y como consecuencia los valores de H_c varían mucho, alcanzando a veces valores mínimos de 3 m. Asimismo, al realizar la excavación en suelos cohesivos sin apuntalar sus paredes verticales, pueden aparecer pocas horas o días después de terminada, grietas de tensión en la superficie del terreno contiguo a la misma. La presencia de dichas

(8).- K. Terzaghi. "Soil Mechanics in Engineering Practice".

grietas reduce en forma considerable la altura crítica H_c y tarde o temprano las paredes se desmoronan. Para evitar esto, en excavaciones angostas y poco profundas se apuntala la parte superior de la forma siguiente:

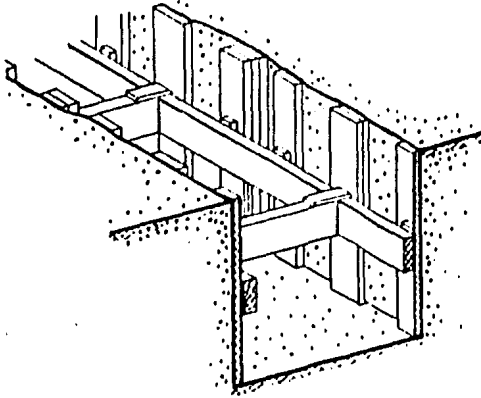


Los puntales se colocan usualmente cada 2.50 m. soportando tablonces de madera horizontales de 3 pulgadas de espesor, que se afirman a las paredes de la excavación colocando cuñas entre los tablonces y los puntales, o bien en caso de utilizar puntales de acero extensible, extendiendo éstos por medio de sus tornillos.

Cuando la profundidad de una excavación angosta -excede de $0.5 H_c$, es usual colocar puntales a medida que se excava. Los puntales se afirman en ademes verticales,

O también se pueden afirmar contra vigas horizontales que soportan un entablonado vertical.

En suelos cohesivos no es necesario colocar los ademes unos contra otros, de modo que podemos dejar un espacio entre ellos. Sin embargo en suelos no cohesivos -como arenas y gravas- debemos colocar los ademes unos contra otros formando un verdadero tablestacado.



"Ademe abierto"

Los puntales se colocan con una separación de unos 2.50 m. en sentido horizontal y de 1.00 a 2.00 m. en sentido vertical. En excavaciones angostas consisten generalmente en vigas de madera de 6 x 4 pulgadas, dimensiones que pueden aumentar a 8 x 8 pulgadas cuando el ancho de la excavación alcanza 3.50 m. Pudiéndose utilizar, -en todo caso- puntales metálicos.

Para las soleras o entablonado vertical se recomienda usar tablonces de un ancho del orden de 6 pulgadas. Los entablonados contruídos de acuerdo a estas dimensiones pueden utilizarse sin peligro en excavaciones en arena no cohesiva hasta una profundidad de unos 9 m. y en arcilla blanda hasta una profundidad de unos 2 m. en exceso de Hc.

IV.3. - METODOS PARA EXCAVACIONES ANGOSTAS Y PROFUNDAS.

En excavaciones profundas -de más de 6 mts.- la entibación incluye una parte considerable del costo total de obra y los riesgos de falla del terreno son altos por lo que -económicamente- conviene efectuar una investigación detallada del subsuelo y proyectar el sistema en función del empuje de tierra calculado. Usualmente se utilizan los siguientes tipos de apuntalamiento y ademe:

A.- Entablonado Horizontal

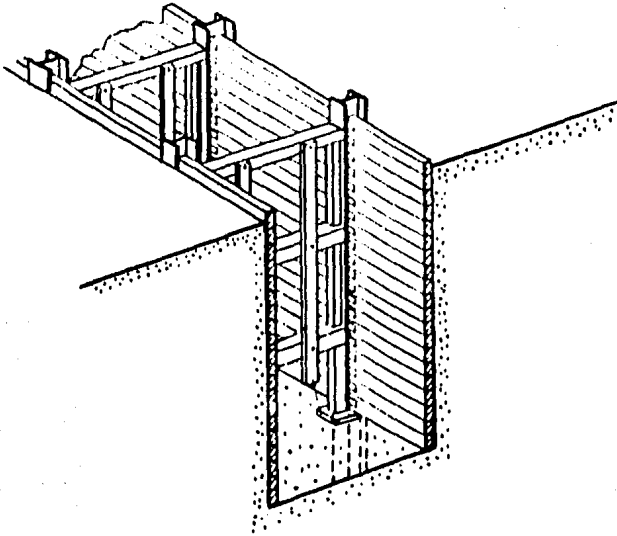
B.- Hincado de Viguetas

C.- Tablestacado

A.- Entablonado Horizontal.- Está formado por tablones de revestimiento colocados en posición horizontal y - - apuntalados a través de vigas transversales apoyadas en dos largueros que soportan los tablones.

B.- Hincado de Viguetas.- Los tablones de revestimiento se apoyan colocándolos horizontalmente entre los perfiles de dos viguetas de acero de sección "H" hincadas en el suelo. El apuntalamiento se realiza colocando vigas horizontales que reciben el esfuerzo de las viguetas de acero.

C.- Tablestacado.- En este tipo de ademe se emplea como medio de revestimiento tablestacas de acero apuntaladas con puntales apoyados en carreras horizontales que distribuyen las presiones.



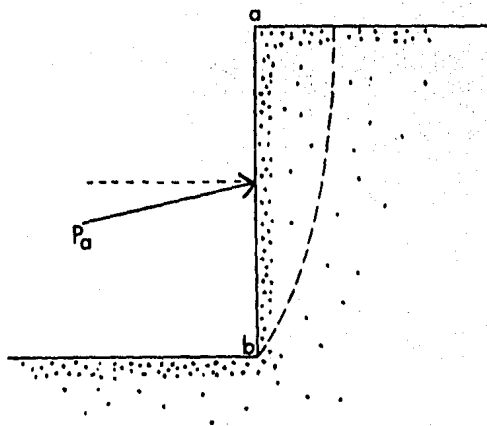
"Apuntalamiento y ademe con viguetas de acero de sección II"

En los tres tipos anteriores se sigue comunmente el siguiente proceso constructivo:

1o.- Hincado vertical de viguetas de acero de sección II o tablestacas, según el tipo de ademe a usar, siguiendo el contorno de la excavación y hasta una profundidad algo mayor que el fondo proyectado.

2o.- A medida que la excavación progresa el espacio entre las viguetas de sección II se cierra colocando directamente contra el suelo tablas horizontales.

30.- Colocar el apuntalamiento. Los puntales se colocan a medida que se excava de modo que el desplazamiento o giro del ademe hacia adentro de la excavación es muy pequeño en la fila superior de éstos y aumenta con la profundidad de tal manera que la forma del desplazamiento nos indica una distribución de presiones aproximadamente parabólica, con la máxima presión situada cerca de la mitad de la altura, como se muestra a continuación:



Es por ésto que para determinar el empuje del terreno sobre el ademe es usual aplicar el Método de la Espiral Logarítmica, que considera como hipótesis fundamental el suponer que la superficie de falla del suelo describe precisamente una línea constituida por una espiral logarítmica de ecuación:

$$r = r_0 c^{e \operatorname{tg} \phi}$$

La interpretación de esta expresión puede consultarse en la referencia bibliográfica núm. 4.

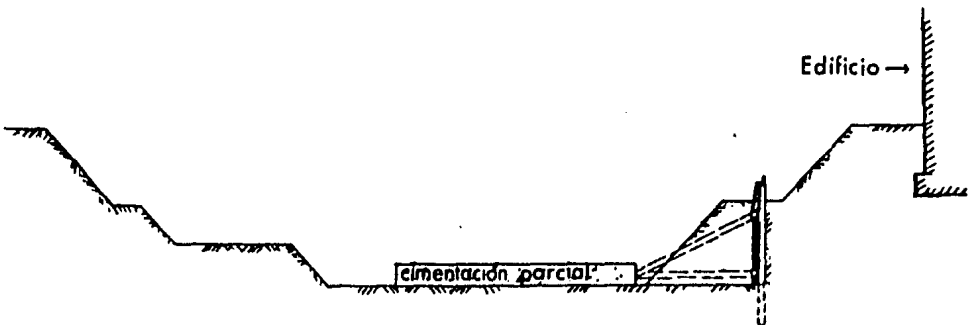
IV.4.- METODOS EN EXCAVACIONES ANCHAS Y PROFUNDAS.

Las entibaciones en excavaciones anchas y profundas se realizan utilizando generalmente dos tipos diferentes de procedimientos:

A.- Apuntalamiento Inclinado

B.- Apuntalamiento Horizontal

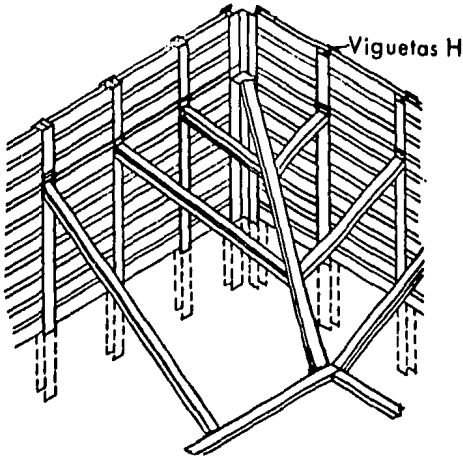
A.- Apuntalamiento Inclinado.- Las excavaciones de gran tamaño pueden sujetarse con diversos sistemas de puntales inclinados. En suelos blandos pueden hincarse previamente unas tablestacas dejando un frente inclinado que las sujete al hacer la excavación. Se coloca entonces un larguero superior que las sujete, el cual es fijado con unos puntales inclinados. Al aumentar la profundidad de la excavación se fija y apuntala un segundo larguero, e incluso un tercero si fuera necesario. Los largueros son sostenidos por medio de unos soportes y de unos colgantes desde la parte superior del tablestacado, como se muestra a continuación:



Los pies de los puntales pueden descansar sobre unos pilotes especiales, sobre el suelo de concreto de la excavación parcialmente terminado o sobre una viga sujeta al suelo.

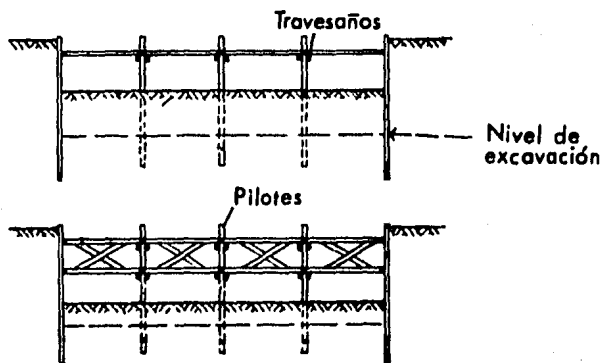
En vez de usar tablestacas pueden utilizarse un estribado horizontal o hincado de viguetas de acero de manera análoga a la indicada en el método para excavaciones angostas; combinándolos con los puntales inclinados.

En caso de que el terreno sea bueno, es decir, firme - arcillas y arenas compactas - pueden utilizarse puntales inclinados combinados con un ademe de soleras abiertas; como se muestra:

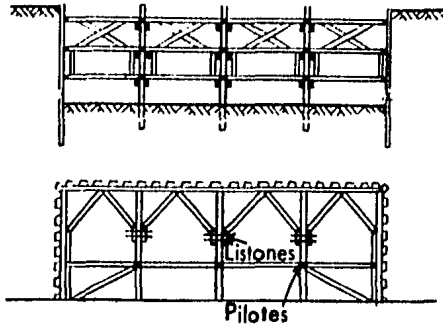


B.- Apuntalamiento Horizontal.- En excavaciones anchas y profundas también es factible utilizar puntales horizontales, transversales a la excavación y paralelos al fondo de la misma. Para sostenerlos se hincan pilotes o vigas de sección H, precisamente en los puntos de unión de los puntales, evitando con ésto que los puntales se flexionen; debiéndose hincar en el suelo lo suficientemente profundos para lograr desarrollar resistencias satisfactorias contra las fuerzas de compresión o elevación. Debe procurarse mantener siempre los puntales apoyados firmemente sobre los largueros y enlazar los entramados unos con otros por medio de tirantes o listones.

Para cuantificar el empuje sobre los puntales -tanto inclinados como horizontales- es aplicable la teoría de la Espiral Logarítmica mencionada anteriormente.



"Apuntalamiento de una excavación ancha y profunda; primer y segundo entramado"



"Apuntalamiento de una excavación ancha y profunda;
tercer entramado y media planta"

IV.5.- CASOS ESPECIALES DE APUNTALAMIENTO

En los edificios modernos cuya estructura es de acero o de concreto reforzado, ésta es lo suficientemente rígi-da para mantener estable la construcción mientras se excava en las proximidades de sus cimientos; asimismo, los hundimien-tos han sido convenientemente considerados para no afectar - la vida útil de la obra. Sin embargo, es común en México - que en algunas edificaciones resueltas a base de mamposte - rías como elementos estructurales se presenten ciertos pro - blemas relacionados con la excavación y cimentación, en los cuales un apuntalamiento adecuado nos servirá como medio pa - ra dar la solución definitiva.

En general pueden presentarse los siguientes problemas o casos especiales:

A.- Recimentación en casos de hundimiento o inclinación.

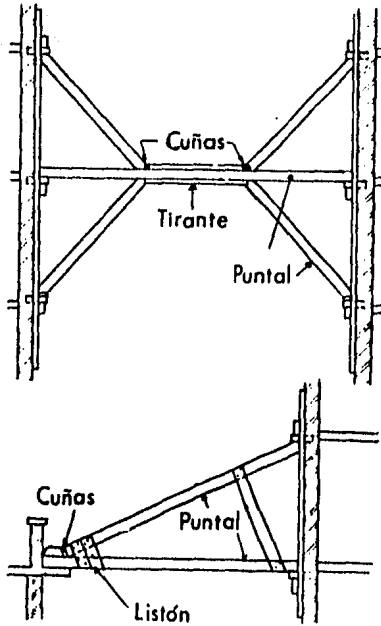
B.- Defensa contra asentamientos en edificaciones contiguas a una excavación.

A.- Recimentación en casos de hundimiento o inclinación. En estructuras que han sufrido inclinaciones debidas a asentamientos diferenciales, es posible efectuar trabajos de recimentación a través de excavaciones. Antes de excavar y recimentar será necesario colocar un sistema de apuntalamiento. En caso de muros o columnas inclinadas deberá colocarse un soporte externo junto con el soporte vertical.

Los puntales inclinados suelen utilizarse con mucha frecuencia cuando es necesario disponer un soporte externo. El ángulo de los puntales varía generalmente entre 60 y 75 grados. Si los puntales inclinados obstruyen los trabajos de construcción, pueden entonces emplearse Puntales Volantes, siempre y cuando hay alguna estructura o muro convenientemente colocado sobre el cual se puedan apoyar éstos. Tomlinson (8), limita en la práctica la longitud de los puntales volantes hasta unos 10.5 mts.

Tanto los puntales inclinados como los volantes - - deberán colocarse apoyados en los muros al nivel de los pisos del edificio, como se vé:

(8).- Tomlinson, M.J. "Diseño y Construcción de Cimientos".



Esto asegura que el empuje se transmita a toda la estructura y evita crear un momento flexionante en el muro. Sí no hay ningún piso a un nivel adecuado deberá colocarse en el extremo del puntal un miembro vertical rígido para que distribuya la carga.

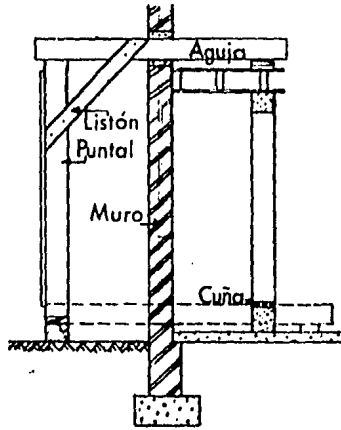
Para soportar la carga vertical de un muro o columna pueden emplearse Puntales Muertos, que consisten en vigas verticales que se apoyan en el terreno a la distancia precisa del muro para dejar espacio libre a los trabajos de recimentación o apuntalamiento por la base. Sobre ellos se apoya por sus extremos una viga horizontal o de "Aguja".

Los puntales inclinados o muertos deben proyectarse para soportar todo el peso de los muros y cargas transmiti - das hasta ellos desde los pisos y techo del edificio.

En muros las vigas de aguja se introducen a través de unos agujeros practicados en ellos. Entre estas vigas y la parte inferior del muro se deja un hueco en el cual se - apisona un mortero bastante seco para asegurar un buen apoyo en toda la anchura del muro. Los puntales muertos e inclina - dos deben sujetarse firmemente y tener un apoyo firme sobre una Placa de Asiento. Si el terreno tiene una capacidad de carga baja, deberá colocarse una placa o emparrillado de - - madera, concreto o acero. En los pies de los puntales convie - ne poner unas cuñas plegables de madera dura para que compen - sen cualquier posible aflojamiento del terreno y acortamien - to elástico de los materiales de apuntalamiento.

La madera es adecuada para puntales inclinados en - muros de hasta 9 m. de altura. Los de más altura pueden - - apuntalarse con estructuras de acero, tubulares o perfiles.

Las columnas o las estructuras reticulares pueden - apuntalarse individualmente por medio de vigas de aguja. Es común apuntalar las vigas al nivel del primer piso y dejar - colgado de ellas la columna mientras se efectúan los traba - jos de recimentación.



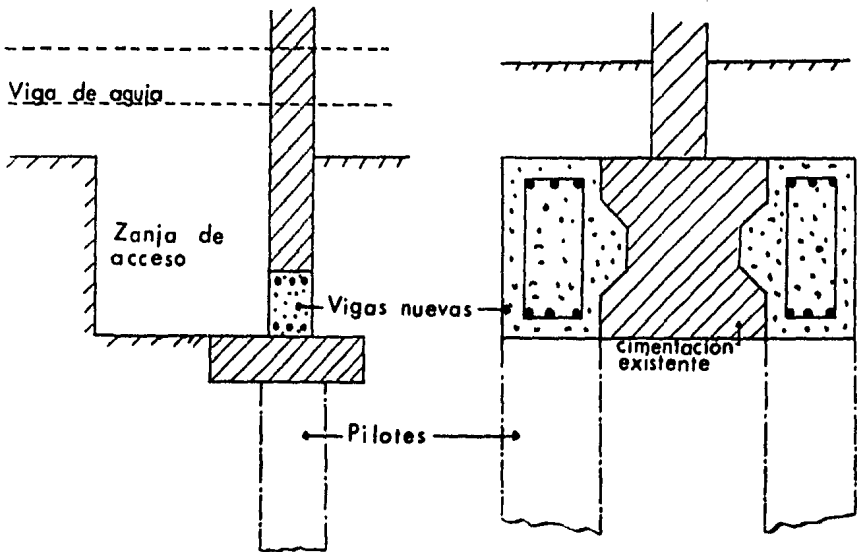
"Puntales muertos y viga de aguja"

El apuntalamiento por la base para cimentaciones con zapatas corridas consiste en excavar unas zanjas rectangulares a intervalos bajo la misma zapata. Estas zanjas se rellenan con concreto hasta la parte inferior de la cimentación, después se excavan otras zanjas y se construye en su interior la nueva cimentación de concreto, uniéndola a la obra ya efectuada, formando así una zapata continua de apuntalamiento con las dimensiones requeridas.

Según Tomlinson (6) la máxima longitud de muro que puede dejarse sin apoyo sobre cada zanja excavada suele tomarse de 1.20 a 1.50 m. o $1/5$ de la longitud total del tramo para muros de mampostería de construcción normal.

(6). Op. Cit.

Las cimentaciones con pilotes o pilas son una alternativa aconsejable para recimentar muros o columnas en terrenos difíciles y con estratos de capacidad de carga notablemente buena a una profundidad adecuada. La zapata continua -para apoyar los pilotes- puede construirse disponiendo en cada bloque de concreto colocado unos agujeros longitudinales, formando conductos continuos a lo largo de todo el tramo, a modo de poder introducir acero de refuerzo e inyectar pasta de cemento en ellos y formar así una viga reforzada de concreto. Una vez terminada la zapata continua se elimina cuidadosamente la viga de aguja y los puntales muertos para transmitir el peso hasta los pilotes.



"Apuntalamiento por la base de cimentaciones de muros utilizando vigas y pilotes"

B.- Defensa contra asentamientos en edificaciones contiguas a una excavación.

Una excavación a cielo abierto -como las usadas para construir cimentaciones- produce efectos similares a los de una aplicación de una carga. Al aplicar una carga sobre una superficie de suelo -de cualquier tipo- se origina un hundimiento inclinado de la superficie de suelo adyacente. La distancia hasta la cual dicho hundimiento tiene alguna importancia en la práctica depende de las características del suelo y de las dimensiones del área cargada -o excavada en este caso-.

El asentamiento producido por una excavación depende en gran parte del tipo de ademe utilizado para soportar las paredes de la misma y del procedimiento con que se instala. "Por ello la magnitud del asentamiento no puede calcularse y toda previsión debe basarse solo en experiencia de casos bien observados" (Terzaghi Op. Cit.).

Cuando la excavación se realiza en suelos arenosos y la superficie del terreno adyacente soporte zapatas superficiales, el asentamiento originado no se extiende más allá de una distancia igual a la profundidad de la excavación. Para reducir al máximo este asentamiento podemos colocar un sistema de apuntalamiento y ademe como los anteriormente descritos, y lograr así asentamientos máximos de aproximadamente el 0.5% de la profundidad de la excavación.

Cuando la excavación es en arcilla blanda, la arcilla de los costados de la excavación actúa como una sobrecarga. Bajo ésta, la arcilla situada cerca del fondo se deforma lateralmente hacia el fondo de la excavación y el fondo -

de la misma se levanta. Como consecuencia de estos movimientos la superficie del terreno adyacente se asienta. Durante el tiempo que pasa entre la excavación y la instalación de las puntales, se produce una deformación lateral adicional.

Sí la excavación es angosta, o si el fondo está situado cerca de la superficie de un estrato firme, la deformación lateral se extiende hasta una corta distancia de las paredes de la excavación, así que el asentamiento de la superficie adyacente se limita a fajas relativamente angostas, situadas a cada lado de la misma. El ancho de estas fajas no excede la profundidad de la excavación y más allá de esta distancia el asentamiento es despreciable. Con un buen apuntalamiento y ademe se pueden mantener tanto la deformación lateral de la arcilla como los asentamientos de la superficie adyacente del orden de 0.5% de la profundidad de la excavación.

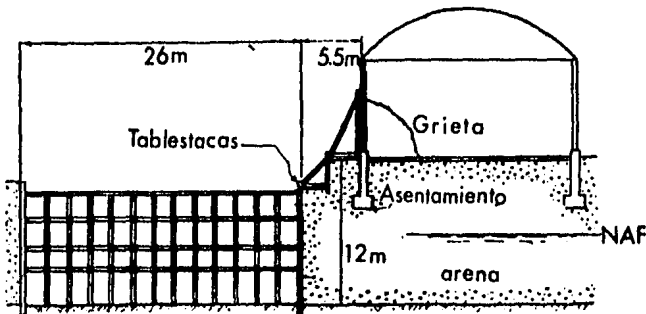
Sí la excavación es ancha y la arcilla blanda llega hasta una profundidad grande por debajo del fondo, la deformación lateral y los asentamientos superficiales correspondientes pueden ser de extensiones considerablemente mayores. Así mismo sí la profundidad de la excavación aumenta, también el factor de estabilidad $N = H/c$ aumenta y los asentamientos crecen rápida y notablemente.

Estos asentamientos inevitables al practicar excavaciones anchas y profundas en arcilla blanda -aún cuando tengan un sistema de apuntalamiento y ademe- pueden llegar a ser intolerables; en tal situación, es posible reducirlos con un método constructivo cuyo principio básico es no retirar a un mismo tiempo el peso del suelo a excavar de toda el área en cuestión. Este método es conocido como "Método de Zanjas o Trincheras".

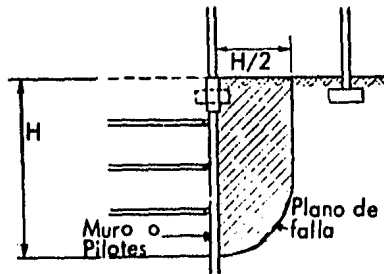
El método de zanjas o trincheras consiste en excavar en la periferia del área una zanja angosta y profunda que permita construir la cimentación de la estructura a edificar; las paredes de la zanja o trinchera se apuntalan y ademan. Como la zanja es angosta, los asentamientos en las zonas adyacentes son mucho menores que los que se producirán si la excavación fuese ancha y de la misma profundidad. Después que se han completado las paredes exteriores se excavan trincheras transversales, las que se apuntalan y ademan siguiendo un proceso similar al utilizado para las perimetrales. El suelo situado entre las zanjas ya utilizadas se excava, a modo de una parte cada vez, y se coloca la losa de cimentación antes de excavar las partes adyacentes.

Cuando la excavación esta debidamente ademada y apuntalada o los lados pueden tener un talud estable no será necesario dar un apuntalamiento por la base a los cimientos de edificaciones adyacentes. Sólo en caso de que la estructura contigua se encuentre precisamente en el límite del área excavada conviene el apuntalamiento por la base; combinándolo con el ademe de la excavación.

Los elementos de apuntalamiento pueden ser pilotes o viguetas hincadas que soporten la cimentación contigua, y los elementos de ademe un tablestacado o entablonado que se apoye en los mismos pilotes o viguetas. Para el cálculo de los pilotes de base se deberán considerar todas las cargas laterales transmitidas hasta ellos desde el terreno lateral.



"Apuntalamiento y daño producido a una estructura adyacente como consecuencia de asentamiento"



"Apuntalamiento por la base contiguo a una excavación profunda"

Una vez realizada la excavación, estando ésta en condiciones estables y libre de agua freática se procederá a colocar la cimentación. Sea cual fuere el tipo de cimentación escogido, deberemos utilizar un adecuado Procedimiento de Construcción, Maquinaria y Equipo.

V.- PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCION. MAQUINARIA Y EQUIPO

V.1.- METODOS DE EXCAVACION

Tomando en cuenta las dimensiones y dureza del terreno a excavar, de manera muy general, podemos considerar tres tipos de excavaciones en edificación:

A.- Zanjas y Pozos

B.- Grandes Excavaciones

C.- Excavaciones en Suelos Rocosos

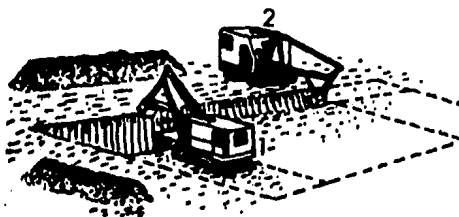
Cada tipo implica la utilización de un procedimiento diferente. Pero en todos se requiere dar una preparación previa al lugar, la cual consiste en localizar e identificar las líneas de conducción -como cables y tuberías- subterráneas que existen en el área con el fin de evitar costosos accidentes, - así como investigar señales de agrietamiento o asentamientos - ya existentes en edificios contiguos. Esto último es indispensable en excavaciones profundas, con voladuras o en hincamientos de pilotes. En lotes semiurbanos, sí se requiere, también habrá que hacer los trabajos de despalme, desmonte y nivelación, ya sea con mano de obra o maquinaria. Una vez hecha la preparación del lugar iniciamos la excavación utilizando el método correspondiente.

A.- Zanjas y Pozos.- Son las obras de menor volumen, debido a lo cual en nuestro país es común realizarlas a mano -con pico y pala-, sobretodo en construcciones poco reelevantes. La tierra se corta, extrae y deposita a los lados. Posteriormente se retira con carretilla al sitio de depósito.

Para excavar series de zanjas o pozos es preferible utilizar máquinas, la retroexcavadora y la excavadora de cangilones son las más recomendables para zanjas y la grúa con cucharón de almeja para pozos.

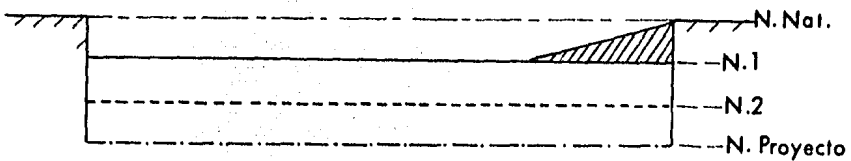
B.- Grandes Excavaciones.- Se consideran de este tipo a aquellas excavaciones que cubren superficies iguales o mayores a la base de un edificio y que alcanzan varios metros de profundidad.

Cuando la excavación no es muy profunda es común utilizar una retroexcavadora, ya que ésta puede cargar la tierra sobre los camiones permaneciendo en el borde nivel natural. La superficie total a excavar se divide en áreas menores, "trincheras", en función del equipo disponible a manera de no interferir una a otra.



"Excavación por trincheras para cimientos de un edificio"

Si la excavación es profunda se trabaja por "capas" o sea varios niveles de excavación, debiendo preparar en la ejecución de cada capa una rampa que permita bajar a máquina excavadora y camiones al frente de ataque. La pendiente debe ser de 10:1 ó 15:1 a fin de que los camiones cargados puedan subirla. Es posible que ciertas retroexcavadoras puedan cargar los camiones desde un nivel a otro, en cuyo caso la rampa de acceso puede tener una pendiente mayor -30:1-.



"Rampa de acceso en grandes excavaciones"

Si la excavación es profunda, pero limitada en área será difícil realizar lo anterior. Se recurre entonces a -- máquinas excavadoras con cables de elevación, específicamente dragas y grúas con cucharones de almeja.

C.- Excavaciones en Suelos Rocosos.- En roca maciza, como basalto y granito, es necesario emplear explosivos - para fragmentarla antes de comenzar la extracción mecánica. El procedimiento más general de perforación y voladura que se sigue para excavación en trabajos de cimentación consiste en formar con explosivos una serie de gradas o bancos sobre los cuales trabajarán las excavadoras, cargando el material a los camiones. Para realizar la voladura se perforan una serie de

agujeros de diámetro promedio cercano a 15 cms. con amplias separaciones, utilizando martillos neumáticos o barrenos. Dentro de éstos se introduce el explosivo, llegándose a obtener de 4 a 7 toneladas de extracción por cada 500 gramos de explosivo común.

Realizada la excavación procedemos a construir la cimentación.

V.2. CONSTRUCCION DE CIMENTACIONES

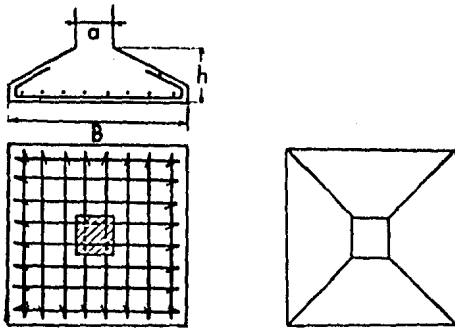
El procedimiento constructivo de una cimentación está en función de las características del tipo que se trate. Así por ejemplo, el procedimiento a seguir para colocar un pilote difiere totalmente del método para desplantar una zapata. En general destacan los procedimientos empleados para los siguientes elementos:

- A.- Zapatas
- B.- Losas
- C.- Pilotes hincados a golpe
- D.- Pilotes hincados a presión y preexcavados
- E.- Pilotes colados en el lugar
- F.- Pilotes de acero
- G.- Pilas, Cilindros y Cajones

A.- Zapatas.- Si su ancho no excede de 1 m. la forma más usada es la zapata de altura constante. Para anchos mayores es más económico un perfil cuya altura decrezca hacia los extremos -perfil semejante al de la resistencia a la flexión-, generalmente se disponen dos chaflanes cuya altura mínima en los extremos es del orden de 0.10 a 0.15 mts.

El acero de refuerzo está constituido por varillas longitudinales en el lecho inferior; encontrándose el acero transversal por abajo de aquellas. Conviene colocar una capa de unos 5 cms. de concreto pobre sobre el fondo de la excavación a fin de disponer de una superficie limpia y uniforme en que apoyar el armado. El concreto deberá colocarse rápidamente para proteger el fondo del deterioro por lluvia o resequedad.

Sí el material extraído en la excavación es arena o grava con arena puede mezclarse con cemento para formar la capa de relleno o "cama". El espesor del concreto de la zapata debe ser suficiente para prescindir del armado por esfuerzos cortantes.



"Sección típica de una zapata cuadrada"

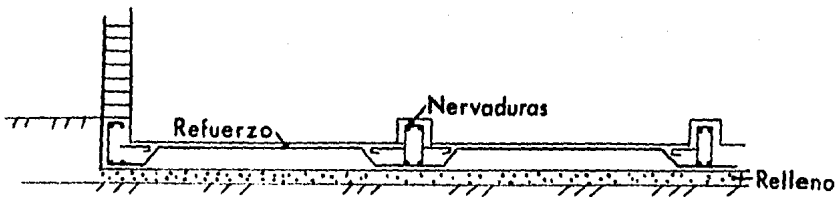
B.- Losas.- El principio de la losa de concreto reforzado en cimentación es el mismo que el de una losa de piso trabajando a la inversa, o sea, que los esfuerzos uniformemente repartidos son dirigidos hacia arriba -reacción del terreno- y los esfuerzos puntuales hacia abajo. Es práctica común, pero no necesaria, colar la losa sobre una capa de concreto pobre de unos 5 cms. de espesor, a fin de permitir la fácil colocación de las varillas y evitar que estén en contacto directo con el terreno.

En función de las cargas y tipo de terreno la losa puede ser plana, con nervaduras o abovedada.

La losa plana es la más común y económica ya que el cimbrado es mínimo y el colado fácil, sin embargo su uso se restringe a cargas no muy grandes -como casas habitación- debido a su menor rigidez. Esta formada por una losa simplemente armada unida a los elementos estructurales monolíticamente, se utiliza en claros hasta de unos 6 mts. ya que en claros mayores su espesor tendría magnitudes prohibitivas. Si los muros de carga son de ladrillo se debe poner como liga una trabe de concreto armado que permita el anclaje e incremente la rigidez.

La losa con nervaduras se utiliza en claros mayores de unos 6 mts., donde una losa plana tendría grandes espesores -del orden de 50 cms-. Su uso nos permite ahorrar concreto y hacer trabajar mejor al armado. Las nervaduras se colocan encima de la losa, ya que el acero trabaja a tensión; las columnas o muros de carga descansan sobre estas nervaduras.

La losa abovedada es difícil de colocar, tiene que darse forma de arco al terreno de apoyo. Debido a ésto es poco utilizada en cimentaciones, sin embargo debe considerarse que, debido a su forma, utiliza poco acero de refuerzo en suelos blandos como el de la zona del Lago del Valle de México, lo que puede resultar una solución económica en nuestros días.

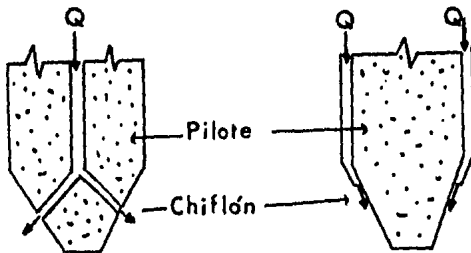


"Losa nervada de casa-habitación"

C.- Pilotes hincados a golpe.- Para hacer descender los pilotes hasta el nivel de apoyo en suelos blandos el procedimiento más fácil es golpear la cabeza del pilote a manera de "clavarlos" en el suelo. Para producir los impactos o golpes se utiliza un martinete montado sobre una grúa.

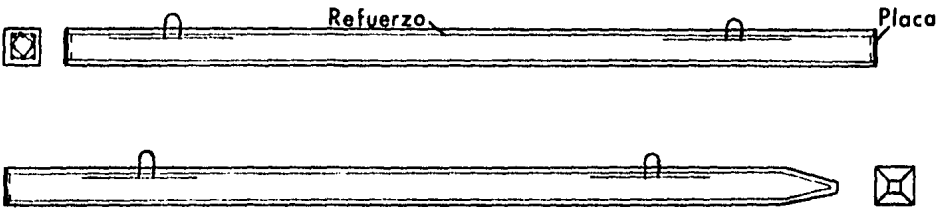
Los pilotes de fricción simplemente se hincan hasta el nivel de proyecto, pero los pilotes de punta deben seguir cierto criterio llamado de "rechazo", según el cual las condiciones del pilote son aceptables si con los últimos 3 a 5 golpes el pilote no se hinca más de 1 cm., durante los 4 cms. finales; siempre y cuando se haya alcanzado el estrato resistente en su cota proyectada.

Si en el estrato por atravesar hay lentes de arena y la hincada a golpes se dificulta, da buen resultado usar agua a presión inyectada por la punta, a través de un chiflón dispuesto con anticipación dentro del pilote, como se muestra:



La inyección de agua debe suspenderse mínimo un metro antes del nivel definitivo de apoyo con el objeto de no afectar la estructura del estrato de desplante.

En México los pilotes de concreto más usados para ser hincados a golpes son los simplemente reforzados, de sección cuadrada o circular y calibres comprendidos entre 30 y 60 cms. Para poder introducirlos en el suelo se coloca el pilote verticalmente con la ayuda de una grúa junto a la barra o tubo guía donde corre el martinete, esta barra guía está sostenida por otra grúa. Una vez colocado el pilote se golpea con el martinete. En caso de requerir grandes longitudes -30 a 60 mts.- debe procederse a introducir los pilotes por tramos. Donde cada tramo es unido al siguiente por soldadura en la placa metálica que normalmente tienen en el extremo.

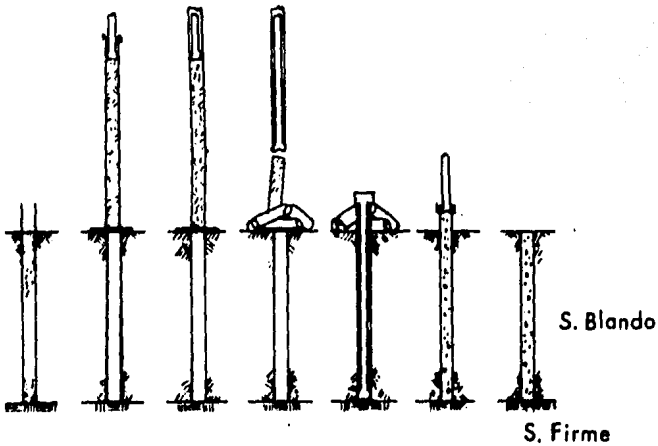


"Pilote típico de concreto reforzado"

El hincado a golpes de pilotes en arcillas blandas es relativamente fácil, ya que los pilotes durante los primeros golpes producen un remoldeo en ellas que disminuye la resistencia del suelo al esfuerzo cortante y esto hace que bajen por su propio peso en su mayor tramo.

D.- Pilotes hincados a presión y preexcavados. Los pilotes a presión son hincados en pequeños tramos de unos 50 a 100 cms. de longitud. Son muy útiles en trabajos de recimentación en que se disponga poco espacio de maniobra. Las secciones tienen un hueco en el centro de unos 8 cms. de diámetro; donde se verifica la construcción y se refuerza al pilote. Para hincarles se hace una pequeña excavación en cuyo fondo se coloca la primera sección del pilote con punta metálica preferentemente que se presiona con un gato hidráulico para lograr la penetración; en recimentaciones el gato se apoya sobre la estructura existente. Hincada la primera sección se le une la segunda por medio de un collar de acero, repitiéndose esta operación el número de veces que sea necesario.

El pilote preexcavado se usa en suelos que se deforman lateralmente durante la hincada a golpes, afectando a los pilotes contiguos, levantándolos y desplazándolos. Primeramente se hincan un tubo de acero de punta biselada hasta el estrato de apoyo, y se extrae el tubo con el material que quedó en su interior. Después el material se vacía elevando el tubo y colocando un mandril fijo en su extremo superior que impida que el material suba con el tubo; se vuelve a meter el tubo con el mandril en su interior hasta el nivel de apoyo; se extrae el mandril y se llena el tubo de concreto; en seguida se presiona el mandril sobre el concreto y se extrae el tubo. Si el suelo es tan blando que el hueco de la excavación se cierra al sacar el tubo, pueden usarse dos tubos, uno dentro de otro, donde el tubo externo actúa como ademe.



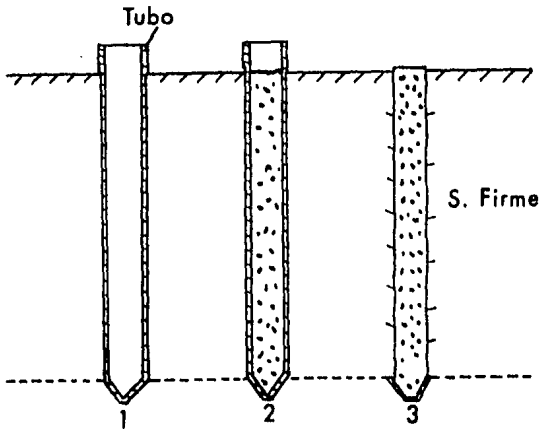
"Pilote preexcavado"

E.- Pilotes colados en el lugar.- Como su nombre nos lo indica, estos pilotes se construyen depositando el concreto fresco en la perforación hecha previamente en el suelo, dejándolo que se cure ahí mismo. Los dos procedimientos principales para construir estos pilotes son:

a) Hincarse un tubo metálico y llenarlo de concreto a medida que se va sacando el tubo.

b) Hincarse un tubo metálico, llenarlo de concreto y dejarlo que se cure ahí en el suelo.

El primer procedimiento se usa donde el suelo sea - tan estable que no se derrumbe rápido la excavación, en donde el agua no la inunde y donde no se perjudique a un pilote - - recién colocado al efectuar excavaciones para los pilotes - - vecinos. La ventaja de usar pilotes colados en el sitio es - que no precisan espacio de almacenamiento, ni grúas para su - manejo; además no están sujetos a daños por maniobras de manejejo o hincado.



"Pilote colado en el sitio"

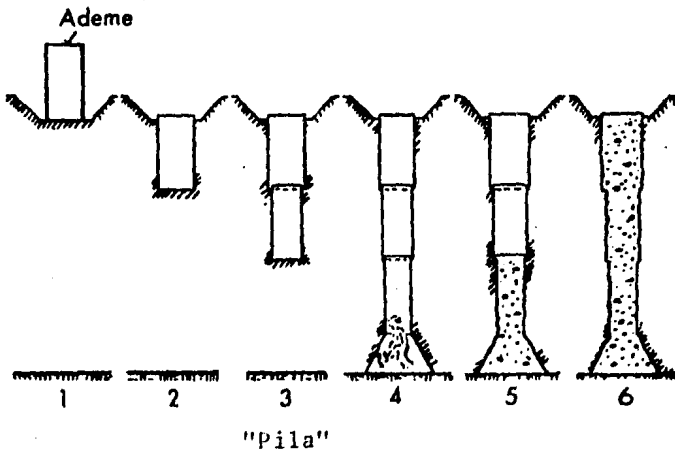
F.- Pilotes de acero.- Estos pilotes se construyen generalmente con secciones de tubo de acero o con viguetas de sección H. Los pilotes de acero de sección tubular pueden tener su punta cerrada o abierta; pueden rellenarse con concreto una vez que alcanzan su profundidad de desplante. Es común que sean trabajados en secciones unidas entre sí por juntas especiales o soldadas; con ésto se logra más maniobrabilidad y menor espacio para la colocación. Son buenos para soportar grandes cargas, debiéndose proteger con pintura anticorrosiva. Los pilotes de sección H, debido a su pequeña área transversal y a su gran rigidez, son adecuados para penetrar materiales duros en los que otro tipo de pilotes daría problemas de hincado. También son recomendables para lugares en que no se desea tener fuerte desplazamiento del suelo a causa del hincado.

G.- Pilas, Cilindros y Cajones.- Las pilas suelen ser coladas en el lugar, en pozos excavados a mano o con maquinaria, ya que sus dimensiones hacen difícil el hincado. El procedimiento llamado de "pozo seco" es el más usado en la excavación, el cual consiste en hacer un pozo a pico y pala en terreno seco o con pocas filtraciones, convenientemente ademado.

En terrenos blandos o con grandes filtraciones de agua se puede extraer el material hasta una profundidad de 1 a 2 mts., ademar con largueros verticales de madera; que se mantienen en anillos de acero; continuar la excavación ademandando en cada tramo y si son varias pilas emplear una grúa con cucharón de almeja para extraer el material que va quedando dentro de cada sección. En caso de filtraciones de agua excesivas se pueden introducir en el terreno secciones tubulares de acero en lugar de los largueros de madera.

Los cilindros tienen un procedimiento constructivo que consiste en colarlos fuera del sitio de desplante y una vez fraguados darles su colocación final, excavar en su interior con un cucharón de almeja de manera que vayan descendiendo a medida que se retira el material bajo él, hasta llegar al estrato resistente. Cuando son de gran longitud -10 a 30 mts.- se construyen por tramos, colando cada sección sobre la superficie monolíticamente unida a la parte hincada anteriormente. Una vez colocado el elemento en su posición final se cuele un tapón en su parte inferior y una tapa en la superior quedando hueco.

Los cajones de cimentación tienen un procedimiento constructivo semejante al de los cilindros. El cajón de una o varias celdas pueden hacerse extrayendo el material de su interior y colando el elemento en tramos, a medida que se va hundiendo. Las celdas deben tener las dimensiones apropiadas para permitir la excavación, y en cajones muy profundos se recurre al lastrado y chiflones de agua para vencer la fricción lateral, esto también puede hacerse en construcción de cilindros largos.



V.3.- MAQUINARIA Y EQUIPO

Se entiende por maquinaria y equipo al conjunto de máquinas y herramientas disponibles para construir una obra. El equipo utilizado para hacer trabajos de excavación comprenden de las diversas formas de tractores, las escarpadoras, motoconformadoras, grúas y dragas. Estas dos últimas son las más comúnmente usadas en trabajos de excavaciones para cimentaciones - en edificación.

En nuestro país suele utilizarse la mano de obra -pico y pala- en excavaciones poco voluminosas, como zanjas no profundas y pozos secos. Sin embargo, los métodos de excavación a mano resultan de costo elevado y la tendencia actual es recurrir a máquinas excavadoras.

Las máquinas excavadoras tienen cierta semejanza en su montaje y superestructura. Las grúas son el equipo predominante, éstas son generalmente automotrices y van montadas sobre bandas de oruga. El motor y la superestructura están colocados sobre una plataforma giratoria. Tienen un mecanismo con varios tambores para cable o cilindros para líneas de potencia hidráulica. Los tambores o cilindros son accionados por el motor, a un lado del mismo se encuentra el centro de control con palancas y botones para efectuar la transmisión mecánica, hidráulica o eléctrica. Todas estas partes montadas sobre la plataforma giratoria están rodeadas por una caseta de alojamiento o cabina. Específicamente destacan las siguientes máquinas:

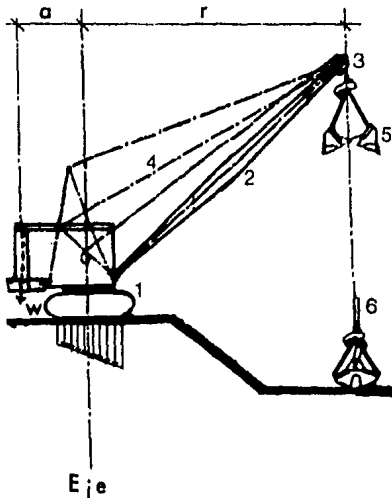
- A.- Grúas con cucharón de almeja
- B.- Dragas
- C.- Retroexcavadoras

D.- Zanjadoras

E.- Martinetes

A.- Grúas con cucharón de almeja.- El "clamshell" o cucharón de valvas de almeja es un aparato semejante a una cuchara prensora. Pueden encontrarse en el mercado en tres tipos diferentes: pesados, medianos y ligeros. Los pesados son los empleados en excavaciones y pueden tener dientes - - removibles en caso de materiales duros.

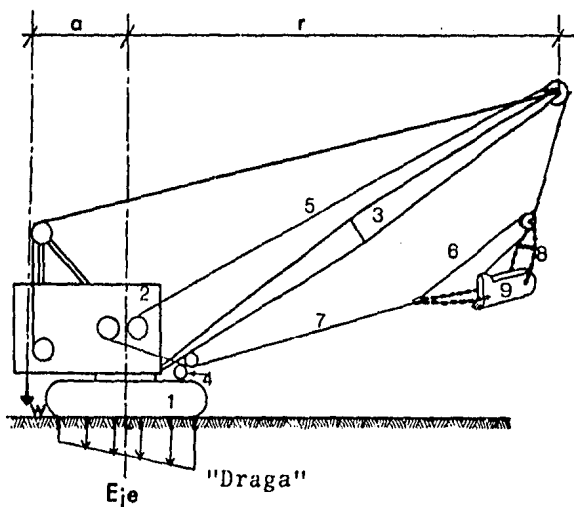
En conjunto este aparato está formado por la grúa y el cucharón. La grúa comprende la montura (1), la pluma (2), poleas de cabeza (3), y cables (4). El cucharón se compone de las quijadas (5), cables de cierre y elevación (6), y en caso de excavaciones muy precisas una barra guía. La grúa trabaja a manera de una viga en voladizo donde el momento actuante y momento resistente tienen su radio de giro como se muestra en la figura siguiente. La condición de estabilidad es que el diagrama de esfuerzos resultante origine solo presiones en el terreno de apoyo.



La excavadora de cucharón de almeja se emplea comúnmente en abrir pozos y zanjas en suelos cohesivos o friccionantes. Esta máquina es ventajosa cuando la zanja es estrecha y tiene un apuntalamiento y adome, a través del cual el cucharón podrá pasar fácilmente entre los puntales para llegar hasta el fondo de la zanja.

B.- Dragas.- La acción excavadora de estas máquinas se logra esencialmente por medio de un cucharón de arrastre. Este es maniobrado por medio de una grúa de menor potencia, pero con mayor movilidad que una grúa normal. Al estar montadas sobre orugas las dragas pueden operar sobre suelos blandos; aunque tienen velocidades bajas de desplazamiento del orden de 1.5 km/h-. También hay unidades montadas sobre camión, pero éstas operan solo en terrenos resistentes, logrando en cambio velocidades considerables de desplazamiento unos 45 kg/h-. Las dragas sobre zapatas no son comunes en edificación, se utilizan más bien en construcción pesada.

Las partes principales de una draga son: montura (1), cabina (2), pluma (3), guía (4), cable de malacate (5), cable de descarga (6), cable de arrastre (7), cadena de levantar (8) y cucharón (9). Las dragas operan columpiando el cucharón vacío hasta la posición requerida, aflojando al mismo tiempo los cables de arrastre y levante. La excavación se realiza tirando del cucharón hacia la máquina mientras se regula la profundidad de la excavación por medio del cable de levante. El trabajo mecánico y estabilidad de la draga son análogos al de la grúa descrita anteriormente.



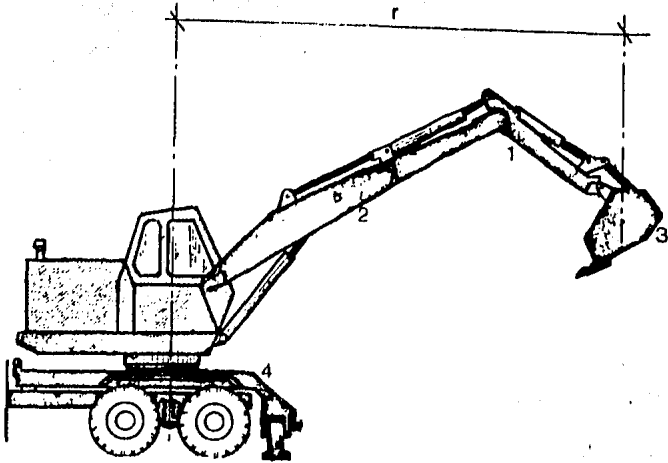
Generalmente la draga excava la tierra y la carga en camiones o la deposita en bancos de desperdicio cerca de los cortes donde se excava. No se requiere que la máquina se encuentre dentro de la excavación, ya que puede operar sobre el nivel natural del terreno, lo cual es muy ventajoso en suelos blandos. Las dragas son excelentes para excavaciones en donde se permite que los taludes tengan su ángulo de reposo, sin necesidad de ademes.

C.- Retroexcavadoras.- Una retroexcavadora hidráulica se compone básicamente de brazo (1), aguilón (2), cucharón (3), cabina y montura (4), como se muestra en la figura siguiente. El origen de esta excavadora se encuentra en las palas mecánicas. Una pala mecánica puede convertirse en retroexcavadora de cables instalando un aguilón y un cucharón en el extremo de su pluma. Sin embargo en la actualidad es generalizado el uso de retroexcavadoras donde todos los movimientos de

la cuchara tiene origen hidráulico; en éstas la fuerza de trabajo es proporcional a la potencia del motor ya que la acción hidráulica solo transmite la energía.

La retroexcavadora opera bajando el brazo hasta que los dientes del cucharón toquen el material que se va a excavar. A medida que el cucharón se arrastra hacia la máquina se va llenando de material. Por último el cucharón se levanta y oscila a la posición de descarga. Estas máquinas se utilizan principalmente para excavar debajo de la superficie natural del terreno sobre la cual descansan. Están adaptadas para la excavación de zanjas, pozos, trincheras y excavaciones escalonadas en donde se requiere un control preciso de las profundidades. A causa de su rigidez son superiores a las dragas cuando operan en espacios pequeños y para cargar camiones. Debido al esfuerzo directo ejercido sobre el cucharón las retroexcavadoras dan mayores presiones con los dientes al material que las dragas, llegando a producir del orden de 20 a 30% más que una draga de características análogas.

Asimismo, las retroexcavadoras son mejores que las zanjadoras en excavaciones de trincheras donde se permite que los bancos establezcan su talud natural y en donde no se amontonará el material excavado a lo largo de la trinchera, ya que la retro puede sacar la tierra a medida que se derrumba para establecer los taludes naturales, mientras que las zanjadoras no pueden hacerlo fácilmente.



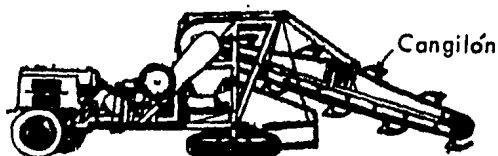
"Retroexcavadora"

D.- Zanjadoras.- Estas máquinas excavadoras generalmente están montadas sobre orugas para aumentar su estabilidad y distribuir su peso a través de un área más grande. Hay dos tipos básicos de zanjadoras, la de "rueda" y la de "cangilones".

Las zanjadoras de rueda consisten esencialmente en una rueda motriz en la que están montadas cierto número de cubetas removibles equipadas con dientes escarificadores. Las cubetas pueden obtenerse de diferentes anchos, y se les puede acoplar cortadores laterales cuando se quiera aumentar el ancho de la zanja. La máquina extrae el material haciendo bajar la rueda giratoria hasta la profundidad deseada a medida que se mueva hacia adelante, el material es levantado por las cubetas y depositado en una banda transportadora.

Las zanjadoras de cangilones se componen en su parte excavadora por dos cadenas sinfín que se deslizan a lo largo de una pluma y a la que se le han acoplado cangilones con dientes escarificadores. También pueden colocarse cortadores laterales sobre flechas a cada lado de la pluma para aumentar el ancho de la zanja.

Las zanjadoras son adecuadas para excavar cepas o zanj^uas en forma rápida con un control preciso de la profundidad y ancho de las mismas, lo que minimiza la mano de obra por afinamientos. Son capaces de excavar en todo tipo de suelo, excepto roca.



"Zanjadora de cangilones"

E.- Martinetes.- Un martinete es un aparato que se usa en cimentaciones para hincar pilotes, de acuerdo a su funcionamiento los más comúnmente usados son:

- E.1.- De caída
- E.2.- De vapor
- E.3.- Diesel
- E.4.- Vibratorios

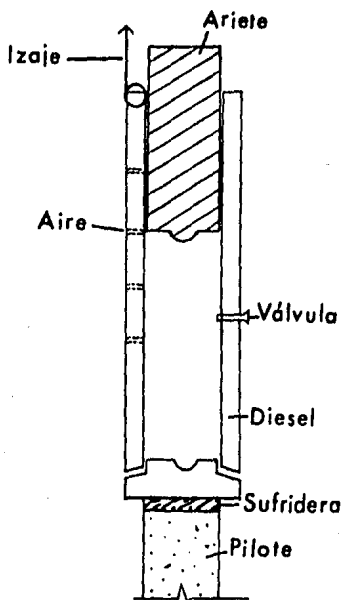
E.1.- De caída.- Un martinete de caída es una masa pesada de metal -"ariete"- que se levanta por medio del cable de la grúa, después se suelta dejándolo caer sobre la cabeza del pilote. El ariete puede soltarse por medio de un tope y caer libremente o aflojar la banda del malacate de la grúa y permitir que el peso del ariete desenrede el cable del tambor. Esto último reduce la energía del golpe debido a las pérdidas de fricción en el cable y el tambor.

El martinete se desliza en una guía de acero con el fin de mantener al pilote en la misma trayectoria y lograr un golpe sólido. La guía generalmente es un tubo sostenido por la pluma de una grúa, la cual proporciona la energía necesaria. El peso del ariete oscila entre 250 a 1500 kgs. y la altura de caída más utilizada es entre 1.5 y 6.0 mts.

Estos martinetes de caída se utilizan para hincar pilotes en suelos muy blandos, donde la obra no requiera gran cantidad de éstos y la rapidez de construcción no sea determinante.

E.2.- De vapor.- En el martinete de vapor el ariete se mueve empleando aire comprimido o vapor a presión. Esto se logra a través de un pistón conectado a él por medio de una biela. Si al llegar el pistón a la parte superior de la carrera se libera la presión del vapor y el ariete cae libremente para pegar a la cabeza del pilote decimos que el martinete es de "simple acción". Y si al aplicar la presión del vapor a la parte inferior para levantar el ariete, la volvemos a aplicar durante la carrera hacia abajo en la parte superior del pistón a manera de incrementar la energía del golpe, se dice entonces que el martinete es de "doble acción".

Los martinetes de vapor se utilizan para hincados rápidos en terrenos donde se quiera reducir el incremento de fricción superficial entre cada golpe.

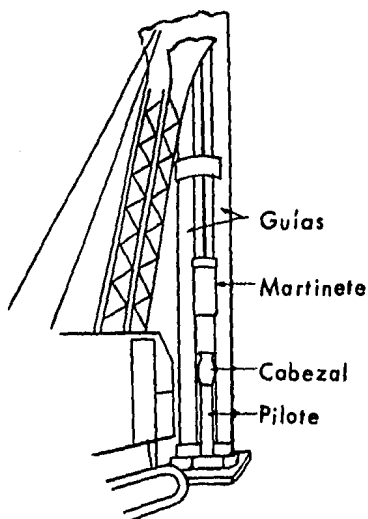


"Martinete Diesel"

E.3.- Diesel.-El martinete diesel consiste principalmente en un cilindro vertical de acero o "camisa", un pistón, un ariete, un yunque, combustible y lubricante. Su funcionamiento se basa en inyectar combustible a la cámara de combustión situada entre el ariete y el yunque. La carrera descendiente del ariete comprime la mezcla de aire y diesel a la temperatura de ignición y la explosión resultante empuja al pilote hacia abajo. Se emplea este aparato para hincados rápidos en terrenos cohesivos.

E.4.- Vibratorios.- A diferencia de los martinetes antes descritos, los "vibratorios" no utilizan la fuerza de golpes separados, sino la vibración transmitida al suelo por una sucesión rápida de variación de carga. En los martinetes de vapor o diesel pueden lograrse uno o dos golpes por segundo, el vibratorio puede alcanzar desde 15 a más de 100 variaciones de carga por segundo. El objetivo es vibrar al pilote a una frecuencia suficientemente alta para hacerlo - - deslizar en el terreno.

El martinete vibratorio pesa entre 3 y 5 toneladas y básicamente está formado por una serie de ejes horizontales con pesos excéntricos instalados en ellos y una unidad de potencia que hace girar los ejes a alta velocidad. El martinete vibratorio se usa principalmente en suelos friccionantes.



"Grúa piloteadora"

V.4.- EJEMPLOS DE CARGOS UNITARIOS

El cargo unitario -CM- es la relación del costo directo por hora máquina -HMD- entre el rendimiento horario de dicha máquina -RM-. Este cargo es el utilizado para el análisis de los costos directos por concepto de equipo en la práctica constructiva. Con el objeto de tener una idea aproximada de estos cargos en los equipos de excavación más comúnmente usados en edificación, se ofrecen los siguientes ejemplos actualizados a febrero de 1985:

	E Q U I P O			
	RETROEXCAVADORA 2 y d ³	DRAGA 1.5 y d ³	EXCAVADORA 0.5 y d ³	OBRA DE MANO
MODELO	Caterpillar 235 sobre orugas	Link- Belt LS- 108 s/o- rugas	Yumbo 630L sobre orugas	Pico y Pala
CAPACIDAD -m ³ -	1.53	1.15	0.38	0.003
CICLO CONSIDERADO -seg.-	30	30	20	6
CICLO -hora-	120	120	180	600
RM -m ³ /hr-	168.3	126.5	62.7	0.75
HMD -\$/hr-	30 045.5	19 470.0	7 990.8	293.0
CARGO UNITARIO -CM- -\$/m ³ exc.-	178.5	153.9	127.5	390.7

V.4.- EJEMPLOS DE CARGOS UNITARIOS

El cargo unitario -CM- es la relación del costo - directo por hora máquina -IMD- entre el rendimiento horario - de dicha máquina -RM-. Este cargo es el utilizado para el - análisis de los costos directos por concepto de equipo en la - práctica constructiva. Con el objeto de tener una idea - - aproximada de estos cargos en los equipos de excavación más - comúnmente usados en edificación, se ofrecen los siguientes - ejemplos actualizados a febrero de 1985:

	E Q U I P O			
	RETROEXCAVADORA 2 y d ³	DRAGA 1.5 y d ³	EXCAVADORA 0.5 y d ³	OBRA DE MANO
MODELO	Caterpillar 235 sobre orugas	Link- Belt LS- 108 s/o- orugas	Yumbo 630L sobre orugas	Pico y Pala
CAPACIDAD -m ³ -	1.53	1.15	0.38	0.003
CICLO CONSIDERADO -seg.-	30	30	20	6
CICLO -hora-	120	120	180	600
RM -m ³ /hr-	168.3	126.5	62.7	0.75
HMD -\$/hr-	30 045.5	19 470.0	7 990.8	293.0
CARGO UNITARIO -CM- -\$/m ³ exc.-	178.5	153.9	127.5	390.7

Observaciones y Restricciones.- Para fines comparativos se consideraron en el análisis condiciones normales de operación, con una profundidad de corte óptima de hasta 3 mts. Así como material de tipo I o suelo común, con un coeficiente de abundancia de 1.2 y un coeficiente de llenado para los cucharones de las máquinas de 1.1. Para el cálculo de la obra de mano se consideró una eficiencia de 50% y 6 horas efectivas de trabajo.

Como se observa, el costo más bajo por metro cúbico excavado es el que proporciona la excavadora Yumbo 630L, sin embargo la elección de estos equipos también dependen en gran parte de la rapidez requerida para la construcción, de la magnitud y características de la excavación y de la disposición que se tenga de alguno de ellos.

VI.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A.- Cuando la excavación para la cimentación tiene taludes inestables o colindancias que no deben dañarse será necesario que sea estabilizada artificialmente o ademada. Para elegir el ademe más adecuado debe considerarse que no pueden permitirse excesivos movimientos o filtraciones. Un muro de concreto colado en sitio o un tablestacado metálico pueden ser los más convenientes; en excavaciones profundas no se recomienda el uso de madera o precolados de concreto pues su flexibilidad requiere mayor apuntalamiento y puede originar movimientos excesivos.

B.- Definido el tipo de ademe se puede proceder a determinar su sección y demás dimensiones, las cuales están en función de los perfiles que se tengan disponibles, de las características y empuje del terreno y de las dimensiones de la excavación. Se recomienda un empotramiento mínimo de ademe de 1.50 a 200 m. a partir de la máxima profundidad de la excavación.

C.- Colocado el ademe se procede a elegir el tipo y distribución de zunjas o pozos de bombeo para el abatimiento del nivel freático. Teniendo en cuenta todas las indicaciones mencionadas en el capítulo II.

D.- Determinado el abatimiento se programa la excavación, cuyas etapas están en función de las dimensiones y capacidad del equipo con que se cuenta y de las características del terreno. Se recomienda efectuar una excavación inicial en toda el área de 1.0 a 1.50 m. de profundidad.

E.- Cada etapa de excavación estará limitada por taludes cuya inclinación deberá definirse de acuerdo con las características del tipo de terreno mencionadas en el tema de talud natural -capítulo I-.

F.- Se debe colocar el apuntalamiento de manera que ninguna parte del ademe quede libre. El diseño de los puntales puede efectuarse con las normas usuales mencionadas, según el caso.

G.- Lista la excavación se construye el tipo de cimentación escogido, siguiendo el procedimiento correspondiente. En cimentaciones con pilotes debe considerarse que la excavación es precedente al hincado y siguiendo un control preciso para no dañar a éstos.

H.- Finalmente es recomendable elaborar unas especificaciones con todos los pasos que debe seguir el procedimiento constructivo con el objeto de que las conozca y las cumpla el constructor de la obra.

BIBLIOGRAFIA

- TOMLINSON, M.J., "Diseño y Construcción de Cimientos". Bilbao, España. Editorial Urmo, S.A., 1979. 1a. Ed. en español.
- JUAREZ BADILLO, E. y RICO RODRIGUEZ, A. "Mécánica de Suelos". México, D.F., Editorial Limusa, S.A., 1982. 2a. Ed. Tomos I, II y III.
- PEURIFOY, R.L. "Métodos, Planeamiento y Equipos de Construcción". México, D.F., Edit. Diana, 1974. 1a. Ed.
- TERZAGHI, KARL y PECK, B. RALP. "Soil Mechanics in Engineering Practico". New York, Limusa Wiley Edit., 1967. 2a. Ed.
- DIVISION DE EDUCACION CONTINUA, F.I. UNAM. "Diseño y Construcción de Cimentaciones". Apuntes del Curso, mayo 1984. México, D.F.
- MORENO PECERO, GABRIEL. "Problemas de Geotecnia". Apuntes del Curso, F.I. UNAM, 1984. México, D.F.
- BERTIN, ROBERT Y GASC, CLAUDE. "Cimentaciones y Obras en Recalces". Barcelona, España. Editores Técnicos Asociados, S.A., 1971. 1a. Ed. española.

ANEXO 1.- ANALISIS DEL COSTO DIRECTO: HORA-MAQUINA

CONSTRUCTORA: _____ OBRA: _____	Mquina: <u>RETROEXCAVADORA</u> Modelo: <u>CATERPILLAR 235</u> Datos Adic: <u>SOBRE CRUGAS</u> <u>2 yd³</u>	Hoja No: <u>1</u> Calculo: <u>SECC</u> Revisó: Fecha: <u>FEB./85</u>
--	--	---

DATOS GENERALES.	
Precio adquisicin: \$ <u>80 998 117</u> Equipo adicional: _____ Valor inicial (Va): \$ <u>80 998 117</u> Valor rescate (Vr): <u>10</u> % = \$ <u>8 099 811.7</u> Tasa interes (i): <u>52</u> % Prima seguros (s): <u>8</u> %	Fecha colocacin: <u>ENERO 85</u> Vida econmica (Ve): <u>5</u> años Horas por año (Ha): <u>2 000</u> hr/año Motor: <u>DIESEL</u> de <u>195</u> HP Factor operacin: <u>0.70</u> Potencia operacin: <u>136.5</u> HP.op Coeficiente almacenaje (K): <u>0.08</u> Factor mantenimiento (Q): <u>1.00</u>

I.- CARGOS FIJOS.	
a) Depreciacin: $D = \frac{Va - Vr}{Ve} = \frac{80\,998\,117 - 8\,099\,811.7}{5} = 14\,766\,102.6$ b) Inversin: $I = \frac{Va + Vr}{2 Ha} = \frac{80\,998\,117 + 8\,099\,811.7}{2(2000)} = 22\,498.98$ c) Seguros: $S = \frac{Va + Vr}{2 Ha} \times s = 22\,498.98 \times 8 = 180\,991.84$ d) Almacenaje: $A = KD = 0.08(14\,766\,102.6) = 1\,181\,288.21$ e) Mantenimiento: $M = QD = 1.00(14\,766\,102.6) = 14\,766\,102.6$	= \$ <u>7 289.8</u> = \$ <u>11 582.7</u> = \$ <u>1 782.0</u> = \$ <u>583.2</u> = \$ <u>7 289.0</u> SUMA CARGOS FIJOS POR HORA \$ <u>28 527.5</u>

II.- CONSUMOS.	
a) Combustible: E = e Pc Diesel: E = 0.20 x <u>136.5</u> HP op. x \$ <u>32.4</u> /ll. = \$ <u>835.44</u> Gasolina: E = 0.24 x _____ HP op x \$ _____ /ll. = _____ b) Otras fuentes de energa: _____ = _____ c) Lubricantes: L = a Pa Capacidad carter: C = <u>17</u> litros Cambios aceite: f = <u>1.00</u> horas $a = C/f + \frac{0.0035}{0.0030} \times 136.5 \text{ HP op} = 0.65 \text{ ll/hr}$ ∴ L = <u>0.65</u> ll/hr x \$ <u>307</u> /ll. = <u>199.55</u> d) Llantas: $LI = \frac{Vll}{Hv} (\text{volar llantas})$ Vida econmica: Hv = _____ horas ∴ LI = \$ _____ horas = _____	= \$ <u>835.44</u> = _____ = _____ = _____ = _____ = _____ = _____ SUMA CONSUMOS POR HORA \$ <u>1 095.0</u>

III.- OPERACION.	
Salarios: S operador: \$ <u>1577 x 1.6094</u> = <u>2 538</u> _____ = _____ Sal/turno-prom: \$ <u>2 538</u> Horas/turno-prom: (H) H = 8 horas x <u>0.75</u> (factor rendimiento) = <u>6</u> horas ∴ Operacin: $O = \frac{S}{H} = \frac{2\,538}{6} = 423$	= \$ <u>423.0</u> = _____ = _____ = _____ = _____ = _____ = _____ SUMA OPERACION POR HORA \$ <u>423.0</u>

COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA (HMD)	\$ <u>30 045.5</u>
---	--------------------

ANEXO 2.- ANALISIS DEL COSTO DIRECTO: HORA-MAQUINA

CONSTRUCTORA: EJEMPLO 2	Máquina: <u>DRAGA</u> Modelo: <u>TRK-BELT LS-108</u> Datos Adic: <u>SOBRE ORUGAS</u> <u>1.5 yd³</u>	Hoja No. <u>2</u> Calculo: <u>JCS</u> Revisó: Fecha: <u>FEB./85</u>
OBRA:		

DATOS GENERALES.	
Precio adquisición: \$ <u>51 700 000</u>	Fecha colocación: <u>ENERO 85</u>
Equipo adicional:	Vida económica (Ve): <u>5</u> años
	Horas por año (Ha): <u>2 000</u> hr/año
	Motor: <u>DIESEL</u> de <u>145</u> HP.
Valor inicial (Va): \$ <u>51 700 000</u>	Factor operación: <u>0.70</u>
Valor rescate (Vr): <u>10</u> % = \$ <u>5 170 000</u>	Potencia operación: <u>101.5</u> HP op.
Tasa interés (i): <u>52</u> %	Coefficiente almacenaje (K): <u>0.08</u>
Prima seguros (s): <u>8</u> %	Factor mantenimiento (Q): <u>1.00</u>

I.- CARGOS FIJOS.

a) Depreciación:	D: $\frac{Va - Vr}{Ve}$	= $\frac{51700000 - 5170000}{(5)(2000)}$	= \$ <u>4 653.0</u>
b) Inversión:	I: $\frac{Va + Vr}{2 Ha}$	= $\frac{51700000 + 5170000}{(2)(2000)}$	= \$ <u>7 393.1</u>
c) Seguros:	S: $\frac{Va + Vr}{2 Ha}$	= $\frac{51700000 + 5170000}{(2)(2000)}$	= \$ <u>1 137.4</u>
d) Almacenaje:	A: KD	= $(.08)(4653)$	= \$ <u>372.2</u>
e) Mantenimiento:	M: QD	= $(1.0)(4653)$	= \$ <u>4 653.0</u>

SUMA CARGOS FIJOS POR HORA \$ 18 208.7

II.- CONSUMOS.

a) Combustible: E = e Pc	
Diesel: E = 0.20 x <u>101.5</u> HP op. x \$ <u>32.8</u> /ll.	= \$ <u>665.84</u>
Gasolina: E = 0.24 x _____ HP. op x \$ _____ /ll.	= _____
b) Otras fuentes de energía:	= _____
c) Lubricantes: L = a Pc	
Capacidad cárter: C = <u>15</u> litros	
Cambios aceite: +: <u>100</u> horas	
a: C/t + $\frac{C}{10000}$	= $\frac{15}{10000}$ x <u>101.5</u> HP op. = <u>0.5</u> ll/hr
∴ L = <u>0.5</u> ll/hr x \$ <u>307</u> /ll.	= \$ <u>153.5</u>
d) Llantas: LI = $\frac{VII}{Hv}$ (valor llantas / vida económica)	
Vida económica: Hv = _____ horas	
∴ LI = \$ _____ / horas	= _____

SUMA CONSUMOS POR HORA \$ 819.30

III.- OPERACION.

Salarios: S	
operador: \$ <u>1648</u> x <u>1.6094</u> = <u>2652.3</u>	
Sal/turno-prom: \$ <u>2652.3</u>	
Horas/turno-prom. (H):	
H = B horas x $\frac{S}{H}$ (factor rendimiento) = <u>6</u> horas	
∴ Operación: O = $\frac{S}{H}$ = $\frac{2652.3}{6}$ horas	= \$ <u>442.0</u>

SUMA OPERACION POR HORA \$ 442.0

COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA (HMD) \$ 19 470.0

ANEXO 3.- ANALISIS DEL COSTO DIRECTO: HORA-MAQUINA

CONSTRUCTORA: <u>EJEMPLO B</u>	Máquina <u>EXCAVADORA</u> Modelo <u>YINBO 530L</u> Carga Adic. <u>SOBRE CUMPLAS</u> 0.5 yd ³	Hoja No. <u>3</u> Calculo: <u>JECB</u> Revisó: Fecha: <u>FEB./85</u>
-----------------------------------	--	---

DATOS GENERALES.

Precio adquisicida	\$ 19.600.000	Fecha colocada:	ENERO 85
Equipo adicional		Vida económica (V _e):	5 años
Valor inicial (V _i):	\$ 19.600.000	Horas por año (H _a):	2.000
Valor rescate (V _r):	10 % = \$ 1.960.000	Motor:	DIESEL de 116 HP
Tasa interes (i):	52 %	Factor operacion:	0.70
Prima seguros (s):	8 %	Potencia operacion:	81.2 HP op
		Coefficiente almacenaje (K):	0.08
		Factor mantenimiento (Q):	1.00

I.- CARGOS FIJOS.

a) Depreciacion:	D: $\frac{V_i - V_r}{V_e} = \frac{19600000 - 1960000}{5(2000)}$	= \$ 1.764.0
b) Inversio:	I: $\frac{V_i + V_r}{2 H_a} = \frac{19600000 + 1960000}{2(2000)}$	52 = 2.802.8
c) Seguros:	S: $\frac{V_i + V_r}{2 H_a} = \frac{19600000 + 1960000}{2(2000)}$	0.08 = 431.2
d) Almacenaje:	A: KD = (0.08)(1764)	= 141.1
e) Mantenimiento:	M: QD = (1.00)(1764)	= 1.764.0
SUMA CARGOS FIJOS POR HORA		\$ 6.903.1

II.- CONSUMOS.

a) Combustible:	E: e Pc	
Diesel:	E: 0.20 x 81.2 HP op	= \$ 32.8/ll.
Gasolina:	E: 0.24 x HP op	= \$ /ll.
b) Otras fuentes de energia:		
c) Lubrificantes:	L: a Pc	
Capacidad Carter:	C: 8 litros	
Cambios aceite:	γ: 100 horas	
a: C/γ + $\frac{0.0035}{0.0030}$	x 81.2 HP op	= 0.43 lll/hr
∴ L:	0.43 lll/hr x 307 /ll.	= 132.01
d) Llantas:	LI: $\frac{V_{ll}}{H_v}$ (valor llantas) Vida económica: H _v = horas	
∴ LI:	\$ /horas	
SUMA CONSUMOS POR HORA		\$ 664.7

III.- OPERACION.

Salarios S operador:	\$ 1.577 x 1.6094 = 2.538	
Sal/turno-prom.	\$ 2.538	
Horas/turno-prom. (H):	M: 8 horas x 1.75 (factor mantenimiento) = 6 horas	
∴ Operacion:	O: $\frac{S}{H} = \frac{2538}{6}$ = \$ 423	
SUMA OPERACION POR HORA		\$ 423.0

COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA (HMD) \$ 7.990.8