

30  
24



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ACATLAN

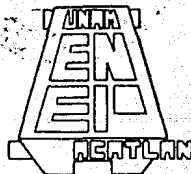
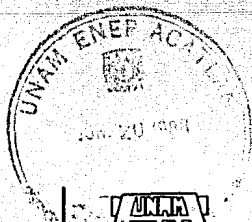
UTILIZACION DE PILOTES DE CONCRETO  
PARA CIMENTACIONES EN ARCILLAS DEL  
VALLE DE MEXICO.

INGENIERIA CIVIL

1988.

TESIS PROFESIONAL

ALFREDO TENORIO SANCHEZ



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## PROLOGO

Recién ingresado a la carrera de Ingeniería Civil, en la ENEP ACATLAN, se realizó un ciclo de conferencias sobre obras y proyectos de construcción de las diferentes especialidades que existen dentro de la carrera, sólo tuve la oportunidad de asistir a una, pero ésta me despertó un gran interés sobre el tema, y a la postre fue la que me motivaría a elegir el tema de la presente tesis, dicha conferencia trató acerca de los Pilotes de Control, la cual fue expuesta por su creador el Ing. Manuel González Flores, y a la que asistieron diferentes ingenieros, profesores de la facultad.

Y aunque la presente tesis no trata sobre los pilotes de control, si guarda cierta relación por tratarse del tema de pilotes como tipo de cimentación profunda, cabe hacer la aclaración, desde el punto de vista constructivo y no de la mecánica de suelos. Además de la importancia que tiene la cimentación en todo tipo de estructura; el tema me dió la oportunidad de adentrarme más al estudio de las cimentaciones para en un futuro especializarme, no sólo en la construcción, sino también en el diseño de ellas y lograr algo para el avance de la Ingeniería Mexicana.

Ahora doy paso a la presentación del contenido de la tesis no sin antes agradecer profundamente a todas aquellas personas que intervinieron directa e indirectamente para la realización de éste trabajo, muy en especial a los Ingenieros Ricardo Sánchez Bringas y Manuel Garay, a Cimentaciones Auger de México, a mi asesor Ing. Salvador Díaz Díaz, al Sr. Ernesto González Reséndiz a los Licenciados Prudencio y Federico González Tenorio y a la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, quienes con su ayuda veo realizada una de mis metas en esta vida.

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

La presente tesis titulada " Utilización de Pilotes de Concreto para cimentaciones en arcillas del Valle de México ", es un trabajo que persigue como objetivo principal el de conocer, analizar y encontrar nuevas alternativas en lo referente a los procedimientos de cimentación de este tipo, enfocándolo primordialmente desde el punto de vista de la preespecialidad de construcción, mas no desligándolo de la mecánica de suelos, ya que, esto resultaría imposible.

Para nadie es desconocida la gran importancia que en cualquier tipo de estructura guarda la cimentación, siendo la base fundamental sobre la cual se levantará toda obra ingenieril, por lo que no debe escatimarse en lo más mínimo para su eficiente realización, ya que de ella dependerá la óptima construcción de la superestructura; y si a ello agregamos los grandes problemas y dificultades a las que se enfrenta el ingeniero civil, debido a las características tan especiales que presenta el suelo de la Ciudad de México, al que se le ha dado por llamar, el paraíso de la mecánica de suelos, esaún más importante mantener un amplio control sobre las cimentaciones construídas en esta ciudad.

Ante el inevitable avance de la ciencia en todas sus disciplinas, la ingeniería no deja de ser la excepción y para ello me he aventurado con todas mis limitaciones, la falta de experiencia principalmente, pero con el mejor esfuerzo, al análisis de los procesos de cimentación a base de pilotes en la ciudad, que van desde la selección del tipo de pilote, su fabricación y diseño, hasta los diferentes procesos de hincado, los problemas que esto-

acarrea, así como el equipo utilizado en dichos procesos, tratando de encontrar nuevas alternativas y puntos de interés que lleven a una mejor realización de dichas obras y por lo consiguiente al progreso y avance de la ingeniería civil mexicana.

Para la realización del presente trabajo, me he apoyado básicamente en la investigación de tipo documental, en experiencias de gente que trabaja en el medio, de información recopilada por parte de profesores y por la participación directa que he tenido en visitas a obras de este tipo y especialmente a una, a la cual he de referirme más detalladamente en el último capítulo, misma en la que he incluido una serie de fotografías, con las cuales, esto seguro, será mucho más eficiente comprender y esclarecer algunos conceptos, ya que, el principal fin de este capítulo es el de obtener mejores conclusiones, más reales y específicas, enriqueciendo mayormente la tesis puesto que no quedará en un plano puramente teórico, sino considerando un caso específico en el que pueda poner en práctica todos los conceptos anteriores.

En cuanto a la presentación de los resultados he manejado un método deductivo de trabajo, es decir, yendo de lo general a lo particular llevando una secuencia lógica y razonable.

Por todo ello, esta tesis pretende ser una aportación que sirva tanto a constructores relacionados al área de cimentaciones, como a los que no desempeñen este tipo de función, pero esten interesados en ella, así como a estudiantes y futuros ingenieros a los cuales pueda servir como guía, y porque no, motivarlos a un estudio más a fondo de dichos procesos, ya sea en

el área de construcción o de la mecánica de suelos, ya que, dada la importancia que tiene una obra de cimentación en cualquier tipo de estructura, es vital que se sigan mejorando y generando nuevas técnicas en los procesos que se siguen actualmente, no olvidando los factores primordiales que deben regir toda construcción como lo son: tiempo, costo y beneficio.

## INDICE

|  |    |
|--|----|
| PROLOGO .....  | I  |
| INTRODUCCION .....   | II |
| INDICE .....   | V  |
| <br>   |    |
| I. GENERALIDADES SOBRE CIMENTACIONES .....                 | 1  |
| 1.1 Características del subsuelo del Valle de México ..... | 1  |
| 1.2 Tipos de Cimentación .....                             | 4  |
| II. PRINCIPIOS BASICOS DE LOS PILOTES .....                | 13 |
| 2.1 Definición y Generalidades .....                       | 13 |
| 2.2 Clasificación de Pilotes .....                         | 14 |
| 2.3 Selección del tipo de Pilote .....                     | 18 |
| III. FABRICACION DE PILOTES DE CONCRETO .....              | 24 |
| 3.1 Pilotes Prefabricados .....                            | 24 |
| 3.2 Pilotes Colados In Situ .....                          | 31 |
| 3.3 Pilotes de Concreto Presforzado .....                  | 40 |
| 3.4 Conceptos de Control y Verificación .....              | 43 |
| IV. PROCEDIMIENTOS DE HINCADO DE PILOTES DE CONCRETO ..... | 55 |
| 4.1 Hincado de Pilotes .....                               | 55 |
| 4.2 Diferentes Procedimientos de Hincado .....             | 58 |
| 4.3 Dificultades y Consecuencias de Hincado .....          | 62 |
| 4.4 Prevención y Control .....                             | 66 |

|  |     |
|--|-----|
| V. EQUIPO UTILIZADO PARA EL HINCADO DE PILOTES DE CONCRETO ..... | 73  |
| 5.1 Equipo Principal .....                                       | 73  |
| 5.2 Herramientas Adicionales .....                               | 80  |
| 5.3 Criterios de Selección del Equipo a Utilizar .....           | 82  |
| VI. EJEMPLO PRACTICO .....                                       | 93  |
| 6.1 Ubicación .....  | 93  |
| 6.2 Tipo y Características de los Pilotes .....                  | 94  |
| 6.3 Procedimiento de Hincado .....                               | 95  |
| 6.4 Equipo y Mano de Obra Utilizada .....                        | 98  |
| CONCLUSIONES .....   | 114 |
| BIBLIOGRAFIA .....   | 117 |



## I. GENERALIDADES SOBRE CIMENTACIONES

### 1.1 Características del Subsuelo del Valle de México.

#### 1.1.1 Situación Geográfica.

La cuenca del Valle de México está situada en la parte sur de la meso-central de la República Mexicana, limitada al norte por las sierras de Teopetzotlán, Tezontlalpan y Pachuca; al este por los Llanos de Apan, los montes de Río Frío y la Sierra Nevada; al sur por las sierras de de Cuauhtzín y del Ajusco y al oeste por las sierras de las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo.

La superficie total del valle es del orden de  $7160 \text{ Km}^2$  de los cuales -  $3080 \text{ Km}^2$  corresponden a zonas montañosas y  $2050 \text{ Km}^2$  a zonas bajas bien definidas. La altura sobre el nivel del mar en la parte más baja es de 2240 m.- aproximadamente.

Dentro del Valle de México está ubicado el Distrito Federal, el cual - incluye la Ciudad de México y ocupa un total de  $1480 \text{ Km}^2$  construida en una buena parte sobre el fondo del exlago de Texcoco, hecho primordial al que - se deben los principales problemas de cimentación que en la ciudad se presentan. ( Ver fig. 1.1 )

#### 1.1.2 Zonificación y Estratigrafía del Valle de México.

La cuenca del Valle de México cuenta con una gran variedad de formaciones, lo que representa una seria dificultad para el ingeniero civil en cuanto a resolver los problemas que presenta el suelo en la cimentación de estructuras.

Para facilitar dichos problemas y en base a numerosos estudios del sub suelo, se ha dividido en tres zonas la Ciudad de México atendiendo a un pun to de vista estratigráfico, ( ver fig. 1.2 ) y a las cuales me referiré a - continuación.

#### 1.1.2.1. Zona de las Lomas.

La primera de dichas zonas corresponde a la zona llamada de las Lomas- y que está constituida por terrenos compactos, areno-limosos, con alto contenido de gravas y de tobas pumíticas. En general, la zona de las Lomas pre senta buenas condiciones para la cimentación de estructuras, la capacidad - del terreno es alta y no hay formaciones compresibles que produzcan asentamientos importantes. Sin embargo, debido a la explotación de minas de arena y grava, muchos predios pueden estar arriba de cavernas de desarrollo errático que pueden estar rellenas de material arenoso suelto y cuando algunas- zapatas de cimentación queden asentadas sobre estas falsas zonas se pueden- producir asentamientos diferenciales muy fuertes. Otro problema que se pre senta en esta zona es la existencia de depósitos eólicos de arena firme y - uniforme, que ocasionan asentamientos diferenciales en forma brusca, lo que lleva al ingeniero a realizar estudios más detallados sobre el terreno de - cimentación y el tipo a usar más conveniente.

Esta zona de las Lomas se localiza en las faldas de la Sierra de Guada lupe, serranía de las Cruces y el Cerro de la Estrella.

#### 1.1.2.2 Zona de Transición.

La zona de Transición está comprendida entre la zona de las Lomas y el fondo del exlago de Texcoco, en donde las condiciones del subsuelo desde el

punto de vista estratigráfico varía muchísimo de un punto a otro de la zona urbanizada. En esta zona se encuentran superficialmente depósitos de arcilla o limo orgánico cubriendo a estratos de arcilla muy compresible, dichas arcillas compresibles se presentan en espesores muy variables del orden de 3 a 20 metros, los cuales descansan sobre potentes mantas de arena y grava. En esta zona, los problemas de capacidad de carga y de asentamientos diferenciales suelen ser muy críticos, como consecuencia, el ingeniero ha de investigar cuidadosamente todo el conjunto de propiedades de los materiales que constituyen el suelo de la obra de que se trate.

#### 1.1.2.3. Zona del Lago.

Por último queda la zona del Lago, así llamada por corresponder a los terrenos que constituyeron el antiguo lago de Texcoco, estratigráficamente está constituida por depósitos areno-arcillosos o limosos de hasta 10 metros de espesor, cubriendo a arcillas de origen volcánico altamente compresibles de 20 a 25 mts. de espesor aproximadamente con intercalaciones de arena en pequeñas capas, posteriormente a 30 m. se encuentra la primera capa constituida de arena compacta de 3 metros de espesor y bajo ésta un segundo depósito de arcilla compresible la cual alcanza un espesor de 10 a 14 metros, para finalmente encontrar un segundo estrato duro el cual yace debajo de los anteriores estratos. Es claro que en la zona urbanizada pueden encontrarse variaciones importantes respecto a la anterior secuencia estratigráfica y una de las causas principales del diferente comportamiento mecánico en los suelos radica en la preconsolidación a la que están sujetas las diferentes zonas, así también, como al bombeo disparejo en intensidad en los distintos puntos de la ciudad; y es por esto, que en esta zona se presentan

graves problemas de cimentación.

## 1.2 Tipos de Cimentación.

### 1.2.1. Definición.

En toda construcción la cimentación constituye el elemento a través del cual se transmiten los esfuerzos de la estructura al terreno. Se trata pues, de un elemento de enlace que ha de tenerse en cuenta tanto en las características de la estructura como en las del suelo, suele llamársele también con el nombre de subestructura.

A fin de garantizar la estabilidad de la estructura, la cimentación deberá cumplir los siguientes requisitos:

a) No deberá transmitir al subsuelo presiones que excedan su capacidad de carga.

b) Los asentamientos deberán ser de una magnitud tal que no dañe la estructura.

Generalmente las cimentaciones se clasifican en razón de su profundidad ya que presentan métodos de construcción muy distintos, así tenemos:

- Las Cimentaciones Superficiales.
- Las Cimentaciones Profundas.

### 1.2.2. Cimentaciones Superficiales.

Aunque no existe un límite preciso en la profundidad de desplante que separe a una cimentación superficial de una profunda, se considera como una

cimentación superficial a aquella en la que su profundidad de desplante no sea mayor que dos veces el ancho del cimiento, y que la fricción lateral que se genera contra el suelo no contribuya a soportar las cargas de la estructura. ( ver fig. 1.3 )

Los tipos más frecuentes de cimentaciones superficiales son:

- 1.- Zapatas Aisladas
- 2.- Zapatas Corridas
- 3.- Losas de Cimentación

#### 1.2.2.1 Zapatas Aisladas.

Son elementos estructurales generalmente cuadrados o rectangulares que se construyen bajo columnas con el fin de transmitir la carga de éstas al terreno en una mayor área, las zapatas aisladas se construyen generalmente de concreto simple o reforzado. ( ver fig 1.4 )

#### 1.2.2.2 Zapatas Corridas.

Son elementos análogos a los anteriores en los que la longitud supera en mucho al ancho y soporta varias columnas o la carga de un muro, son construídas generalmente de concreto reforzado o de mampostería. ( ver fig 1,5 )

#### 1.2.2.3. Losas de Cimentación.

Se utilizan cuando se requiere una mayor área de cimentación, ya sea porque la resistencia del terreno sea baja o porque las cargas sean muy grandes y se requiera más o igual del 50 por ciento del área de construcción; dichas losas se construyen de concreto reforzado. ( ver fig. 1.6 )

Si aún en el caso de emplear una losa, la presión transmitida al suelo sobrepasa la capacidad de carga de éste, es conveniente recurrir a soportar

la estructura a estratos más firmes, que se encuentren a mayores profundidades, llegando así a las cimentaciones profundas.

### 1.2.3. Cimentaciones Profundas.

Como ya mencioné con anterioridad, este tipo de cimentaciones tienen la función de transmitir las cargas de la estructura a estratos más profundos y resistentes y también para reducir los asentamientos totales.

Los tipos más comunes de cimentaciones profundas son los siguientes:

- 1.- Pilotes
- 2.- Pilas
- 3.- Cilindros
- 4.- Cajones ( Profundos )

#### 1.2.3.1 Pilotes

Son elementos muy esbeltos con dimensiones transversales del orden de 30 a 60 cm. y de diferente sección transversal, así como fabricados de diferentes materiales, alcanzan una longitud de hasta 30 metros de profundidad. (ver fig. 1.7 )

#### 1.2.3.2. Pilas.

Los elementos cuyo ancho sobrepasan un metro pero no exceden del doble de ese valor se llaman pilas, se construyen generalmente de concreto reforzado y se utilizan cuando es necesario obtener una mayor resistencia sobre una mayor área de terreno, la profundidad de las pilas es del rango de los 15 metros. ( ver fig. 1.8 )

#### 1.2.3.3. Cilindros.

Se llama así a los elementos de mayor sección que los anteriores, de -

forma cilíndrica y cuyo diámetro esta entre los 3 y 6 metros construídos -- huecos y de concreto. (ver fig. 1.9 )

#### 1.2.3.4. Cajones.

Los cajones de cimentación se distinguen de los cilindros únicamente -- por su forma paralepípeda, ya que también son huecos y se construyen siempre de concreto. ( ver fig. 1.10 )

Es común que también se utilicen en una misma cimentación elementos -- que pertenezcan a una y otra clasificación, lo que llevaría al uso de una -- Cimentación Mixta.

#### 1.2.4. Cimentaciones Compensadas.

Otro tipo de cimentaciones muy utilizadas actualmente son las cimenta- ciones compensadas, el principio en que se basan estriba en desplantarse a una profundidad tal, que el peso de la tierra excavada iguale al peso de la estructura, de manera que no se sienta la sustitución efectuada.

Las cimentaciones compensadas han sido particularmente utilizadas para evitar asentamientos en suelos altamente compresibles como lo son los de la Ciudad de México, específicamente los comprendidos dentro de las zonas del- Lago y de Transición, ya que dichos asentamientos se reducen teóricamente -- por no haber en el terreno ninguna sobrecarga, esto es, cuando la compensa- ción es total, ya que existen también las parcialmente compensadas, esto es, cuando el peso de volumen de tierra excavado no es igual al peso total de -- la estructura, existiendo así dos variantes:

1.- Subcompensadas. -- Cuando el peso de la estructura es mayor que el peso- del volumen de tierra excavado.

2.- Sobrecompensadas. - Cuando la estructura pesa menos que el peso del volumen de tierra excavado, tendiendo consecuentemente a "emerger" al paso del tiempo.

De esta forma queda enmarcado generalmente el tema de estudio al cual me he abocado para realizar la presente tesis, la cual es el uso de pilotes como elementos de cimentación de tipo profundo, los cuales con las referencias ya antes citadas, sólo pueden ser utilizados preferentemente y debido a las condiciones del subsuelo en las zonas tanto de Transición como del -- Lago, quedando así limitado el objeto de estudio en cuanto al tipo de cimentación, como al lugar de utilización.

En el siguiente capítulo me enfocaré más, al estudio detallado de los pilotes para así limitar aún más el objeto de estudio, en lo referente a la gran variedad y tipos de pilotes existentes, de los cuales puede echar mano el ingeniero civil.



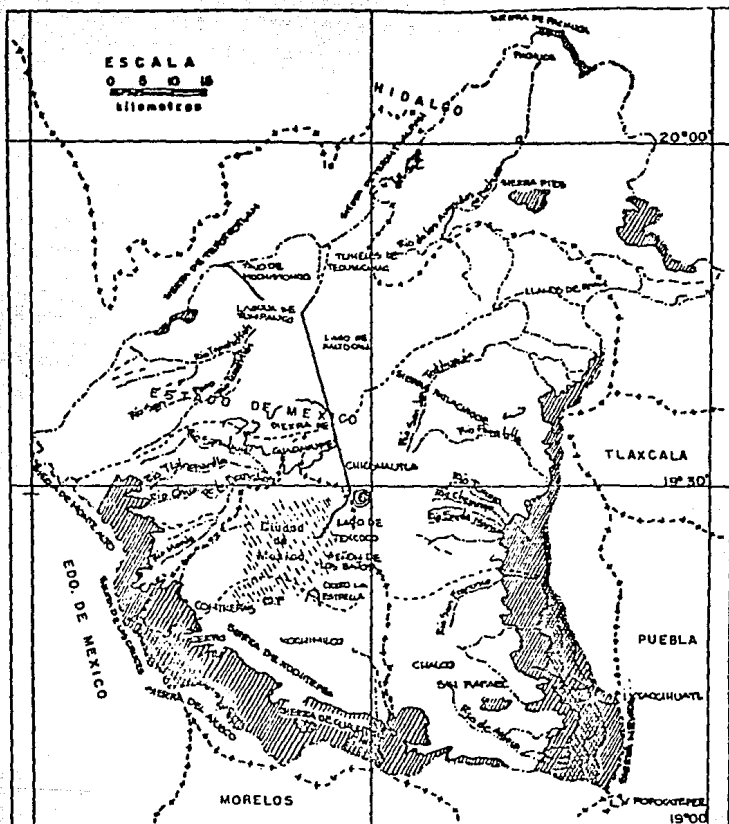


Fig. 1.1 Situación Geográfica del Valle de México



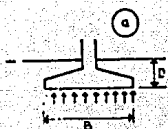


Fig. 1.3 Cimentación Superficial

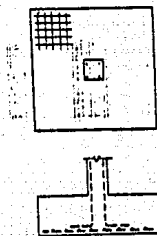


Fig. 1.4 Zapata Aislada

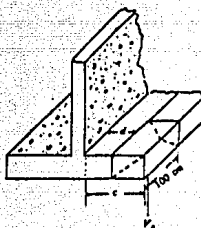


Fig. 1.5 Zapata Corrida



Fig. 1.6 Losa de cimentación

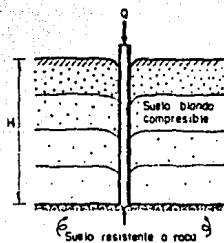


Fig. 1.7 Pilote apoyado en un estrato resistente

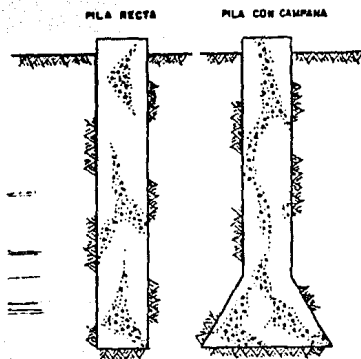


Fig. 1.8 Tipos de Pilas

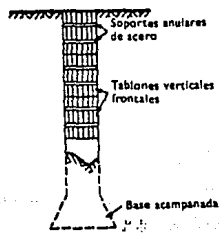


Fig. 1.9 Cilindro de cimentación

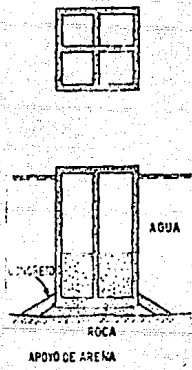


Fig. 1.10 Cajón de cimentación

## II. PRINCIPIOS BASICOS DE LOS PILOTES.

### 2.1. Definición y Generalidades.

Los pilotes son elementos de cimentación muy esbeltos, de dimensiones transversales del orden de 30 a 60 centímetros y con longitudes muy variables, desde 10 hasta 30 metros, construídos de diferentes materiales y de diversas áreas transversales, cuya función primordial es la de aumentar la capacidad de carga o reducir los asentamientos bajo condiciones de trabajo, mediante la transferencia de esfuerzos a estratos más profundos del nivel de desplante y con mayor resistencia.

En general, la utilización de pilotes como elementos de cimentación se requiere cuando:

- 1.- Es necesario transmitir las cargas de una estructura hasta un estrato de suelo resistente, que garantice el apoyo adecuado, semejándose en la forma de trabajo al de una columna.
- 2.- Distribuir la carga a un cierto espesor de suelo blando, utilizando para ello la fricción lateral que se produce entre suelo y pilote.
- 3.- Proporcionar el debido anclaje lateral a ciertas estructuras como tabletas o resistir los esfuerzos laterales que se ejerzan sobre ellas. En estas condiciones se suele recurrir a pilotes inclinados.
- 4.- Proporcionar anclaje a estructuras sujetas a subpresiones, resistir el volteo de muros y a cualquier efecto que trate de levantar la estructura.
- 5.- Alcanzar con la cimentación profundidades ya no sujetas a erosión, socavaciones u otros efectos nocivos.

## 2.2 Clasificación de Pilotes.

Actualmente existen una gran variedad de tipos de pilotes atendiendo a las diversas necesidades según se requieren, debido a ello se han clasificado en forma general de la siguiente manera:

- a) Según el material con el que están fabricados.
- b) Según la forma como transmiten las cargas.
- c) Según su procedimiento constructivo.
- d) Según su sección transversal.

### 2.2.1 Según el material con el que están fabricados.

#### 2.2.1.1 Pilotes de acero

Estos pilotes son de secciones estructurales ligeras o pesadas dependiendo de las cargas que transmitirán. Pueden utilizarse tubos de acero que pueden quedar huecos o rellenarse de concreto, así como perfiles estructurales "H". Entre las ventajas de estos pilotes se tiene el que pueden atravesar estratos duros, ya que presentan mayor resistencia a los golpes de un martinete de hincado y mayor facilidad de penetración. Su desventaja principal es que son susceptibles a la corrosión.

#### 2.2.1.2 Pilotes de concreto.

Se fabrican de concreto simple, reforzado y presforzado, ya sea de una sola pieza o en partes. Estos pilotes son los de uso más frecuente por su durabilidad, economía y facilidad con que se ligan a la estructura.

#### 2.2.1.3 Pilotes de madera.

Los pilotes de madera ya se utilizan muy raramente en trabajos de importancia, dejando su lugar a los pilotes de concreto principalmente. Su --

limitación fundamental es su corta duración, sobre todo cuando están bajo fluctuaciones del nivel freático, y al ataque de insectos barrenadores y termitas.

#### 2.2.1.4 Pilotes mixtos

En general, este tipo de pilotes tiene poco uso. Se han utilizado pilotes de concreto con puntas de acero como protección durante el hincado, o pilotes que tienen un segmento inferior de tubo de acero y el resto de concreto reforzado, pero vuelvo a repetir, son muy raramente utilizados.

#### 2.2.2 Según la forma como transmiten las cargas.

Los pilotes desde este punto de vista se diseñan y construyen para -- transmitir cargas verticales por punta a estratos resistentes profundos o -- por fricción al suelo que los rodea.

##### 2.2.2.1. Pilotes por punta.

Son utilizados cuando los estratos de suelo superficiales son muy compresibles y de baja resistencia, apoyándose hasta estratos profundos más resistentes en los cuales se transmitirá prácticamente todo el peso y las cargas de la estructura a través de la punta del pilote. ( ver fig. 2.1 )

##### 2.2.2.2. Pilotes de Fricción.

La resistencia de estos pilotes resulta de la fricción lateral que se genera contra el suelo que los rodea. Esta solución se utiliza cuando no se encuentra ningún estrato resistente en el cual se puedan apoyar pilotes de punta o cuando el sitio en que se hincarán sea una zona sujeta a asentamientos importantes por consolidación regional. ( ver fig. 2.2 )

### 2.2.2.3. Pilotes mixtos.

La resistencia de estos pilotes se genera combinando los dos tipos de trabajo anteriores, es decir, trabajando a fricción y por punta, de hecho en la práctica, ya sean pilotes de punta o de fricción, se combinan estas dos acciones, aunque no sea muy significativa alguna de las dos.

### 2.2.3. Según su procedimiento constructivo.

Se han desarrollado numerosos procedimientos constructivos para fabricar y posteriormente instalar en el lugar, o para fabricar en el mismo sitio los pilotes; la característica fundamental que los diferencia es que durante su construcción se induzca o no desplazamiento del suelo que los rodea.

#### 2.2.3.1. Con desplazamiento.

Los pilotes son con desplazamiento cuando desplazan un volumen de suelo igual al del pilote al ser hincados. En suelos blandos, estos pilotes pueden inducir disminución de la resistencia por el remoldeo provocado.

Así tenemos los siguientes procedimientos:

a) Pilotes hincados a percusión.- Este procedimiento es el de uso más difundido y consiste en hincar a percusión los pilotes con ayuda de un martillo de impacto, cuidando los factores siguientes:

- La masa y la longitud del pilote.
- El peso y la energía del martillo.
- El tipo de suelo en que se hincara.

Usualmente el pilote se sostiene verticalmente (ver fig. 2.3) o con la inclinación necesaria (ver fig. 2.4) con una estructura guía en la que desliza el martillo durante la maniobra.



b) Pilotes hincados a presión.- Estos pilotes se fabrican de concreto en -- tramo de sección cilíndrica de 1.5 metros de largo; la punta es cónica y -- tiene ahogado el cable de acero de refuerzo que se aloja en el hueco central. El hincado se hace a presión con un sistema hidráulico en cuyo marco de carga se van colocando los tramos de pilote. Cuando se alcanza la presión máxima de proyecto se tensa el cable central de acero de refuerzo y se rellena el hueco de concreto. Dicho procedimiento es muy útil en recimentaciones. - ( ver fig. 2.5 )

c) Pilotes hincados con vibración.- Esta técnica se emplea en suelos granulares y consiste en hincar el pilote con un vibrador pesado de frecuencia -- controlada, formado por una carga estática y un par de contrapesos. El pilote penetra en el suelo por influencia de las vibraciones y del peso del -- conjunto pilote-vibrador. ( ver fig. 2.6 )

#### 2.2.3.2. Con poco desplazamiento.

Los pilotes son con poco desplazamiento cuando desplazan un volumen menor al del pilote al ser hincado, generalmente en una perforación previa de menor área que la del pilote mismo.

a) Pilotes hincados en una perforación previa.- Todos los pilotes hincados con desplazamiento se transforman en pilotes de poco desplazamiento si antes de hincarlos se realiza una perforación previa. ( ver fig 2.7 )

Esta técnica se utiliza cuando:

- El hincado de los pilotes sin perforación previa induce deformaciones que reducen la resistencia del suelo.
- El pilote debe atravesar estratos duros que dificultan su hincado.
- El número de pilotes por hincar sea alto y la suma de sus desplazamientos pueda provocar el levantamiento del terreno y el consiguiente arrastre

de los pilotes previamente hincados.

b) Pilotes hincados con chiflón.- Este procedimiento se utiliza sólo en suelos friccionantes, para disminuir el volumen de suelo desplazado durante el hincado de pilotes; consiste en aplicar dos efectos simultáneos, el de un chiflón de agua a presión que descarga en la punta del pilote, el cual erosiona y transporta a la superficie parte de la arena, combinado a los impactos de un martillo para movilizar el pilote. ( ver fig. 2.8 )

#### 2.2.3.3. Sin desplazamiento.

Los pilotes sin desplazamiento se reducen simplemente a aquellos pilotes que se construyen y cuejan en el sitio.

a) Pilotes de concreto colados en el lugar. Los pilotes de concreto colados en el lugar, se clasifican como elementos de cimentación sin desplazamiento porque para su fabricación se extrae un cierto volumen de suelo que después será ocupado por concreto. ( ver fig. 2.9 )

#### 2.2.4. Según su sección transversal.

Los pilotes pueden ser de diferente sección transversal atendiendo también al material utilizado para su fabricación, los pilotes de madera son generalmente de sección circular, no así los fabricados de concreto que son casi siempre de sección cuadrada, triangular, octagonal, etcétera, y más raramente circular y por último los pilotes de acero que suelen utilizarse generalmente de sección "H" o tubular.

### 2.3 Selección del tipo de Pilote.

De acuerdo a las características de la Ciudad de México, específicamente en las zonas de Transición y del Lago, el tipo de pilotes con que se ob-

tienen los mejores resultados, son aquellos que trabajan a fricción por el contenido tan alto de arcillas existentes en el subsuelo que se prestan a dicha acción, existiendo además el inconveniente de que en el caso de la utilización de pilotes por punta, al paso del tiempo las estructuras cimentadas con estos elementos tenderían a sufrir el efecto de emersión, originado por el hundimiento paulatino que sufre la ciudad, ya que no sufrirían asentamientos importantes por mantenerse apoyados en estratos duros.

Una vez seleccionado el tipo de pilote, de acuerdo a la forma de trabajo a la que estará sometido, habrá que analizar el tipo de material con el cual deberá ser construido dicho pilote; para obtener los mejores resultados como mencione ya con anterioridad, los pilotes de madera se han vuelto prácticamente obsoletos por lo que quedan descartados dentro del análisis, quedando así por analizar los pilotes fabricados de acero y los fabricados de concreto.

Volviendo a la forma de trabajo a la que estarán sometidos los pilotes, el material que presenta una mayor fricción con las arcillas existentes, sin duda es el concreto desplazando por esta razón al acero; ahora bien, desde el punto de vista económico, no es comparable el costo de una cimentación a base pilotes de concreto, a una elaborada con pilotes de acero, ya que la primera está muy por abajo de los altos costos que ésta última alcanza, considerando además factores como tiempo, transporte, maquinaria, manejo de los pilotes y en general todo el proceso constructivo para la realización de una cimentación de éste tipo.

En cuanto al material del que estarán fabricados los pilotes, es decir de concreto, no hay que olvidar que éstos pueden ser de concreto simple, reforzado y presforzado, lo cual será objeto de estudio en los capítulos siguientes, quedando así la interrogante de cual es el que presenta las mayores ventajas en cuanto a su uso.

Una vez ya determinado el material del cual estrán elaborados dichos pilotes queda como paso siguiente seleccionar aquella sección transversal que optimice la acción de fricción a la que estarán sujetos los pilotes, debiendo ser aquella que presente mayor perímetro en una menor área para economizar concreto, quedando como resultado las secciones triangular o cuadrada, así como la circular, sin olvidar las dificultades que presenta su fabricación, por lo que pudiera no ser la óptima.

Queda de ésta forma limitado más detalladamente el objeto de estudio, enfocándonos particularmente al uso de pilotes de concreto, de secciones triangular o cuadrada como elementos de cimentación de tipo profundo en la Ciudad de México.

En el siguiente capítulo analizaré la fabricación de pilotes tanto colados in situ, como los precolados y así también los elaborados de concreto presforzado, factores de importancia en su elaboración, ventajas y desventajas así como requisitos que se deben tomar en cuenta para su fabricación.

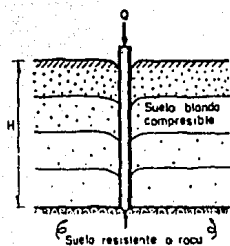


Fig. 2.1 Pilote de punta

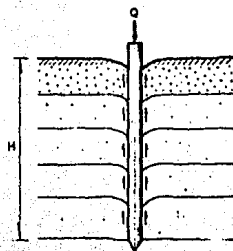


Fig. 2.2 Pilote de fricción

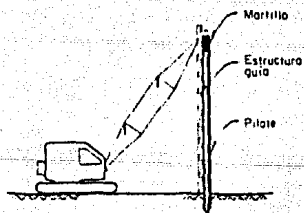


Fig. 2.3 Pilote hincado verticalmente

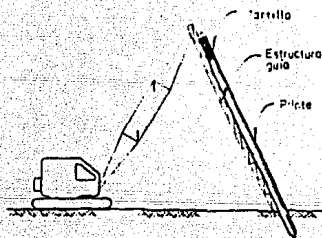


Fig. 2.4 Pilote hincado inclinado

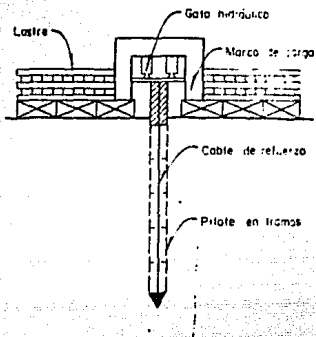


Fig. 2.5 Pilote hincado a presión

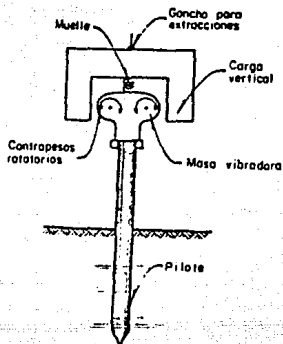


Fig.2.6 Pilote hincado con vibración

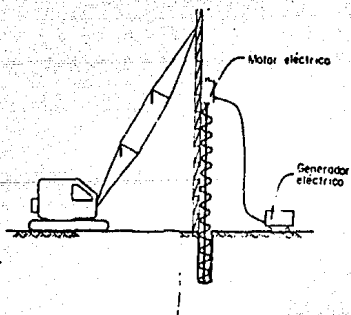


Fig. 2.7 Perforación previa al hincado

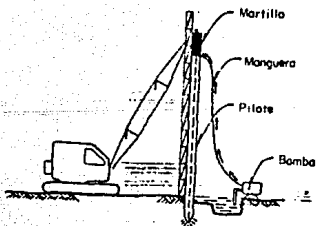


Fig.2.8 Pilote hincado con chiflón

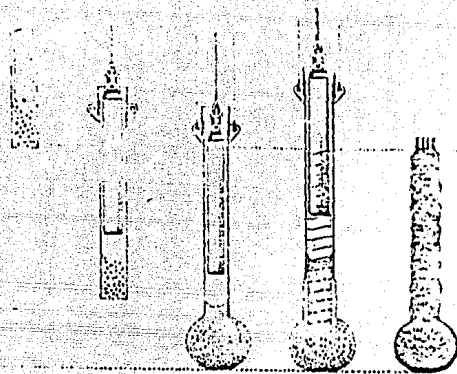


Fig. 2.9 Pilote de concreto colado en el lugar

### III. FABRICACION DE PILOTES DE CONCRETO

El presente capítulo abarcará la construcción de pilotes de concreto prefabricado y de los colados en sitio, se hará también un análisis sobre los pilotes de concreto presforzado anotando las observaciones pertinentes en base al estudio de cada una de las alternativas de construcción de pilotes posibles, ajustándose a las condiciones y requerimientos que en la Ciudad de México se presentan, no olvidando también que cada obra de cimentación a base de pilotes presenta condiciones únicas y procedimientos constructivos a seguir muy particulares, en cuanto al tipo de pilote que se manejará, de acuerdo al tipo y dimensión de la estructura, a las propiedades físicas del suelo, al número de pilotes que se requieran, al tipo de estructuras adyacentes a la obra, a la disponibilidad de los materiales para los pilotes, al presupuesto con que se cuente y demás factores de igual importancia.

#### 3.1 Pilotes Prefabricados.

##### 3.1.1 Diseño Estructural.

El diseño estructural de los pilotes prefabricados está regido por la necesidad de conseguir una resistencia adecuada contra las tensiones producidas por la elevación y manejo de los pilotes y subsecuentemente por la hincada de los mismos. Una vez que los pilotes alcanzan su posición final, los esfuerzos provocados por la carga de cimentación serán probablemente menores que los producidos al manejar e hincar el pilote.

La cantidad de acero longitudinal en base a las experiencias obtenidas deberá ser proporcional a las tensiones producidas en la elevación y manejo



del pilote, y debe tenerse entre 1 y 4 % de acero, del volumen total de concreto, usando varillas del No. 5 como mínimo, colocadas longitudinalmente y con un recubrimiento cuando menos de 5 cm. más el grueso de los estribos; los estribos deben ser del No. 2 como mínimo y separados no más de 16 diámetros de varilla, 48 diámetros del estribo, o el lado o diámetro del pilote, ( ver fig. 3.1 ) hay que procurar que la separación de la armadura sea suficiente para que el concreto fluya libremente a su alrededor, cabe resaltar el espesor del recubrimiento como factor importante en el diseño, puesto que el nivel freático de la ciudad suele localizarse en muchas partes a 1.30 o 1.50 mts. bajo el nivel de la calle, el pilote que dará expuesto a la oxidación de las varillas permanentemente, por lo cual es un punto importante para tomar en cuenta en el diseño.

La punta del pilote suele moldearse de diferente forma según el tipo de suelo en el cual será hincado. ( ver fig. 3.2 )

En lo referente al concreto, es frecuente y se recomiendan, resistencias de  $250 \text{ kg/cm}^2$  si el hincado se realiza en arcillas blandas y de  $300 \text{ kg/cm}^2$  si se trata de arcillas de medias a duras. Las mezclas más ricas son aconsejables para dar al concreto una maniobrabilidad suficiente que pueda colocarse alrededor de las armaduras de la cabeza y la punta del pilote, y al mismo tiempo para que tenga una resistencia elevada a las tensiones que se producen durante el hincado.

### 3.1.2 Fabricación de pilotes de concreto.

Se deben establecer ciertos requisitos mínimos, así como procedimientos básicos de construcción para poder satisfacer los requisitos de diseño referentes a la calidad, resistencia, durabilidad del concreto bajo --

cualquier condición, ya sea que se fabrique en planta o en la obra misma.

#### 3.1.2.1 Camas de colado.

Son plataformas de concreto de 5 a 10 cm. de espesor coladas sobre una base de material compacto, que sirven para el apoyo y fijación de los moldes para la fabricación de pilotes, para éstos tienen integrados algunos elementos de madera o de metal que ayudan a la fijación de las cimbras.

#### 3.1.2.2 Moldes.

Son los utensilios que reciben el concreto y en los cuales se coloca el acero de refuerzo, generalmente se forman a base de tableros modulares de madera, triplay, lámina o sus combinaciones, que permiten darle al pilote la sección requerida, deben estar diseñados para soportar las presiones del concreto durante su colocación y vibrado y ser suficientemente rígidos para conservar su forma sin alteraciones.

Los moldes de colado deben estar hechos de materiales durables tales como metal, plástico o concreto. Los moldes o cimbras más comunes por su facilidad de manejo tanto en su instalación como en el colado, son los que se emplean para pilotes de sección cuadrada y es usual el realizar el ciclo de fabricación de manera tal, que sea posible usar los mismos pilotes ya colados en una primera fase como cimbra de los siguientes. De la misma forma se pueden utilizar los lechos de pilotes ya construidos como camas de colado de los siguientes. ( ver fig. 3.3 )

Antes de proceder al colado es recomendable colocar un recubrimiento en la superficie de contacto de la cimbra para facilitar el despegue, el cual puede ser a base de grasa, aceite quemado, parafina con diesel, etc.

Los pilotes cuadrados y octagonales son colados en forma horizontal. Una vez que se han colado los pilotes, deben curarse con arena húmeda, paja etc., durante el período que requieran las especificaciones. Por último, los pilotes de concreto deben colarse tan cerca como sea posible del sitio donde se van a hincar para reducir el costo del manejo y trasladarlos de los patios de colado a la piloteadora.

### 3.1.2.3 Acero de refuerzo.

El acero de refuerzo se debe colocar con precisión y protegerse adecuadamente contra la oxidación y de otro tipo de corrosión antes de colocar el concreto. Todo el acero de refuerzo deberá estar libre de costras de óxido, suciedad, grasa u otros lubricantes o sustancias que pudieran limitar su adherencia con el concreto.

- Traslapes. Cuando un elemento estructural requiere varillas de mayor longitud que las que normalmente se fabrican, se recurre a traslaparlas o empalmarlas para alcanzar la longitud requerida. Para varillas del No. 8 y menores, se recomienda usar traslapes de longitud equivalente a 40 diámetros de la varilla, aunque nunca menores de 30 cm.; para varillas del No. 10 no se aconseja el traslape y debe recurrirse al soldado de las mismas. Los traslapes no deben quedar en la misma sección transversal. ( ver fig. 3.4 )

- Ganchos y Dobleces. Cuando por el espacio disponible no es posible dar la longitud necesaria para desarrollar el esfuerzo de adherencia entre el concreto y el acero, se recurre a la técnica de efectuar dobleces en el extremo de varilla, a fin de formar ganchos o bien escadras. ( ver fig. 3.5 )

#### 3.1.2.4. Concreto.

Para los pilotes de concreto en contacto con agua dulce se puede utilizar cemento del tipo I y II, el cemento puzolánico es un cemento hidráulico constituido por una mezcla de cemento Portland y Puzolana utilizados para resistir el ataque de los sulfatos.

El agua para curado, para lavar agregados y para mezclar el concreto, debe estar libre de materiales orgánicos, aceites y otras sustancias que puedan ser perjudiciales y contener concentraciones muy bajas de cloruros y sulfatos.

Para fines de durabilidad, los pilotes de concreto deben tener cuando menos 330 kg de cemento por metro cúbico de concreto. El volumen óptimo de agua de mezclado es en realidad la menor cantidad que pueda producir una mezcla plástica y alcanzar la maniobrabilidad deseada para la colocación más eficiente del concreto. La durabilidad del producto terminado disminuye al aumentar la relación agua-cemento.

Es recomendable limitar el revenimiento de una mezcla de concreto a un mínimo compatible con los requerimientos y métodos de colocación de 0 a 7.5 cm para pilotes precolados. Todo el concreto deberá mezclarse hasta obtener una distribución uniforme de los materiales y se debe descargar en su totalidad antes de volver a llenar la mezcladora.

La compactación del concreto deberá hacerse con vibradores de alta frecuencia. Los moldes deben ser lo suficientemente rígidos para resistir el desplazamiento o los daños debidos a la vibración.

El concreto deberá mantenerse arriba de 10°C pero menor de 20°C y en estado húmedo cuando menos durante 7 días después de su colocación o hasta alcanzar la resistencia de proyecto. Los moldes deberán retirarse una vez que el concreto tenga la resistencia suficiente para evitar deformaciones. La colocación del concreto se puede realizar empleando bombas directas de las ollas, mediante canalones, con carretillas, etc.

Se deberá efectuar cuando menos una serie de pruebas de compresión en cilindros por cada 15 m<sup>3</sup> de concreto colado y no menos de 2 especímenes individuales. Los especímenes cilíndricos deberán curarse bajo las mismas condiciones que los pilotes de concreto.

#### 3.1.2.5. Juntas

Si los pilotes han de hincarse a una profundidad mayor que el tamaño de los mismos, es necesario hincar dos o más tramos de pilote, para lo cual se han diseñado varios tipos de juntas de unión que van desde la soldadura a tope de dos placas de acero previamente fijas a los tramos del pilote hasta otros mecanismos. ( ver fig. 3.6 )

#### 3.1.2.6. Manejo y almacenamiento temporal.

Para el despegue, transporte y almacenaje de los pilotes han sido preparados ciertos puntos a lo largo de los mismos, estructuralmente apropiados para esas maniobras, de manera de reducir al mínimo el peligro de fracturas. Los puntos de izaje están constituidos por "orejas" de varilla, cable de acero o placa, que se fijan previamente al acero de refuerzo y quedan ahogadas en el concreto. ( ver fig. 3.7 )

Para pilotes cortos se pueden manejar mediante un sólo punto de izaje, éste debe estar colocado a  $0.293 L$  de la cabeza siendo  $L$  la longitud del pilote. ( ver fig.3.8 ) Se recomienda el empleo de balancines con dos o más puntos de izaje para el transporte de pilotes. ( ver fig. 3.9 )

Los pilotes se deberán manejar y almacenar en forma tal que no se dañen. La resistencia del concreto en el momento en que se desprege de la cama de colado debe ser cuando menos de  $200 \text{ kg/cm}^2$ .

### 3.1.3. Usos, Ventajas y Desventajas.

Debido a su alta resistencia estructural y a la gran variedad de tamaños posibles, los pilotes de concreto precolado poseen una amplia gama de valores de capacidad de carga. Entre sus ventajas pueden mencionarse las siguientes:

- Son adecuados para usarse como pilotes de fricción cuando se hincan en arcillas.
- Son adecuados para resistir fuerzas de tensión cuando así se diseñan.
- Se logra una gran resistencia a la corrosión o agentes contaminantes.
- Son inmunes al ataque de insectos barrenadores y termitas.
- Pueden ser fraguados rápidamente a vapor.
- Son resistentes al fuego cuando sobresalen del terreno natural.

Entre las desventajas de los pilotes prefabricados están las siguientes:

- Es difícil reducir y aumentar la longitud.
- Utilización de acero de refuerzo en exceso por manejo.
- Grandes superficies de colado para su fabricación.

- Muy pesados en secciones mayores de 45 cm por lo que requieren para su manejo de equipos pesados y costosos.

- Al hincarlos se produce un desplazamiento considerable del suelo.

- La escasez de pilotes o rotura de algunos puede demorar la secuencia de la obra.

### 3.2 Pilotes Colados In Situ.

#### 3.2.1 Diseño Estructural.

Se recomienda que la resistencia del concreto esté limitada a 350 - kg/cm<sup>2</sup> dependiendo de las circunstancias en las que se realice la instalación.

El porcentaje de acero de refuerzo y la longitud del tramo que deben reforzarse se determinan con base a las condiciones de carga. En algunos casos puede omitirse el acero de refuerzo, mientras que en otros es menester colocarlo en toda la longitud del barreno o perforación previa.

El acero de refuerzo se diseñará según dos criterios:

- Por requisitos estructurales en cuanto a flexión y acción columnar al estar sometido a la carga de la superestructura.

- Por requisitos impuestos por la necesidad de mantener la estabilidad del armado durante su colocación y al colar el concreto.

El acero de refuerzo tiene que satisfacer las especificaciones bajo las que se construye la obra en lo referente a calidad y limpieza. Se debe tener cuidado al diseñar el acero de refuerzo para garantizar que sea estable durante el manejo y colocación. El problema más serio en el diseño del acero de refuerzo es que debe dejarse una separación suficiente entre el -

armado y las paredes del barreno, así como entre las varillas mismas, para permitir el paso libre del concreto durante el colado. El recubrimiento mínimo deberá ser de 5 cm.

En los pilotes colados in situ con ampliación en la base, el espesor del borde del extremo inferior será por lo menos de 15 cm y el diámetro del fondo no debe exceder tres veces el diámetro del pilote.

### 3.2.2 Fabricación de los pilotes colados in situ.

#### 3.2.2.1 Perforación.

Se deberá seleccionar aquí los métodos constructivos que garanticen la localización precisa de la perforación para el pilote, su verticalidad, que el suelo adyacente a la excavación no se altere mayormente y que se obtenga un barreno limpio, que tenga y conserve las dimensiones de proyecto en toda su profundidad. Se debe evitar en lo posible la sobre excavación del terreno.

La perforación es la etapa inicial en la construcción de los pilotes y consiste en formar un agujero en el suelo, donde posteriormente se depositará el material que formará el pilote, sea éste de concreto reforzado o concreto simple. Sus dimensiones dependerán de los requerimientos del proyecto y su sección transversal, es comúnmente cilíndrica.

Es normal que quede un poco de material suelto en el fondo del barreno pero debe procurarse que sea mínimo. Una buena construcción de pilotes normalmente implica excavar el barreno en el menor tiempo posible y colocar en seguida el concreto. Tiempos de construcción excesivos pueden dar lugar al relajamiento de esfuerzos en el sitio, lo cual permitiría cierto despla



zamiento del suelo hacia el pozo abierto, con la consiguiente disminución de resistencia al corte y mal comportamiento posterior del pilote.

Un aspecto de gran relevancia se refiere a la estabilidad que presenten las paredes de la perforación durante su ejecución debiendo decidir por ello si deben o no ser protegidas para evitar derrumbes o cerramientos. Durante la excavación del pozo deben verificarse con frecuencia la verticalidad de las paredes. Cuando la broca de perforación encuentra obstrucciones tales como boleas, cimientos antiguos y material de desecho, tiende a desviarse de la vertical inclinando el barreno.

La perforación puede ser:

- a) Sin protección. La perforación sin protección es aplicable a suelos firmes o compactos, cohesivos, sobre o bajo el nivel freático que no presentan derrumbes o socavaciones al ser perforados.
- b) Ademada. La protección de la perforación puede ser requerida por la inestabilidad propia del material. Tal protección, que puede incluir además de las paredes el fondo de la perforación, puede lograrse mediante el uso de ademes metálicos.

Los ademes metálicos son tubos de diámetro acorde al de la perforación requerida para el pilote. El espesor de la pared del tubo estará en función de los esfuerzos a los que estará sometido durante su hincado y extracción, su longitud dependerá de los problemas de inestabilidad particular de cada caso.

c) Con lodo. Se denomina lodo de perforación a una mezcla de agua con arcilla coloidal, generalmente bentonita, empleada como auxiliar en la ejecución de barrenos.

La estabilización de perforaciones para pilotes usando lodo bentonítico, se aplica en suelos inestables que presentan problemas de derrumbes, el lodo estabilizador debe sustituir progresivamente el material extraído de la perforación, teniendo especial cuidado de mantener el nivel de aquél - muy cercano al brocal.

#### 3.2.2.2 Acero de refuerzo. ( ver 3.1.2.3 )

El acero de refuerzo debe habilitarse (cortado, doblado), armarse y colocarse apegándose a las instrucciones señaladas en los planos.

#### 3.2.2.3 Manejo y colocación.

Cuando por las necesidades de la obra de acuerdo al procedimiento constructivo, el acero de refuerzo debe armarse en un sitio para posteriormente colocarlo en una cimbra o dentro de una perforación, debe colocarse refuerzo adicional a manera de formar armaduras que permitan el manejo del acero de refuerzo, ya armado, sin que se presenten deformaciones, movimientos o desplazamientos del lugar que ocupará dicho refuerzo en el posterior empleo del concreto. La forma de armar el acero de refuerzo para permitir su manejo, dependerá de la longitud y peso del mismo, así como del equipo disponible para su manejo.

Cuando el método constructivo empleado establezca la extracción del ademe, se debe tener cuidado para evitar que el refuerzo se altere o quede en contacto con el suelo durante tal extracción.

#### 3.2.2.4 Concreto.

Además de los requisitos de calidad que deben cumplir los materiales que intervienen en la fabricación del concreto, deben tomarse en cuenta -- los siguientes aspectos; para asegurar la calidad de la construcción de -- los pilotes.

- Tamaño del agregado.- Es importante que el concreto pase libremente entre los espacios del acero de refuerzo para que logre ocupar todo el volumen excavado para el pilote, por lo que se recomienda que el tamaño máximo de los agregados no sea mayor a  $2/3$  partes de la abertura mínima entre el acero de refuerzo o del espesor de recubrimiento, lo que sea más pequeño.

- Revenimiento.- Para lograr resultados óptimos en el colado, es fundamental el buen proporcionamiento de la mezcla del concreto; se recomienda un revenimiento de 15 a 20 cm además de aditivos con el fin de retardar el fraguado durante el colado y mejorar las características de trabajo. Es importante asegurar un colado continuo para evitar juntas frías.

- Aditivos.- No se aconseja el uso de acelerante de fraguado, solo los retardantes pueden ser útiles en ciertos casos.

En lo referente a la colocación del concreto, varía de acuerdo al procedimiento constructivo utilizado, existiendo además una gran variedad de pilotes en el mercado mundial.

#### 3.2.3 Tipos de pilotes fabricados y colados in situ.

##### 3.2.3.1 Pilotes Franki.

El pilote Franki es una clase de pilote de desplazamiento, hincado y colado in situ que se emplea bastante en todo el mundo, en la fig. 3.10 se

muestran las diferentes fases de elaboración de un pilote Franki. Primeramente se hinca una pequeña longitud del tubo del pilote; a continuación se coloca un tapón de grava o de concreto en el fondo del tubo y se compacta con un sólido apisonador de acero. A medida que el tapón de grava o de concreto va siendo apisonado se le va forzando el interior del suelo, permitiéndose al mismo tiempo el descenso del tubo. La hincada prosigue hasta que se alcanza la profundidad requerida, en cuyo momento se impide que el tubo prosiga hundiéndose y se golpea con un martinete el tapón para que salga del tubo y forme una especie de bulbo. Se introduce entonces, si así lo señala el diseño, el acero de refuerzo ya armado en el interior del tubo y se procede a colar el pilote, al mismo tiempo que se va colando el concreto y apisonando se procede a la recuperación del tubo.

### 3.2.3.2 Pilotes Vibro.

Los pilotes Vibro se forman hincando en el terreno un tubo de acero a fuerza de golpes de un martinete. El tubo va provisto de un azuche cónico suelto de hierro fundido, que mantiene el tubo cerrado hasta que se alcanza la profundidad requerida. A continuación, se coloca el acero de refuerzo y se rellena el tubo de concreto hasta el nivel del sombrerete; entonces se ajustan al tubo unos enganches de extracción que a su vez se conectan al martinete que sube y baja alternativamente golpeando sobre el tubo. Durante la subida el tubo es extraído en una corta distancia y el concreto resbala hacia afuera contra las paredes del barreno. En la bajada del martinete, la masa de concreto contenida en el tubo se mueve hacia abajo compactando así el concreto que se encuentra bajo el tubo y obligándole a entrar en estrecho contacto con el suelo. Los golpes de extracción y apisonado se suceden con una gran rapidez para mantener el concreto en movimiento

impidiendo que se eleve con el tubo y arrastre consigo el refuerzo. En la fig. 3.11 se muestran las fases de formación del pilote.

### 3.2.3.3 Pilotes Simplex.

Los pilotes Simplex se forman hincando un tubo de acero con un azuche separable de hierro fundido ( ver fig. 3.12 ) en una forma similar o igual como se hace con el pilote vibro. Para fabricar los pilotes de concreto armado se emplea un segundo tubo que se hinca al mismo tiempo que el primero. Cuando se ha terminado la hinca, se coloca la armadura entre los dos tubos y se rellena de concreto el tubo interior, siguiendo este de guía al pisón utilizado para el apisonado, a fin de que no se desplacen las armaduras y a continuación son elevados los dos tubos simultáneamente. ( ver fig. 3.13 )

### 3.2.3.4 Pilotes Alpha.

Un tubo de acero cerrado con un azuche separable de hierro es hincado hasta el nivel deseado, seguidamente se introduce en el tubo un mandril relleno de concreto, cuando el tubo se ha hincado por completo, se eleva el mandril para permitir que algo de concreto se deslice hacia abajo por el interior del tubo. El mandril se llena de nuevo con concreto y se hinca mientras se va elevando el tubo. Al hincar el mandril se obliga a salir el concreto por el extremo inferior del pilote, formándose así una especie de bulbo, se vuelve a elevar el mandril y se repone de concreto sucesivas veces y cada una de estas veces el concreto del cuerpo del pilote es presionado contra el suelo por el peso propio del martinete al actuar sobre el mandril. Finalmente, se recupera el mandril y el tubo y se completa el pilote; en la fig. 3.14 pueden observarse las diferentes fases de la formación del pilote Alpha.

### 3.2.3.5 Pilotes Western.

Los pilotes Western con parte inferior de botón se emplean mucho en los países de América del Norte, en la fig. 3.15 se indica el proceso de formación de estos pilotes, primeramente se hinca en el terreno una punta de concreto prefabricado de 42.5 cm de diámetro situada en el extremo de un tubo de acero; una vez alcanzado el nivel previsto, se introduce en el tubo una vaina de acero corrugado en forma espiral uniéndose a la punta de la parte inferior del pilote. La vaina de acero se llena de concreto, con o sin acero de refuerzo y acto seguido se procede a la recuperación del tubo. Sin embargo, como se forma un hueco alrededor de la misma cuando se recupera el tubo de hincia, debe rellenarse dejando que caiga tierra en el interior de dicho hueco.

### 3.2.3.6 Pilotes Raymond

El proceso de formación se indica en la fig. 3.16 y es como sigue; las vainas de acero se ensamblan hasta alcanzar la longitud requerida en torno al mandril cónico de acero que se expande para sujetarlas, una vez situado el mandril y las vainas en las guías del entramado de pilotaje, se hincan hasta el nivel ya fijado por medio de un martinete, el mandril se contrae y recupera, inspeccionándose el interior del tubo para por último colar la vaina con o sin acero de refuerzo. Las condiciones para colar los pilotes Raymond son bastante buenas porque las juntas de las vainas se atornillan y sellan para hacerlas impermeables, pudiéndose además, inspeccionar la alineación de las vainas antes de colocar el concreto.

### 3.2.3.7 Pilotes West.

Los pilotes de vainas de concreto consisten en una serie de vainas de corta longitud, de concreto prefabricado, que se enrosca en un mandril de acero de lados rectos, cuyo extremo inferior va provisto de un azuche cónico de concreto prefabricado. Las vainas se unen con unos anillos circulares de acero; el mandril y las vainas son hincados por medio de un martinete de caída que actúa en el interior de unas guías de un entramado de pilotaje. Las distintas fases de formación de un pilote West se indica en la fig. 3.17 y son las siguientes: el azuche de concreto se instala en un pequeño agujero y el mandril se baja hasta aquél, se enrosca al mandril las vainas de concreto, se hinca el pilote hasta el nivel previsto, posteriormente se retira el mandril y se extraen las vainas sobrantes y por último se inspecciona el interior del pilote, se coloca el acero de refuerzo y se rellena de concreto el interior de las vainas.

### 3.2.4 Usos, ventajas y desventajas.

Como su nombre lo indica, los pilotes de concreto colados in situ se construyen depositando el concreto recientemente mezclado en el suelo y dejando que se cuele ahí mismo. Este tipo de cimentación se fabrica haciendo una perforación en el suelo y llenándola de concreto, pueden o no construirse ademadas, el ademe está formado, ya sea por un tubo metálico ligero - hincado o con un mandril que se extrae después de hincado.

Ambos tipos se pueden reforzar con varillas si es necesario. Su uso se ha generalizado debido a su alta capacidad de carga, aunque en la ciudad actualmente los constructores los han desechado dando primacía a las pilas.

Las ventajas de los pilotes colados in situ son las siguientes:

- Se pueden utilizar con longitudes variables.
- Se requiere poco espacio de almacenamiento.
- Se puede ampliar la base para mayor capacidad.
- Se elimina el exceso de acero que se pone solo para resistir los esfuerzos de manejo.
- Se evitan desplazamientos.
- Pueden proporcionarse rápidamente los pilotes adicionales que se necesitan.

Entre las desventajas que presentan se encuentran las siguientes:

- Son costosos en grandes longitudes y bajo agua.
- Un ligero movimiento del suelo alrededor del pilote sin refuerzo puede romperlo o deformarlo.
- Pueden quedar huecos sin rellenar de concreto.
- Cuando se hincan grandes grupos de pilotes, la solidez del concreto parcialmente endurecido en los pilotes que ya han sido hincados puede ser disminuida.

### 3.3 Pilotes de Concreto Presforzado.

Son elementos estructurales en los que se busca ligereza aprovechando para ello las ventajas del presfuerzo. Así con menor cantidad de acero de refuerzo y haciendo trabajar con mayor eficiencia al concreto se pueden tomar los esfuerzos que se presentan en el pilote principalmente durante su manejo.

En los últimos años se han utilizado en gran escala este tipo de pilotes.



tes debido a los notables ahorros en acero de refuerzo y a una mayor ligereza en el peso.

### 3.3.1 Diseño Estructural.

El pretensado de los pilotes precisa de un concreto de excelente calidad, lo que a su vez supone una elevada resistencia a las tensiones de hincado. Como en el caso de los pilotes de concreto prefabricado, el refuerzo longitudinal se proyecta para resistir las tensiones que se producen en la elevación y manejo del pilote. Además, el pilote es tensado para impedir que aparezcan grietas capilares durante el manejo del mismo.

Es usual como presfuerzo utilizar cable de 5 mm de diámetro tanto para el armado longitudinal como para el transversal. El concreto utilizado tiene una resistencia  $f'c$  del orden de  $250 \text{ kg/cm}^2$  con tamaño máximo de - - agregado de  $3/4$  " y un revenimiento de 12 cm.

### 3.3.2 Fabricación.

Los pilotes de concreto presforzado suelen fabricarse por medio de un proceso de tensado previo, es decir, en los moldes se colocan primeramente unos cables y se someten a tracción por medio de unos gatos hidráulicos colocados en sus extremos, después de los cuales se coloca el concreto en el encofrado y se procede al vibrado del mismo. Una vez que el concreto ha alcanzado la resistencia a compresión prevista se cortan los extremos de los cables que sobresalen del concreto y la tensión de éstos se transmite inmediatamente al pilote, posteriormente se levanta el pilote y se traslada a la zona de apilamiento.

Para su fabricación, este tipo de pilote requiere de preparativos especiales en sus moldes, camas, equipos para maniobras, etc. lo cual constituye una diferencia notable con respecto a los pilotes de concreto precolado con refuerzo normal.

Generalmente su sección transversal tiene forma de "H" y se les utiliza básicamente como pilotes de fricción.

Para su fabricación en serie, los moldes deben ser metálicos, ya que el uso de madera resultaría prácticamente incosteable debido a los pocos usos que se le darían tanto por la forma de "H" del pilote mismo, como de la necesidad de curar los pilotes para darles mayores usos al sistema de fabricación. ( ver fig. 3.18 )

### 3.3.3 Usos, ventajas y desventajas.

En los últimos años han tomado gran auge la utilización de este tipo de pilotes, debido a los notables ahorros de armaduras de acero de refuerzo, así como a la ligereza de su peso.

Entre algunas ventajas que proporciona este tipo de pilotes están las siguientes:

- Alto control de calidad en su fabricación .
- Su resistencia al hincado es mayor.
- Resultan más económicos por la menor cantidad de acero de refuerzo.
- Mayor protección contra agentes exteriores.
- Su acarreo y transporte son más fáciles debido a su ligereza .
- Son especialmente adecuados para trabajar a fricción.

Entre las desventajas que presentan, están las siguientes:

- Requieren de preparativos especiales para su fabricación.
- No pueden hincarse en condiciones de espacio reducido.
- Mano de obra especializada.
- Dificultades para conseguir el acero de presfuerzo.
- Deben construirse en planta.

### 3.4 Conceptos de Control y Verificación.

#### 3.4.1 En pilotes prefabricados.

##### 3.4.1.1 En la planta.

- Que la geometría y otras características de los moldes se ajusten a las especificaciones.
- Que las dimensiones, forma y calidad del acero de refuerzo sean las especificadas.
- Que se tengan las condiciones propicias de curado. No es adecuado -- hacerlo en lugares expuestos al sol.
- Que se sigan los procedimientos adecuados de manejo y almacenamiento.
- Que la calidad del concreto ( proporcionamiento, revenimiento, resistencia, etc. ) sea la especificada.
- Que las juntas preparadas cumplan con las solicitudes de esfuerzos requeridos para los pilotes.

##### 3.4.1.2 En la obra.

- Que el tiempo de los pilotes fabricados en obra y la resistencia correspondiente del concreto ( basada en cilindros de prueba ) sea la especificada.

- Que la geometría de los pilotes ( cabeza perpendicular a un eje, - longitudinal, alineación, longitud, etc. ) se ajuste al especificado.

- Que se sigan procedimientos adecuados de manejo y almacenamiento.

- Que la condición de los pilotes ( sin fisuras ni desprendimientos ) sea satisfactoria, rechazando los que estén dañados.

- Que las uniones se lleven a cabo conforme a las especificaciones.

### 3.4.2 En los pilotes colados in situ.

La inspección y verificación incluye entre otros aspectos:

- La corroboración de su localización.

- La inspección directa de la excavación.

- La protección del barreno y de las construcciones vecinas.

- La verificación de la verticalidad del barreno y de las dimensiones - del fuste.

- La confirmación de la profundidad de desplante adecuada y de la capaci- dad de carga del estrato de apoyo.

- La verificación de la calidad de los materiales utilizados para la ela- boración del concreto.

- La verificación de que los procedimientos de colocación del concreto - sean adecuados.

### 3.4.3 Criterios de aceptación.

Tolerancias de fabricación de pilotes:

Longitud:  $\pm 10$  mm por cada 3 m de longitud.

Sección transversal llena: 6 a 13 mm

Desviación con respecto a una línea recta: no más de 3 mm por cada 3 m de longitud.

Recubrimiento del armado principal: - 3 a + 6 mm del recubrimiento especi- ficado.

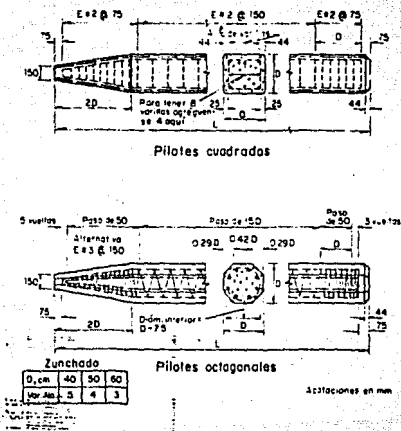


Fig. 3.1 Diseño estructural de pilotes prefabricados

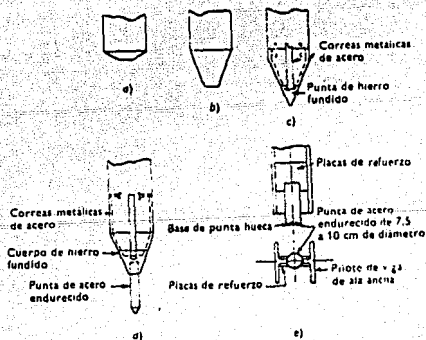


Fig.3.2 Tipos de azuches de pilotes para distintas condiciones de terreno: a) blando; b) arcilla dura, arenas compactas y gravas; c) conteniendo pedruscos y guijarros; d) punta de acero para penetrar lechos rocosos; e) punta Oslo

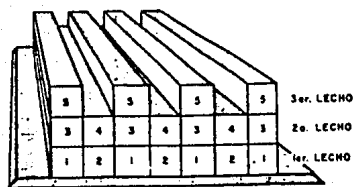


Fig. 3.3 Secuencia de colado de pilotes de sección cuadrada

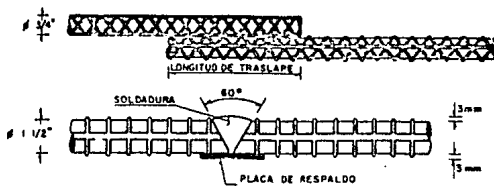


Fig. 3.4 Detalle de traslape y soldadura de varillas

| Varilla No. | $d_h$   | Ganchos a 90° |        | Ganchos a 180° |        |              |
|-------------|---------|---------------|--------|----------------|--------|--------------|
|             |         | a (cm)        | j (cm) | a (cm)         | j (cm) | h (cm) aprox |
| 2           | $6d_b$  | 9             | 10     | 10             | 5      | 9            |
| 2.5         | "       | 11            | 13     | 12             | 6      | 10           |
| 3           | "       | 14            | 15     | 13             | 8      | 10           |
| 4           | "       | 19            | 21     | 15             | 10     | 12           |
| 5           | "       | 23            | 27     | 18             | 13     | 13           |
| 6           | $8d_b$  | 27            | 32     | 20             | 15     | 15           |
| 7           | "       | 32            | 37     | 25             | 18     | 18           |
| 8           | "       | 37            | 42     | 33             | 25     | 23           |
| 9           | $10d_b$ | 42            | 49     | 38             | 29     | 26           |
| 10          | "       | 47            | 59     | 50             | 39     | 32           |
| 12          | "       | 58            | 71     | 60             | 50     | 40           |

a = longitud necesaria para formar el gancho.

Medidas  $d_h$ , a, j y h, recomendadas para formar ganchos

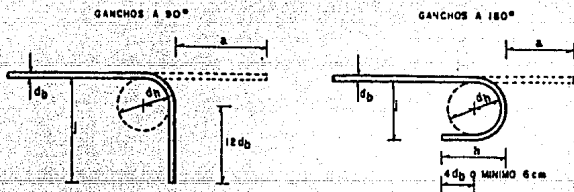


Fig. 3.5 Geometría y dimensiones de ganchos y dobleces

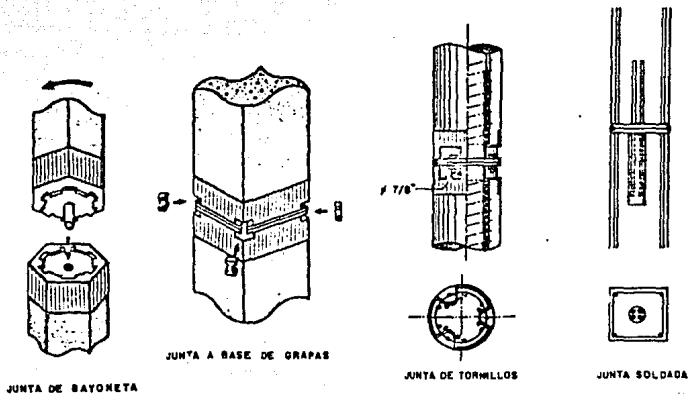


Fig. 3.6 Diferentes tipos de juntas

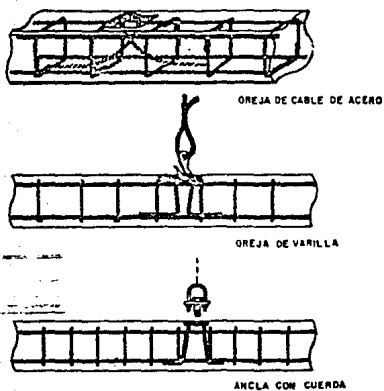


Fig. 3.7 Diferentes soluciones para los puntos de izaje



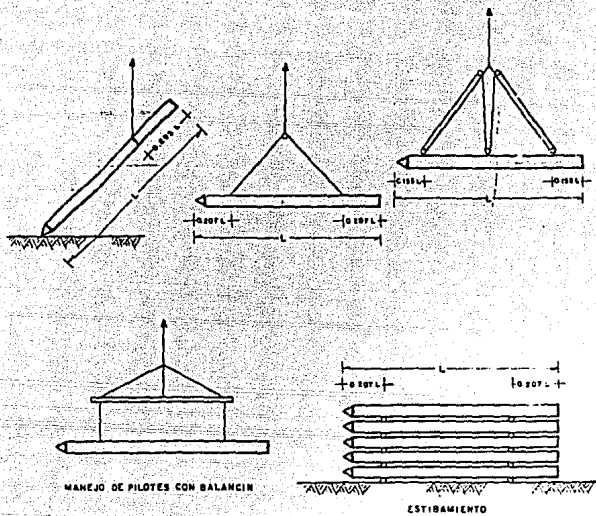


Fig. 3.8 Puntos de izaje, manejo y estibamiento de pilote

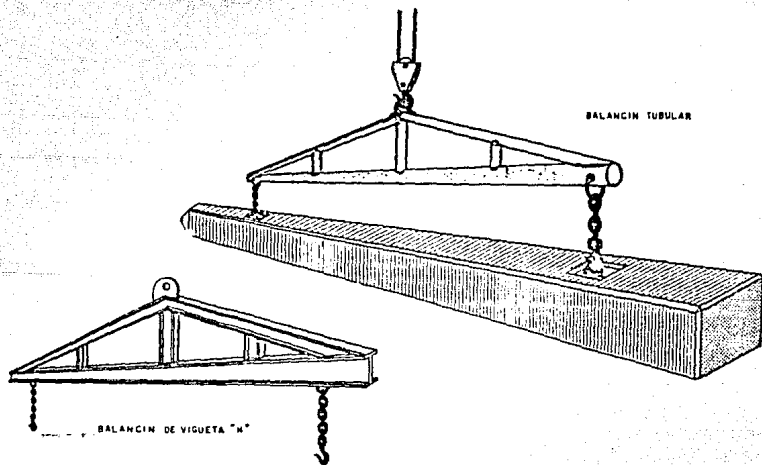


Fig. 3.9 Tipos diferentes de balancines

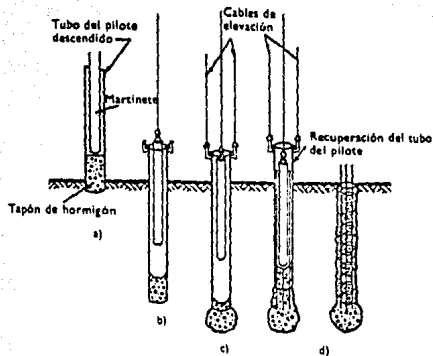


Fig. 3.10 Fases en la formación de un pilote Franki

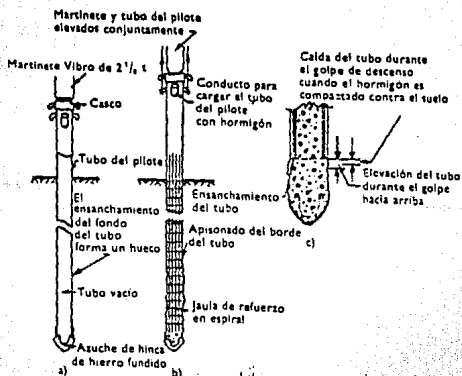


Fig. 3.11 Fases en la formación de un pilote Vibro



Fig. 3.12 Azuche de hierro fundido

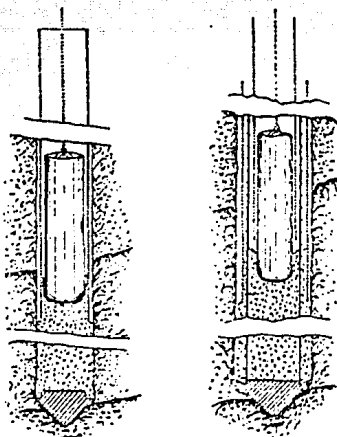


Fig. 3.13 Formación de un pilote Simplex

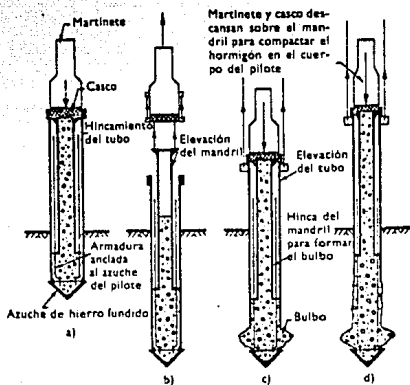


Fig. 3.14 Fases de la formación de un pilote Alpha

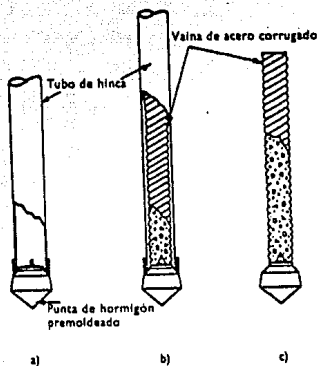


Fig. 3.15 Fases de la formación de un pilote Western

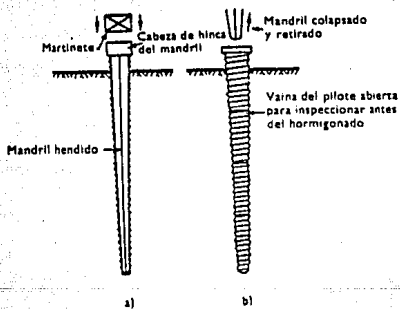


Fig. 3.16 Fases de la formación de un pilote Raymond

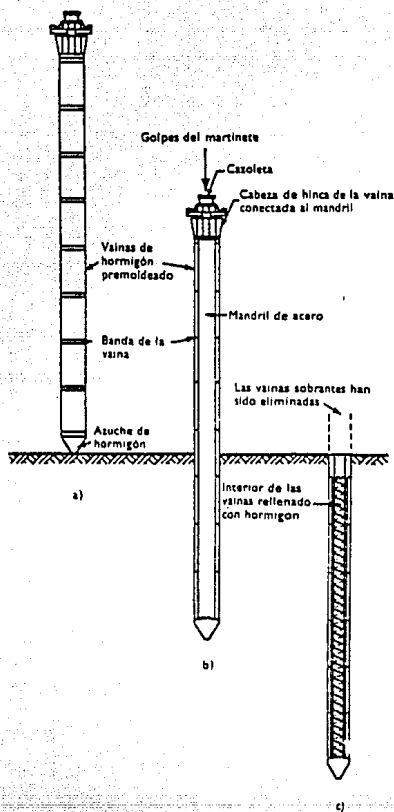
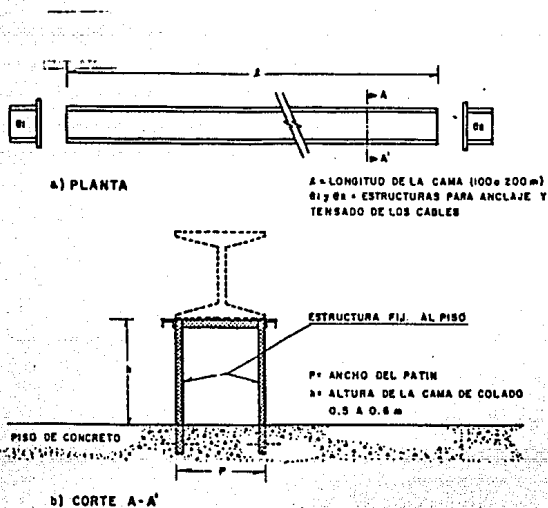


Fig. 3.17 Fases de la formación de un pilote West



Esquema típico de un pilote de concreto presforzado



Cama para tensado y colado de pilotes presforzados

Fig. 3.18 Fabricación de pilotes presforzados

#### IV. PROCEDIMIENTOS DE HINCADO DE PILOTES DE CONCRETO.

El procedimiento de hincado de pilotes es un factor importante para lograr un resultado satisfactorio en la elaboración de una cimentación profunda de este tipo. Y va ligado íntimamente a las condiciones que presenta el suelo en el cual serán hincados los pilotes, por lo que la Mecánica de Suelos juega un papel bien determinante en lo que a este renglón se refiere.

En éste capítulo trato de enmarcar diferentes tipos de hincado en base a las diferentes dificultades que presente el terreno, así como algunos problemas y causas que propicia la hinca de pilotes, también incluyo algunos aspectos importantes que se deben inspeccionar y verificar para un buen hincado.

##### 4.1 Hincado de pilotes.

Hincado se denomina al proceso de introducir los pilotes en el terreno por medio de una piloteadora o martinete ( ver fig. 4.1) y que consta de una grúa montada generalmente sobre orugas, y a cuya pluma se unen unas guías de canales de acero, sobre las que cae un martillo, que es el elemento que golpea al pilote y lo impulsa a penetrar en el terreno ( ver capítulo V ). A últimas fechas empieza a notarse gran difusión por otros mecanismos que se han ido desarrollando obteniendo buenos resultados y que más adelante mencionaré.

La efectividad de un hincado depende mucho de la interacción de tres factores fundamentales: el pilote, el martinete y el suelo de cimentación. La instalación del pilote debe efectuarse de tal manera que se garanticen

la integridad estructural del pilote y se alcance la integración deseada con el suelo, en forma tal que el pilote pueda adecuadamente cumplir su función.

Antiguamente era costumbre hincar los pilotes hasta que ya era imposible introducirlos a mayor profundidad. Este criterio era conocido como criterio de rechazo para la hincada de pilotes. Dicho criterio era muy defectuoso e inducía a graves errores de trascendencia.

Considérese por ejemplo el caso de la fig. 4.2. En dicha figura se muestran lentes de material resistente a los que se supone capacidad para producir rechazo en los pilotes que se apoyan en ellos, como la distribución de estas lentes es irregular quedarán a diferentes profundidades, con la consecuencia de que al paso del tiempo los pilotes apoyados en la roca permanecerán fijos, en tanto los apoyados en los lentes resistentes se asentarán de manera diferente unos de otros por ser distintos los espesores de material compresible que queda debajo de cada lente y la estructura seguramente sufrirá daños por asentamientos diferenciales.

Otro peligro de un pilote hincado a rechazo es que cualquier sobrecarga que el pilote reciba o cualquier disminución de resistencia en el suelo a lo largo del tiempo, podrán hacer penetrar al pilote en un estrato resistente delgado que, sin embargo, hubiera presentado buenas condiciones en el momento de la hincada.

El proceso de hincado de pilotes interesa, sobre todo, por la cantidad de fallas que puede haber. En la práctica la mayor parte de los problemas relacionados con el uso de pilotes provienen de las dificultades -



de hincado. Por ejemplo; los rellenos superficiales suelen contener trozos de concreto, madera, escombros, etc., y hacer que los pilotes se desvien de sus lugares correspondientes o bien las obstrucciones pudieran ser por pedruzcos o fragmentos de roca.

#### 4.1.1 Preexcavaciones.

La perforación previa es un magnifico medio de disminuir el volumen de suelo movilizado por la hinca y es muy útil para asegurar un buen hincado a través de estratos duros o rellenos obstruidos poco profundos, también para evitar levantamientos del terreno por volumen de suelo que es desplazado por el volumen de los pilotes al ser hincados y que provocan graves daños a las construcciones vecinas. ( ver fig. 4.3 )

En suelos apropiados, la preexcavación o perforación previa puede efectuarse con una broca accionada mediante una perforadora. El orificio perforado deberá permanecer abierto, hasta que se lleve a cabo el hincado del pilote. La perforación previa debe hacerse con una dimensión transversal ligeramente menor que la del pilote sobre todo si se espera que el pilote trabaje a fricción.

#### 4.1.2 Secuencia del hincado.

Después del despegue y transporte de los pilotes de las camas de colado al lugar de hincado es conveniente:

- Colocar marcas a una separación máxima de 1.0 m a todo lo largo del pilote con el fin de determinar con facilidad el número de golpes necesario para cada metro de hincado.
- Izar el pilote manejándolo en el punto correcto de acuerdo a las recomendaciones antes señaladas.

- Colocar el pilote en el punto correcto de su ubicación o en la perforación previa, si existe, de acuerdo a los planos constructivos.
- Orientar el pilote, si es requerido.
- Acoplar la cabeza del pilote al gorro del martillo piloteador.
- Colocar en posición perfectamente vertical o en el ángulo requerido, si se trata de pilotes inclinados, tanto el pilote como la resbaladera del martillo corrigiendo la posición de la grúa hasta lograrlo. Usualmente para lograr la verticalidad del pilote se emplean dos plumadas de referencia colocadas en un ángulo de  $90^{\circ}$  teniendo como vértice el pilote. ( ver fig. 4.4 )
- Accionar el disparador del martillo con lo cual se inicia propiamente el hincado del pilote.

La localización se define generalmente cuando el pilote se coloca en su posición de hincado. El tratar de corregir la posición una vez iniciado el hincado a menudo da lugar a flexión excesiva y a daños en el pilote. Es muy difícil corregir la verticalidad una vez comenzado el hincado, sin que se generen esfuerzos flexionantes, por lo cual, es muy importante tomar en cuenta este aspecto.

#### 4.2 Diferentes procedimientos de hincado.

##### 4.2.1 Hincado de pilotes con inyección de agua a presión.

En cierto sentido el hincado de pilotes mediante inyección de agua a presión, también llamado chiflonaje, es también una preexcavación. (ver fig. 4.5 ) Sirve para ayudar al pilote en su penetración en estratos de arena o de grava arenosa, principalmente. Este método resulta ineficaz -

en arcillas firmes o duras, o en cualquier otro suelo que contenga mucha grava.

El chiflonaje puede ser una magnífica ayuda para facilitar la hincada de pilotes, removiendo el suelo en la punta y disminuyendo la fricción lateral en las paredes. La fig. 4.6 muestra algunos arreglos típicos de las salidas de los chiflones en la cabeza de los pilotes.

Los chiflones se constituyen de una tubería de 5 o 7 cm de diámetro, con un estrechamiento en la salida del orden de la mitad de tal dimensión. Un buen chiflonaje requiere una gran cantidad de agua a presión lo suficientemente elevada para aflojar el suelo y sacar la tierra del agujero antes de la penetración del pilote. Para hincado através de arenas debe preverse un gasto del orden de 1000 lts. por minuto y por pilote, con presiones de agua de 10 a 20 kg/cm<sup>2</sup>, en materiales más gruesos ambas cifras pueden crecer considerablemente. Los arreglos con un solo inyector en la punta ( ver fig. 4.7 ) son indeseables, pues se tapan y además tienden a formar un tapón compacto bajo el pilote, dificultando el hincado. Para un mejor arreglo, los chiflones deben estar dispuestos simétricamente en torno a la punta del pilote, para evitar que éste se desvíe de la verticalidad y estar ligeramente dirigidos hacia arriba. Los tubos fuera del pilote se despegan fácilmente de éste y se desvían.

Un aspecto que es muy importante sobre el chiflonaje es que algunos pilotes se han chiflonado hasta su penetración final, lo que no se considera muy práctico. La operación de inyección debe suspenderse cuando menos un metro por arriba del nivel de desplante definitivo del pilote, pues de otro modo se corre el peligro de aflojar el nivel de apoyo, disminuyendo la resistencia.

#### 4.2.2 Hinca de pilotes a través de terreno difícil.

La hinca de pilotes en algunos tipos de terrenos, tales como fragmentos de rocas y rellenos que obtengan obstrucciones tales como grandes masas de concreto o desechos de obras anteriores, resulta imposible; a menos que se empleen métodos especiales. Estos métodos suponen como ya mencioné con anterioridad, la perforación de un barreno de diámetro suficiente a través del terreno para introducir en su interior el pilote. En terrenos sueltos puede ser, a veces, necesario en tubar el barreno, lo que supone luego ciertas dificultades a la hora de retirar este revestimiento.

Otro procedimiento consiste en hincar una barra pesada de acero a través del terreno e introducir luego el pilote en un suelo ya aflojado, una vez retirada la barra. En terrenos que contengan fragmentos de roca, pueden emplearse martillos neumáticos o taladros de núcleo de diamante rotatorio para perforar a través de estas rocas que son despedazadas haciendo estallar cargas explosivas colocadas en los taladros.

Si la obstrucción se encuentra en suelo blando o suelto, puede hacerse a un lado, hincando algún tipo de "macho". Este puede ser una viga "H" pesada, con la punta reforzada o un tubo cerrado por el extremo muy pesado. Con frecuencia es necesario meter el macho más de una vez en un grupo de pilotes, puesto que al empujar la obstrucción fuera del lugar que debe ocupar el pilote, puede hacer que se mueva hacia la ubicación de otro.

#### 4.2.3 Hinca de pilotes mediante vibración.

Los métodos vibratorios para hincar pilotes son los más adecuados en suelos de grava o arenosos. Los martillos vibratorios para pilotes se in-

ventaron hace relativamente poco tiempo y reciben ese nombre por la gran frecuencia de los golpes verticales que descarga el mecanismo impulsor.

( ver fig. 4.8 )

Se han ideado métodos de hincado de pilotes que emplean martillos vibratorios de alta frecuencia sujetos a las cabezas de los pilotes, que pesan de 1 a 3 ton. cada uno, con una frecuencia de 40 ciclos por segundo - empleados para hincar pilotes en suelos saturados hasta profundidades de 7 .0 m y otros de 5 ton. de peso con frecuencia de 10 ciclos por segundo utilizados para hincar pilotes de concreto armado hasta profundidades de 10 a 12 m con ayuda del chiflonaje.

#### 4.2.4. Hincado de pilotes mediante hincadores resonantes.

Los hincadores resonantes, también llamados sónicos, imparten vibraciones verticales de alta frecuencia a los pilotes, por medio de un impulsor en la parte frontal del hincador. La vibración vertical del pilote reduce la resistencia a la fricción en un lado del pilote, de tal modo que así toda la energía se transmite a la punta del pilote. Esta energía es suficiente para romper o desalojar pedruzcos, penetrar en las obstrucciones y pulverizar los salientes rocosos.

Se elimina la mayor parte de la vibración que causa el hincado de pilotes a golpes. El ruido que produce el hincado resonante es menos molesto que el del hincado a golpes. En la mayoría de las condiciones de los suelos, el tiempo necesario para hincar un pilote es mucho menor que el necesario para el procedimiento por golpes, además los pilotes quedan más rectos. Estas unidades son más eficientes en suelos arenosos, pero menos en los arcillosos.

El hincado resonante ha dado buenos resultados desde el punto de vista de los costos y la ingeniería; sin embargo, se necesitan más investigaciones sobre el control de los costos de reparaciones de esos martillos para que este sistema tan prometedor resulte más competitivo.

#### 4.3 Dificultades y Consecuencias de Hincado.

En general, las fuerzas que le permiten a un pilote soportar una carga, también ocasionan que el pilote resista a los esfuerzos que se hacen para hincarlo. La resistencia total de un pilote a la penetración será -- igual a la suma de las fuerzas producidas por la fricción superficial y -- por el apoyo de la punta.

Las principales causas de problemas provienen de cambios importantes y no previstos en la consistencia de los suelos o la presencia de boleos, formaciones potentes de grava muy compacta u otros obstáculos.

Aún excluyendo el caso de aparición de boleos u otros obstáculos que imposibiliten el hincado, pero sería imperdonable no detectarlo en la etapa de estudios; el hincado se dificulta cuando la consistencia del terreno por atravesar se va haciendo más dura en arcillas o más compacta en -- arenas.

La hinca de pilotes en arcillas blandas produce remoldeo, que disminuye su resistencia al esfuerzo cortante, tanto más como más sensible sea; sin embargo, con el paso del tiempo la resistencia se va recuperando. Así, es frecuente que en arcillas muy sensibles los pilotes bajen por su propio peso. Con el paso del tiempo se disipan las presiones en el agua en -

exceso y se regenera la resistencia al esfuerzo cortante en el suelo. Por otra parte en arcillas no sensibles, la resistencia viscosa durante el hincado impide en cierto grado la penetración del pilote, que entraría con mayor facilidad bajo carga estática o lentamente aplicada.

#### 4.3.1 Levantamientos del terreno y desplazamientos.

Cuando se hincan pilotes en arcillas, se desplaza un volumen de suelo que puede ser tan grande como el volumen de los pilotes; esto va produciendo en el terreno un "lomo" que levanta estructuras adyacentes a los pilotes vecinos; puede suceder que los pilotes ya hincados se separen del estrato resistente en que se apoyan bajo la arcilla. ( ver fig. 4.9 ) La situación puede remediarse rehincando los pilotes pero en ocasiones la adherencia entre arcilla y pilote crece de tal manera con el tiempo, que esta operación se hace muy difícil, en este punto cabe hacer la aclaración de que cuando se está realizando una hinca sobre este tipo de terreno, se debe realizar sin dejar a medias el hincado del pilote, ya que como cité con anterioridad, con el tiempo la adherencia entre arcilla y pilote es tal -- que se podría creer que el pilote ha llegado a un estrato resistente y pudiera crear confusión y problemas en la maniobra si no se tiene el debido control en la obra.

En los suelos granulares, el volumen de desplazamiento produce la compactación del suelo que rodea al pilote. Cuando los suelo granulares son demasiado densos para una mayor compactación, los pilotes pueden haber llegado a su capacidad de carga y de no ser así, tal vez se requiera hacer uso del chiflonaje para permitir una mayor penetración.

En suelos arcillosos el hincado provoca grandes presiones en el suelo, esos suelos son relativamente incompresibles durante el hincado y solo pueden aflojarse mediante el movimiento, la tierra se eleva y se desvía a los lados del pilote. En un sitio de construcción al ras, donde la excavación general es poco profunda, la superficie del terreno se elevará, pudiendo ser tan notable, que afecte construcciones aledañas.

Cuando el estrato de apoyo sea primordialmente arcilloso, puede elevarse llevándose al pilote hacia arriba. La secuencia de hincado puede tener cierta influencia sobre dichas elevaciones y un medio para evitarlas a lo sumo puede ser éste, ya que puede modificar la proporción en que se levanta el suelo. En un grupo grande de pilotes, la secuencia de hincado debe iniciarse en el centro y dejarse posteriormente hacia las orillas del grupo. Esto produce una mayor reducción de los esfuerzos del suelo y del movimiento de los pilotes de hincado.

Todos estos problemas pueden reducirse también, o eliminarse, removiendo parte del suelo que el pilote va a desplazar, es decir, realizando una preexcavación.

#### 4.3.2 Fricción Negativa.

Existe un problema muy importante en las cimentaciones piloteadas, cuando se presenta una estratigrafía básicamente formada por un cierto espesor compresible y cuando dicho espesor tiende a disminuirse por algún proceso de consolidación, como en el caso de la Ciudad de México, el cual ya cité con anterioridad, dicho proceso de consolidación induce fuerzas de arrastre sobre los pilotes tendiendo a bajar a lo largo de su fuste la --



cual es llamada fricción negativa por ser en sentido descendente sobre carga a los pilotes reduciendo así su capacidad de carga. La fricción negativa es máxima en arcillas muy sensibles, que se consolidan después del remoldeo. ( ver fig. 4.10 )

La fricción negativa se convierte en un problema de capacidad de carga en el caso de los pilotes que trabajan por punta, ya que, la carga transmitida al pilote aumenta a la vez que disminuye el confinamiento del estrato de soporte, reduciendo así su capacidad de carga y si estas cargas no han sido tomadas en cuenta en el diseño pueden llegar a producir el colapso del pilote por penetración en el estrato resistente. Y en el mejor de los casos, cuando los pilotes soporten la sobrecarga, la estructura apoyada sobre los pilotes parecerá emerger sobre la superficie del terreno, lo que producirá daños a las estructuras vecinas. ( ver fig. 4.11 )

En los casos de pilotes apoyados en suelos compresibles, donde la capacidad de carga está regida por la resistencia a la fricción o adherencia lateral, el problema de fricción negativa se puede clasificar como un problema de asentamiento, ya que el efecto de fricción negativa que tenga un pilote ubicado en la zona interior de la cimentación será diferente al que sufra un pilote de borde, puesto que la sobrecarga será mayor y este efecto puede acentuarse aún más en un pilote de esquina, por ello será más susceptible a alguna cedencia y será el que mayor asentamiento produzca, seguido de los de borde, quedando los mínimos hundimientos en las zonas interiores del área piloteada, de ahí la importancia de este fenómeno para ser tomado en cuenta en el diseño de la cimentación.

#### 4.4 Prevención y Control.

##### 4.4.1 Prevención de daños al pilote durante su hincado.

He aquí algunas reglas generales para el hincado correcto de los pilotes de concreto:

- 1.- Usar un material de amortiguamiento adecuado entre el gorro del martillo y la cabeza del pilote. ( ver capítulo V )
- 2.- Para reducir los esfuerzos de hincado, usar una masa pesada con baja velocidad de impacto, para obtener la energía de hincado deseada, en vez de una masa ligera con una alta velocidad de impacto. Los esfuerzos de hincado son proporcionales a la velocidad de impacto del martinete.
- 3.- Reducir la velocidad del pistón o la carrera al principio del hincado cuando se encuentren suelos de baja resistencia.
- 4.- Asegurarse de que el gorro del martinete se ajuste ligeramente alrededor de la cabeza del pilote para que el pilote pueda girar.

El hincado de pilotes de concreto prefabricado debe hacerse con sumo cuidado para minimizar los esfuerzos de tensión desfavorables que se generan cuando la resistencia al hincado es baja.

Generalmente se presentan dos problemas.

- Se pueden formar grietas horizontales de tensión regulares durante las etapas iniciales de hincado, cuando la resistencia a la penetración es baja.
- La punta o la cabeza del pilote se pueden aplastar en compresión si el hincado es severo.

Es esencial que la cabeza del pilote sea perpendicular al eje del pilote a fin de evitar una distribución no uniforme en las fuerzas del impacto. En la mayoría de los casos la punta del pilote solo deberá achafalnarse en sus bordes y esquinas; si el pilote debiera atravesar suelos duros o apoyarse por punta en la roca, se recomienda instalar una punta especial de acero en su extremo.

Asimismo, al empalmar los pilotes, se deberá verificar la verticalidad del pilote a lo largo de cada junta a medida que avanza el hincado.

#### 4.4.2 Conceptos de control que se deben verificar.

Durante el proceso de hincado de los pilotes, es indispensable llevar un registro en donde se anote el número de golpes del martinete, necesario para hincar un tramo de pilote, sobretodo en los últimos metros, con el fin de poder determinar la energía de rechazo especificada para pilotes de punta y conocer la variación de la adherencia en los pilotes de fricción. En la fig. 4.12 se presenta un registro de hincado de pilotes.

A continuación enlisto los conceptos más importantes que se deben verificar en el hincado:

- Información general: fecha, condiciones atmosféricas, identificación del pilote.
- La localización precisa del pilote.
- La verticalidad de los pilotes hincados a intervalos regulares durante su instalación. Esto se puede hacer simplemente verificando la alineación de las cabezas de hincado y de la parte visible del pilote por medio de un nivel contra la cara del pilote y la cabeza.

- La estabilidad y alineación de las resbaladeras y guías.
- El número de golpes.
- Desplazamientos del pilote bajo los golpes a distintas profundidades.
- Posición y calidad de las uniones o juntas.
- Localización, hora y duración de cualquier interrupción durante el hincado.
- Desplazamientos elásticos permanentes y golpes por centímetro para los golpes finales.
- Elevación del terreno natural.
- Cualquier comportamiento no usual en el pilote.
- Posible emersión de los pilotes adyacentes.
- Cualquier información pertinente.

#### 4.4.3 Criterios de aceptación.

Tolerancia durante el hincado de pilotes.

Es común especificar una tolerancia de 2 % de la longitud final, en - lo referente a la verticalidad de los pilotes. En suelos difíciles resulta más práctica una tolerancia del 4 %.

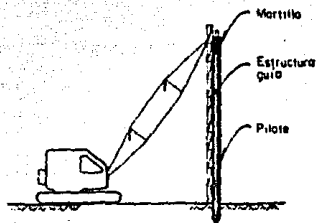


Fig. 4.1 Hincado de pilotes

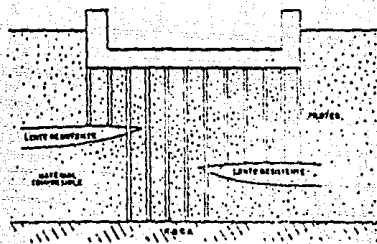


Fig. 4.2 Esquema que ilustra los peligros de hincado de pilotes "al rechazo"

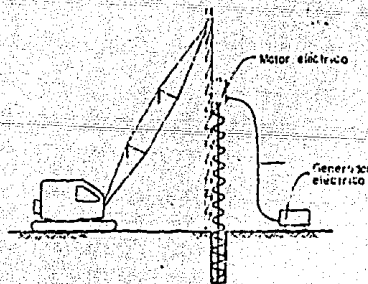


Fig. 4.3 Precavación

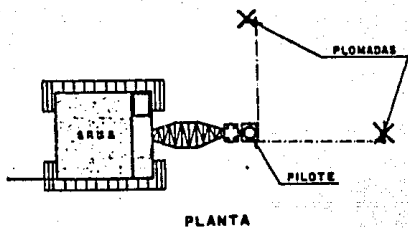


Fig. 4.4 Posición vertical de un pilote

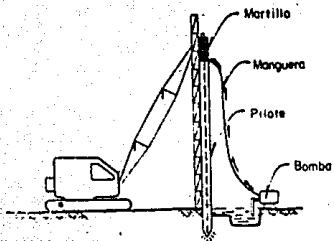


Fig. 4.5 Chiflonaje

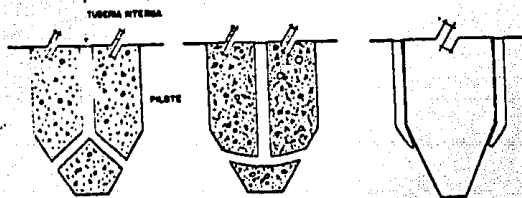


Fig. 4.6 Arreglos típicos para inyección de agua a presión para facilitar el hincado

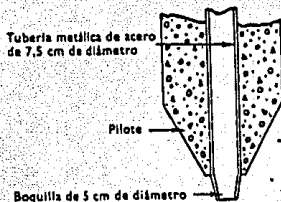


Fig. 4.7 Arreglo con un solo inyector

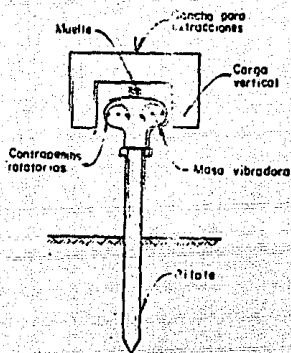


Fig. 4.8 Hincado mediante vibración

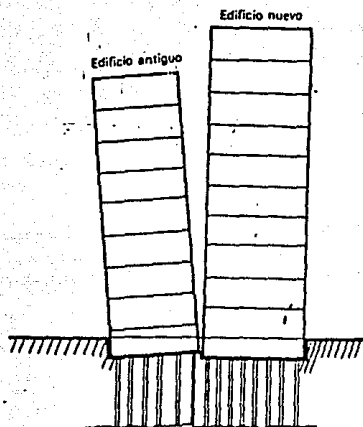


Fig. 4.9 Levantamientos del terreno y desplazamientos

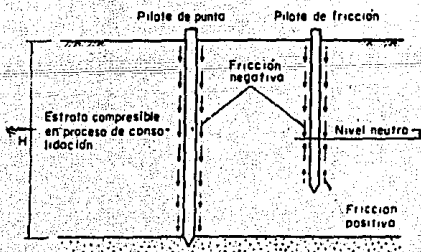


Fig. 4.10 Fricción negativa en pilotes

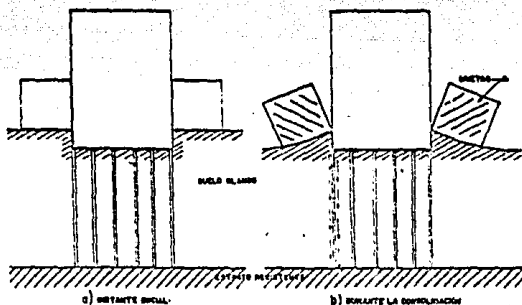


Fig. 4.11 Daños a estructuras vecinas

REPORTE DE HINCADO DE PILOTES

FECHA DE HINCADO DE PILOTE \_\_\_\_\_ OPERADOR \_\_\_\_\_  
 No DE HINCADO DE PILOTE \_\_\_\_\_ MÁQUINA \_\_\_\_\_  
 No DE PILOTE SEGUN PLANO \_\_\_\_\_ No. ECU \_\_\_\_\_  
 COTA DEL N. T. NATURAL \_\_\_\_\_ # DE PERFORACION \_\_\_\_\_  
 LONGITUD DE PERFORACION \_\_\_\_\_ COTA DE DESPLANTE PILOTE \_\_\_\_\_  
 LONGITUD DEL PILOTE \_\_\_\_\_ TURNO \_\_\_\_\_

| PROPUNDA<br>EN<br>METROS | NUMERO<br>DE<br>SOLPES | NUMERO DE SOLPES |    |    |    |     | OBSERVACIONES |
|--------------------------|------------------------|------------------|----|----|----|-----|---------------|
|                          |                        | 20               | 40 | 60 | 80 | 100 |               |
|                          |                        |                  |    |    |    |     |               |
|                          |                        |                  |    |    |    |     |               |
|                          |                        |                  |    |    |    |     |               |
|                          |                        |                  |    |    |    |     |               |
|                          |                        |                  |    |    |    |     |               |
|                          |                        |                  |    |    |    |     |               |
|                          |                        |                  |    |    |    |     |               |
|                          |                        |                  |    |    |    |     |               |
|                          |                        |                  |    |    |    |     |               |
|                          |                        |                  |    |    |    |     |               |
|                          |                        |                  |    |    |    |     |               |
|                          |                        |                  |    |    |    |     |               |
|                          |                        |                  |    |    |    |     |               |
|                          |                        |                  |    |    |    |     |               |
|                          |                        |                  |    |    |    |     |               |
|                          |                        |                  |    |    |    |     |               |
|                          |                        |                  |    |    |    |     |               |
|                          |                        |                  |    |    |    |     |               |
|                          |                        |                  |    |    |    |     |               |

EMPLATO: \_\_\_\_\_

PA. No. \_\_\_\_\_

Fig. 4.12 Registro de hincado de pilotes



## V. EQUIPO UTILIZADO PARA EL HINCADO DE PILOTES DE CONCRETO.

En el presente capítulo he visto la necesidad de remarcar la gran importancia que tiene y que complementa todo proceso constructivo de una cimentación profunda, la selección del equipo más adecuado para el hincado de pilotes.

Es indudable la gran importancia y trascendencia que representa para toda construcción la buena elección del equipo a utilizar y esto ha servido de base para la realización del presente capítulo.

He dividido para ello en dos grupos muy generales el equipo utilizado uno llamándole equipo principal y al otro denominándole como herramientas adicionales.

### 5.1 Equipo Principal.

#### 5.1.1 Grúas.

Las grúas son máquinas que sirven para el levantamiento de objetos pesados, contando para ello con un sistema de malacates que acciona uno o varios cables montados sobre una pluma y cuyos extremos terminan en gancho.

Existen diferentes variantes de grúas dependiendo de los requerimientos de la obra, como lo son las grúas fijas ( ver fig. 5.1 ) y las móviles; cuando son móviles pueden trasladarse por sí mismas, ya sea sobre orugas o sobre neumáticos. ( ver fig. 5.2 y 5.3 )

Las plumas de las grúas pueden ser rígidas cuando están formadas por elementos prismáticos de estructuras modulares y telescópicas cuando están formadas por elementos prismáticos que se deslizan unos dentro de otros.

A dichas grúas móviles con plumas telescópicas se les denomina "patos".

( ver fig. 5.4 )

Para el montaje de equipos de perforación, se requieren de grúas de 45 a 80 ton. de capacidad nominal, con plumas rígidas de 18.30 m de largo. Para otras maniobras se emplean grúas de menor capacidad nominal, superior a las 15 ton. Las condiciones del terreno dictaminarán la conveniencia de que estén montadas sobre neumáticos o sobre orugas.

En la tabla 5.1 se muestran los tipos más usuales en nuestro país.

#### 5.1.2 Perforadoras.

Son máquinas para hacer barrenos en el suelo, por medio de una barra en cuyo extremo inferior se coloca una herramienta de avance, generalmente una broca.

La barra se hace girar en algunos mecanismos o bien se levanta y se deja caer rítmicamente sobre el fondo en otros, lo cual da lugar a que las perforadoras sean de dos tipos: rotatorias o de percusión, respectivamente.

Los sistemas rotatorios se emplean más comúnmente en la perforación de barrenos en suelos blandos, para fines de construcciones de cimentaciones, ya sea en la construcción de pilotes in situ o como perforaciones previas al hincado de pilotes prefabricados.

Se emplean generalmente dos tipos de perforadoras con sistema rotatorio, según estén sobre una grúa ( ver fig. 5.5 ) o que se monten sobre un camión. ( ver fig. 5.6 ) La selección de la perforadora más adecuada para un proyecto dado, dependerá de las propiedades mecánicas que presente el

suelo, así como del diámetro y profundidad del barreno.

En la tabla 5.2 se presenta una relación de las perforadoras de uso más frecuente en nuestro país.

Las brocas espirales son los principales elementos de avance de las perforadoras rotatorias ( ver fig. 5.7 ) y pueden ser cilíndricas o cónicas y están formadas por una hélice colocada alrededor de una barra central. Las espirales cilíndricas se emplean más en suelos preferentemente cohesivos y las brocas espirales cónicas en cambio, son útiles cuando se presentan boleos o en terrenos duros.

#### 5.1.3 Martinetes.

La función de los martinetes es la de proporcionar la energía que se requiere para hincar un pilote. La energía de hincado se suministra por medio de una barra que cae pegando en la cabeza del pilote, llamada masa. ( ver fig. 5.8 )

Los tipos más comúnmente empleados incluyen los siguientes:

- 1.- De caída libre.
- 2.- De vapor, de simple acción.
- 3.- De vapor, de doble acción.
- 4.- De vapor, de acción diferencial.
- 5.- Diesel.

El tamaño de un martinete de caída libre se designa por medio de su peso, mientras que el tamaño de los demás se mide por medio de la energía teórica por golpe expresada en kg.m.

### 5.1.3.1 Martinetes de caída libre.

Los martinetes de caída libre consisten en una pesada masa de metal que se levanta por medio de un cable, después se suelta y se deja caer sobre la cabeza del pilote, mediante sistemas manuales o mecánicos.

Dicho martinete tiene un tamaño que varía de 250 a 1000 kg; que cae desde una altura comprendida entre 1.50 y 3.00 m.

Los martinetes de caída libre son adecuados para hincar pilotes en sitios alejados que requieren solamente unos cuantos.

Entre las ventajas de los martinetes de caída libre están las siguientes:

- Una pequeña inversión en el equipo
- Simplicidad en la operación
- Habilidad para regular la energía por golpe haciendo variar la altura de caída
- Un número pequeño de operarios

Entre las desventajas que presentan están las siguientes:

- Baja velocidad de hincado
- Peligro de dañar a los pilotes al levantar el martinete muy alto
- Muy ruidosos

### 5.1.3.2 Martinetes de vapor, de simple acción.

Un martinete de este tipo consta de una masa que cae libremente, que se levanta con aire comprimido o vapor, y cuya presión se aplica a la parte inferior de un pistón que está conectado a la masa por medio de una - -

biela. ( ver fig. 5.9 ) Cuando el pistón llega a la parte superior de la carrera, se libera la presión del vapor y la masa cae libremente para pegarle a la cabeza del pilote. Estos martinetes son de operación sencilla y fuertes, mientras que un martinete de caída libre puede golpear de 4 a 8 veces por minuto, un martinete de vapor de acción simple puede dar 50 o más golpes por minuto. El vapor o aire comprimido que entra al cilindro levanta la masa de 60 a 90 cm.

Los principales problemas de operación pueden provenir de desajustes de la válvula de admisión del vapor o aire, que se refleja en la disminución de la velocidad de golpeo o en un aumento de las pérdidas de fricción.

Entre las ventajas de este tipo de martinetes en comparación con los de caída libre, están las siguientes:

- El mayor número de golpes por minuto permite un hincado más rápido
- La masa más pesada que cae a una velocidad más baja transmite una mayor energía de hincado
- La reducción en la altura de caída de la masa reduce el peligro de dañar los pilotes durante el hincado

Entre las desventajas que presentan estos martinetes en comparación con los martinetes de caída libre, están las siguientes:

- Requieren una mayor inversión
- Son más complicados y requieren mayor gasto de mantenimiento
- Requieren mayor número de operarios.

### 5.1.3.3 Martinetes de Vapor, de doble acción.

En los martinetes de doble acción, el vapor o aire comprimido no solo se usa para elevar la masa, sino también para impulsarla en su descenso. - esto es, se aplica la presión del vapor a la parte inferior del pistón para levantar la masa, después durante la carrera hacia abajo, se aplica la presión del vapor a la parte superior del pistón para incrementar la energía por golpe. ( ver fig. 5.10 )

Así pues, se logra una acción mucho más rápida con 100 ó 200 golpes - por minuto, con lo que se reduce el tiempo de hincar, se facilita ésta en - algunos materiales, tales como la arena, no así en arcillas firmes y plásticas.

Entre las ventajas de éste tipo de martinete con los de simple acción están las siguientes:

- El mayor número de golpes por minuto reduce el tiempo necesario para - hincar los pilotes.
- Pueden hincarse los pilotes sin guías.

Entre las desventajas de éste tipo de martinete con los de simple - acción, están las siguientes:

- Se necesita un gran cuidado en su mantenimiento.
- Resulta efectivo en arenas no así en arcillas plásticas.
- El dispositivo se desajusta con cierta facilidad en las válvulas y se - desgasta con cierta rapidez.
- Es rápido pero utiliza masas ligeras y pierde energía.

#### 5.1.3.4 Martinetes de acción diferencial.

Un martinete de vapor de acción diferencial, es un martinete de doble acción con una modificación que permite utilizar la presión del vapor para levantar la masa y acelerarla en su carrera descendente. ( ver fig. 5.11 )

El número de golpes por minutos comparable con el de un martinete - de doble acción, mientras que el peso y la caída libre de la masa son comparables con los de un martinete de simple acción. Así pues, se dice que - éste martinete tiene las ventajas y desventajas de los de doble acción y - los martinetes de simple acción.

#### 5.1.3.5 Martinetes Diesel.

Los martinetes tipo Diesel se han desarrollado bastante recientemente, utilizando diesel como energético para levantar la masa, al mismo tiempo - que se aprovecha su explosión para incrementar el impacto del hincado. ( ver fig. 5.12 )

El ciclo de operación se inicia con la caída libre de un pistón guiado dentro de un cilindro que la comprimir el aire dentro de la cámara de com bustión, produce el encendido y la explosión súbita del diesel previamente-inyectado. La explosión y el impacto de la masa que golpea provocan la penetración del pilote en el terreno y la expansión de los gases quemados -- impulsa el pistón hacia arriba y así sucesivamente.

Algunos martinetes están dotados de una cámara de combustión adicional en la parte superior en donde la explosión del combustible acelera la masa de golpeo en la carrera hacia abajo.

En la tabla 5.3 se presentan los martinetes Diesel más usuales en - - México.

#### 5.1.4. Vibrohincadores.

En los últimos años se ha venido experimentado la hinca de pilotes por vibración, utilizando vibrohincadores de baja frecuencia ( 5 a 35 ciclos - por segundo ) y alta frecuencia ( 40 a 150 ciclos por segundo ) más recientemente. La vibración tiende a reducir la fricción entre pilotes y el suelo.

Los vibrohincadores ( ver fig. 5.13 ) también llamados martillos vibratorios son máquinas diseñadas para llevar a cabo el hincado o extracción - de pilotes, mediante la acción dinámica de generador de vibraciones, más - el peso propio del equipo cuando realizan hincados.

Para trabajar, el vibrohincador se cuelga de una grúa móvil con pluma - y capacidad adecuadas a las cargas que se van a mover. En la construcción - de pilotes colados in situ, los martillos vibratorios se emplean para el - hincado o extracción de tubos ademe que sirven como protección a las perforaciones.

En la tabla 5.4 aparecen algunos modelos y características de los vibrohincadores más conocidos en México.

#### 5.2. Herramientas adicionales.

He definido como herramientas adicionales a aquellos implementos auxiliares empleados para el manejo e hincado de pilotes.



### 5.2.1 Resbaladeras.

Son estructuras que se integran a las plumas de las grúas y que sirven para que se deslice tanto el martillo piloteador como el dispositivo - de disparo, pueden ser fijas, oscilantes y suspendidas por cable ( ver fig. 5.14 ). Dichas resbaladeras o guías han de estar bien construidas debiendo asegurar rígidamente para evitar cualquier movimiento, sobre todo en el caso de los pilotes inclinados o en talud. A causa de la exentricidad de empuje en las resbaladeras se producen en ellas severos esfuerzos, siendo muy frecuente la rotura de algunas partes.

### 5.2.2 Gorros de Protección.

Para proteger la cabeza de los pilotes durante su hincado se emplean dispositivos que amortiguan y distribuyen la energía de los impactos del - martinete sobre la cabeza, evitando así daños mayores.

Los gorros están integrados por una estructura monolítica de acero en forma de caja. En la parte superior se coloca una "sufridera" que puede ser a base de madera, material plástico o trozos de cable de acero y sobre ella una placa metálica. En la caja inferior que es la parte de contacto entre el gorro y el pilote va colocado un "colchón" de madera. ( ver fig. 5.15 )

Entre las ventajas que proporciona la sufridera y el gorro de protección en general, están las siguientes:

- Proteger los pilotes en terrenos duros.
- Absorber la fuerza del impacto en los pilotes frágiles.
- Distribuir y transmitir uniformemente los esfuerzos en lo posible hacia el gorro y hacia los pilotes.

- Ampliar el tiempo de impacto por almacenamiento de energía en la sufridera.

- Alargar la vida útil del gorro.

Generalmente se precisa un gran cuidado en la selección de materiales y espesores de la sufridera, ya que la falta de elasticidad puede producir un daño excesivo en la cabeza del pilote o en el peor de los casos, en el martinete.

### 5.3 Criterios de selección del equipo a utilizar.

Esta selección dependerá de muchos factores y condiciones específicas como lo son entre otras: al tipo y peso del pilote que se trate, al número de pilotes que se requieran hincar, al tipo de suelo y a las características que presente, al presupuesto con que se cuente para la inversión, al tiempo disponible para el hincado, a la mano de obra disponible, al espacio disponible, a la existencia de construcciones aledañas, etc. de manera que poco es lo que se puede especificar al respecto.

En un principio, resulta conveniente según la experiencia, el uso de martinetes grandes cuyo peso total no sea menor que la mitad del peso total del pilote que se hinque, cabe recordar también que un golpe producido por un martinete pesado con una altura de caída muy corta es mucho más - - efectivo y menos perjudicial para el pilote que el golpe de un martinete ligero que cae desde una gran altura.

La tabla 5.5 es útil como norma tentativa de criterio en la selección de la energía que debe aplicar el martinete que se seleccione en caso dado

la tabla proporciona la energía con que debe seleccionarse el martinete, dependiendo del material de fabricación del pilote, del suelo donde haya de hincarse y de las condiciones generales del hincado. La energía del martinete deberá ser por lo menos de 0.30 kg m por cada kilogramo de peso del pilote.

Los martinetes de caída libre y los diesel son los más comúnmente usados para hincar pilotes de concreto precolado o presforzados. No se recomienda el empleo de martillos vibratorios debido a los altos esfuerzos de tensión que transmiten.

### 5.3.1 Conceptos de control y verificación.

Entre los conceptos que se deben revisar se incluyen los siguientes:

a) En los martinetes de caída libre:

- Masa del martinete
- Tipo de grúa y del mecanismo de disparo
- Altura de caída
- Condiciones de deslizamiento de las resbaladeras

b) En los martinetes de vapor:

- Tipo ( de acción simple, doble o diferencial ), marca y número de serie
- Masa del martinete y del pistón
- Posición de las válvulas del disparador y carrera resultante
- Presión del vapor
- Energía nominal del hincado
- Golpes por minuto
- Condición general del martillo

c) En los martinetes diesel:

- Tipo, marca y número de serie
- Masa del martinete y pistón
- Carrera
- Energía nominal del hincado
- Golpes por minuto

d) Para el gorro de hincado:

- Masa del gorro
- Dimensiones, en comparación con las del pilote, martinete y resbaladera
- Tipo de colchón
- Condición del colchón ( éste deberá revisarse regularmente y sustituir de inmediato los colchones deteriorados )
- Tipo de sufrideras usadas en el martinete
- Condición física de la sufridera

e) Tipo y características de otro equipo utilizado.

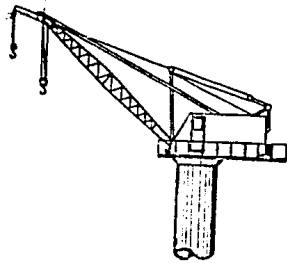


Fig. 5.1 Grúa fija montada sobre un pedestal.

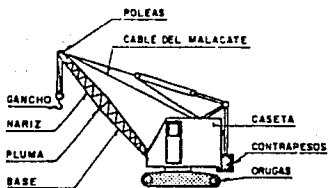


Fig. 5.2 Grúa móvil montada sobre orugas

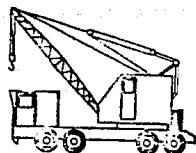


Fig. 5.3 Grúa móvil montada sobre neumáticos

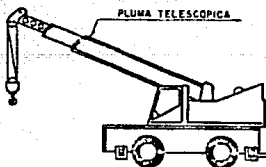


Fig. 5.4 Grúa móvil de pluma telescópica (pato)

a) Para montar perforadoras

| Marca        | Modelo   | Capacidad ton | Peso ton |
|--------------|----------|---------------|----------|
| Link Belt    | LS 108-B | 45.0          | 38.4     |
| Bucyrus Erie | 61 B     | 66.5          | 67.3     |
| Link Belt    | LS 118   | 60.0          | 54.7     |
| P & H        | 670 WCL  | 70.0          | -        |
| Link Belt    | LS 318   | 80.0          | 63.3     |

b) Para efectuar maniobras

| Marca        | Modelo | Capacidad ton | Peso ton |
|--------------|--------|---------------|----------|
| Link Belt    | LS 68  | 15.0          | 17.7     |
| Bucyrus Erie | 22 B   | 12.0          | 19.3     |
| Link Belt    | LS 78  | 17.5          | 21.7     |
| Link Belt    | LS 98  | 27.0          | 27.7     |

Tabla 5.1 Grúas de uso frecuente en México

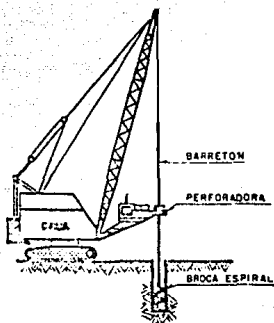


Fig. 5.5 Perforadora montada sobre grúa

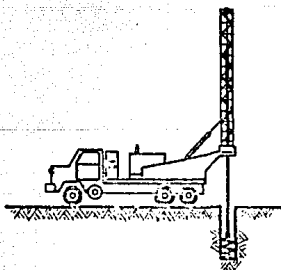


Fig. 5.6 Perforadora montada sobre camión

| Marca      | Modelo     | Tipo     | Par<br>kg-m | Diámetro perforado<br>m |      | Profundidad<br>m.<br>Máx |
|------------|------------|----------|-------------|-------------------------|------|--------------------------|
|            |            |          |             | Mín                     | Máx  |                          |
| Calweld    | 200B       | s/camión |             | 0.30                    | 1.20 | 26.0                     |
| Watson     | 1000       | s/camión | 10788       | 0.30                    | 1.50 | 32.0                     |
| Watson     | 3030       | s/camión | 13825       | 0.30                    | 1.50 | 32.0                     |
| Watson     | 5000       | s/camión | 18400       | 0.30                    | 2.00 | 35.0                     |
| Soilmec    | RTA/S      | s/camión | 10500       | 0.30                    | 1.50 | 32.0                     |
| Soilmec    | RT3/S      | s/grúa   | 21000       | 0.50                    | 2.50 | 42.0                     |
| Sanva      | D40K       | s/grúa   | 1840        | 0.30                    | 0.60 | 40.0                     |
| Casagrande | CBR120/38  | s/grúa   | 12000       | 0.45                    | 1.50 | 32.0                     |
| Casagrande | CBR120     | s/grúa   | 12000       | 0.45                    | 1.50 | 32.0                     |
| Casagrande | CADRILL 12 | s/grúa   | 12030       | 0.45                    | 2.30 | 42.0                     |
| Casagrande | CADRILL 21 | s/grúa   | 21000       | 0.45                    | 2.50 | 42.0                     |

Tabla 5.2 Perforadoras de uso frecuente en México

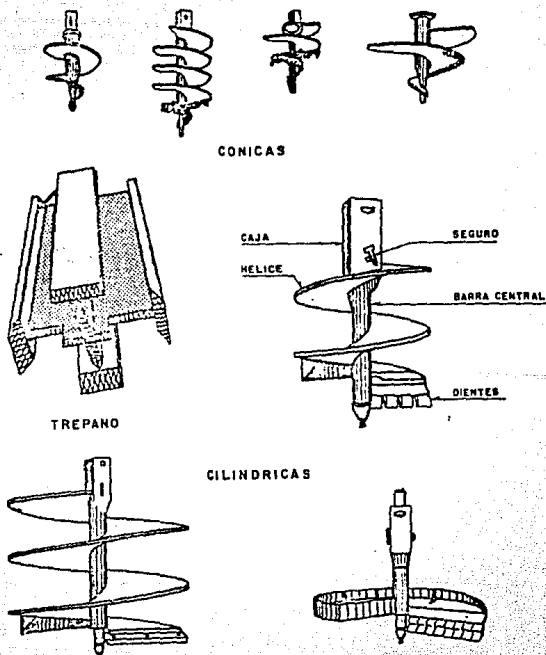


Fig. 5.7 Brocas espirales

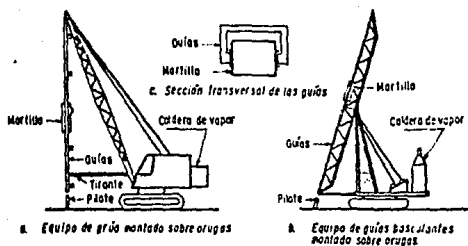


Fig. 5.8 Martinetes ( partes constituyentes )

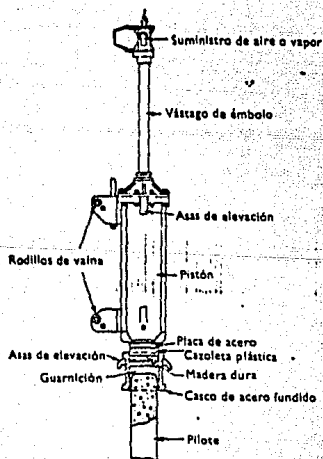


Fig. 5.9 Martinete de vapor de simple acción

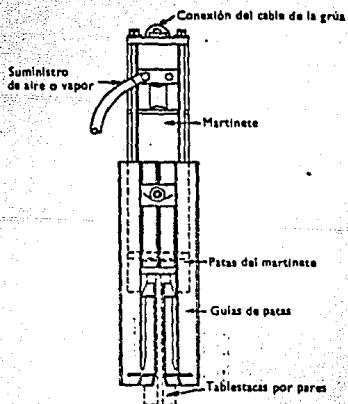


Fig. 5.10 Martinete de vapor de doble acción



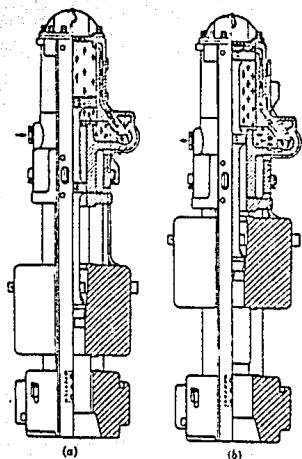


Fig. 5.11 Martinete de acción diferencial

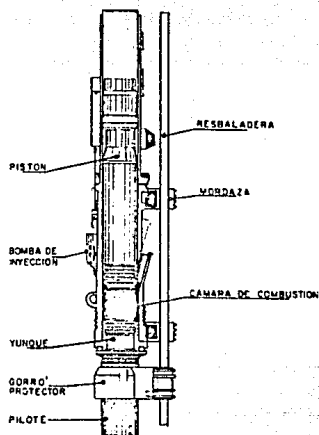


Fig. 5.12 Martinete diesel

| Marca      | Modelo | Peso del pistón kg | Energía por golpe kg-m | Tasa mínima del pilote kg | Relación de pesos Pistón/Pilote | Peso del martillo kg |
|------------|--------|--------------------|------------------------|---------------------------|---------------------------------|----------------------|
| DELMAG     | D5     | 500                | 1250                   | 1500                      | 0.30                            | 1240                 |
| DELMAG     | D12    | 1250               | 3125                   | 4000                      | 0.31                            | 2750                 |
| DELMAG     | D22-13 | 2200               | 6700-9350              | 6000                      | 0.37                            | 5160                 |
| DELMAG     | D30-13 | 3000               | 9100-4150              | 6000                      | 0.38                            | 5960                 |
| DELMAG     | D36-13 | 3600               | 11500-7750             | 10000                     | 0.36                            | 8050                 |
| DELMAG     | D46-13 | 4600               | 14600-7200             | 15000                     | 0.31                            | 9050                 |
| DELMAG     | D62-12 | 6200               | 22320-11160            | 20000                     | 0.25                            | 12800                |
| KOBE       | K13    | 1300               | 3700                   | -                         | -                               | 2900                 |
| KOBE       | K25    | 2500               | 7500                   | -                         | -                               | 5200                 |
| KOBE       | K35    | 3500               | 10500                  | -                         | -                               | 7500                 |
| KOBE       | K45    | 4500               | 13500                  | -                         | -                               | 10500                |
| HITSUBISHI | MH15   | 1500               | 3000                   | 3000                      | 0.39                            | 3800                 |
| HITSUBISHI | MH25   | 2500               | 6000                   | 3700                      | 0.40                            | 6000                 |
| HITSUBISHI | MH35   | 3500               | 9100                   | 3000                      | 0.40                            | 8400                 |
| HITSUBISHI | MH45   | 4500               | 11700                  | 11700                     | 0.44                            | 11100                |

Tabla 5.3 Martinetes diesel usuales en México

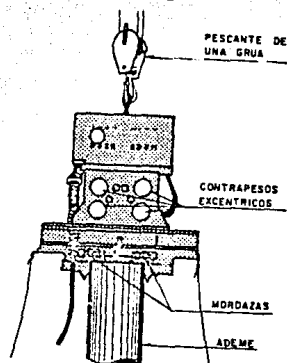
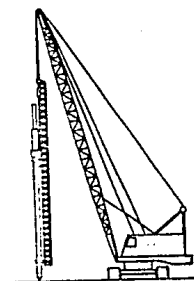
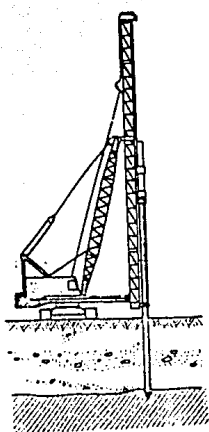


Fig. 5.13 Vibrohincador

| Marca       | Modelo       | Peso<br>kg | Momento<br>excéntrico<br>kg-m | Frecuencia<br>mínima<br>rpm |
|-------------|--------------|------------|-------------------------------|-----------------------------|
| ICE         | 116          | 1542       | 7.0                           | 1600                        |
| ICE         | 216          | 2050       | 11.5                          | 1600                        |
| ICE         | 416          | 3400       | 20.7                          | 1600                        |
| ICE         | 815          | 6670       | 46.1                          | 1500                        |
| ICE         | 1412         | 11800      | 115.2                         | 1250                        |
| TOMEN VIBRO | VN2-400A     | 3522       | -                             | 1300                        |
| TOMEN VIBRO | VN2-500      | 5100       | -                             | 1800                        |
| TOMEN VIBRO | VN4-10000    | 8450       | -                             | 1100                        |
| TOMEN VIBRO | VN2-25000A   | 7590       | 200.0                         | 620                         |
| MULLER      | MS-5 HV      | 800        | 5.8                           | 1762                        |
| MULLER      | MS-20 H      | 2700       | 20.0                          | 1762                        |
| MULLER      | MS-50 H      | 6500       | 50.0                          | 1653                        |
| MULLER      | MS-60 E      | 7200       | 71.0                          | 1500                        |
| MULLER      | MS-60 E TWIN | 20000      | 142.0                         | 1500                        |
| PTC         | 10A2         | 2350       | -                             | 1140                        |
| PTC         | 20A2         | 3700       | -                             | 1100                        |
| PTC         | 20H4         | 4500       | -                             | 1450                        |
| PTC         | 40A2         | 7400       | -                             | 1045                        |
| PTC         | 40HA         | 10500      | -                             | 1450                        |

Tabla 5.4 Vibrohincadores conocidos en México



c) RESBALADERA SUSPENDIDA  
POR CABLE



Fig. 5.14 Tipos de resbaladeras o guías

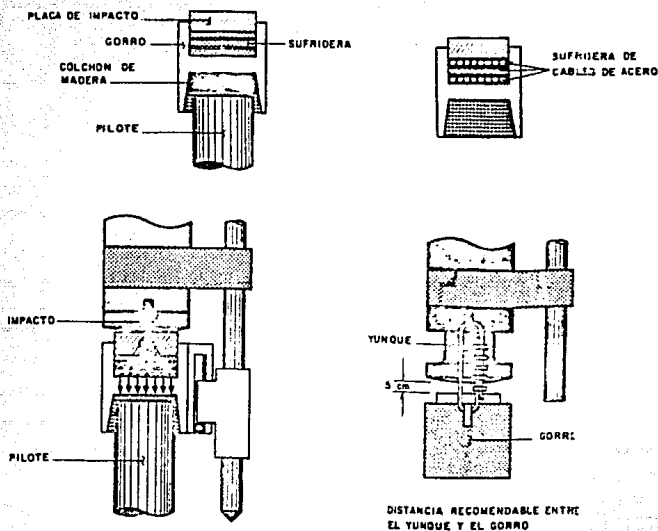


Fig. 5.15 Gorros de protección

| Alteza del pilote<br>m  | Profundidad de penetración en el terreno<br>% | Estructura de alfileres |           |             | Pilotes de madera |             | Estructura de concreto |             |
|---|---|-------------------------|-----------|-------------|-------------------|-------------|------------------------|-------------|
|   |   | Ligero                  | Media     | Pesado      | Ligero            | Pesado      | Ligero                 | Pesado      |
|   |   | kg m/golpe              |           |             | kg m/golpe        |             | kg m/golpe             |             |
| 1. <i>Hincado a través de arena, grava suelta y suelo firme con coque</i> |   |                         |           |             |                   |             |                        |             |
| 8   | 50  | 140-250                 | 140-250   | 250-350     | 200-300           | 200-300     | 1,000-1,250            | 1,250-2,100 |
|   | 100   | 140-500                 | 250-500   | 250-500     | 300-400           | 500-1,250   | 1,000-1,250            | 1,000-2,100 |
| 16  | 50  | 250-500                 | 250-500   | 500-500     | 500-500           | 1,000-1,250 | 1,250-1,500            | 1,250-3,000 |
|   | 100   | 500-500                 | 500-500   | 500-1,000   | 1,000-1,250       | 1,250-1,500 | 1,250-1,500            | 2,100-3,000 |
| 25  | 50  | —                       | 500-1,000 | 500-1,250   | —                 | —           | —                      | 2,100-3,000 |
|   | 100   | —                       | —         | 500-1,250   | —                 | —           | —                      | 2,100-3,000 |
| 2. <i>Hincado a través de arcillas duras o suelos firmes</i>              |   |                         |           |             |                   |             |                        |             |
| 8   | 50  | 250-350                 | 250-350   | 250-600     | 1,000-1,250       | 1,000-1,250 | 1,000-1,250            | 1,250-2,100 |
|   | 100   | 250-500                 | 250-500   | 250-600     | 1,000-1,250       | 1,000-1,250 | 1,000-1,250            | 1,250-2,100 |
| 16  | 50  | 250-600                 | 500-600   | 500-1,250   | 1,000-1,250       | 1,000-1,250 | 1,000-1,250            | 1,250-3,000 |
|   | 100   | —                       | 500-1,250 | 500-1,250   | —                 | —           | —                      | 2,100-3,000 |
| 25  | 50  | —                       | 500-1,250 | 500-1,250   | —                 | —           | —                      | 2,100-3,000 |
|   | 100   | —                       | —         | 1,000-1,250 | —                 | —           | —                      | 2,100-3,000 |
| Número del pilote por m.L. (Ag)   |   | 30                      | 15        | 60          | 15                | 60          | 220                    | 600         |

Tabla 5.5 Norma tentativa de criterio para la selección de la energía del martinete a utilizar

## VI. EJEMPLO PRACTICO.

En éste capítulo, me referiré a un ejemplo práctico, específico y real, para ello he tratado de llevar una secuencia de acuerdo a la que he llevado en la presente tesis, abordando los puntos de interés que resulten de suma importancia, como ejemplos y experiencias que puedan ser de utilidad para la construcción de obras posteriores de la misma naturaleza.

Al final del capítulo he incluido una serie de fotografías que ayudarán a tener una mayor visión sobre la obra y sobre el tema en general.

Para la realización de éste capítulo he contado con el apoyo y la ayuda de la compañía de Cimentaciones Auger de México, propiedad de los ingenieros Ricardo Sánchez Bringas y Manuel Garay, además del personal que labora en dicha empresa y quienes me auxiliaron en la obra.

### 6.1 Ubicación.

El lugar en que ha de realizarse dicha obra se encuentra ubicado en las calles de Cebadales esquina con Florales No. 64, Colonia Ejido Granjas Coapa, México D. F., y se proyecta construir un edificio para casas habitación, condominio, que constará de cinco plantas tipo. Las dimensiones del predio son de 7.50 m de ancho y 18.0 m de largo. ( ver fig. 6.1 )

Desde el punto de vista estratigráfico, el lugar se encuentra localizado, de acuerdo al mapa de zonificación de la Ciudad de México ( ver fig. 1.2 ) en la zona de transición, donde se encuentran altos contenidos de arcilla muy compresible con espesores entre 3 y 20 m. Por lo cual podemos darnos cuenta de que la capacidad de carga del terreno es muy baja y debi-

do a ello aunque la estructura no sea de grandes dimensiones, fue necesario recurrir a una cimentación a base de pilotes para llegar a los estratos de mayor resistencia y soportar las cargas de la estructura.

## 6.2 Tipo y características de los pilotes.

El tipo de pilote que se utilizó en la cimentación, fue un pilote pre fabricado en la obra, por los contratistas, elaborado de concreto reforzado y de sección cuadrada, con la variante de que se utilizaron dos tipos de dimensiones de sección, 8 pilotes de 35 cm de lado y 17 pilotes de 45 cm dando un total de 25 pilotes con una longitud de 16 m cada uno.

Dadas las dimensiones de los pilotes y el espacio reducido del predio, fue necesario construir los pilotes en dos tramos de 8 m cada uno y unirlos por medio de una placa de acero soldada en cada extremo de los dos tra mos, denominando un tramo como cabeza y el otro como punta.

### Fabricación de pilotes.

Para la fabricación de los pilotes, previamente se realizó una cama de colado, siendo ésta de 5 cm de espesor de concreto, aproximadamente, y ya sobre ella empezar a fabricar los pilotes, de tal forma que se utilizaron los mismos pilotes ya colados en una primer fase como cimbra de los si guientes, un aspecto importante de remarcar es el hecho de que no se colocó debidamente, y a excepción de algunos pilotes, un recubrimiento para fa cilitar el despegue de estos de la cama de colado, lo cual , hace más difi cile el trabajo de los maniobristas al tratar de despegarlos, se pierde más tiempo y a su vez los pilotes sufren pequeños daños, lo cual se evitaría si se hubiese aplicado algún tipo de recubrimiento como pudiera ser: grasa,

aceite quemado, parafina con diesel. etc.

Para el despegue y estibamiento de los pilotes, los puntos de izaje, los constituyeron orejas de varilla fijadas previamente al acero de refuerzo y colocadas a 1.60 m de cada extremo del pilote.

El esfuerzo de diseño del concreto ( $f'c$ ) ( ver fig. 6.2 ) fue de  $200 \text{ kg/cm}^2$  y con respecto al acero de refuerzo en el armado, se utilizaron varillas del No. 5 a todo lo largo del pilote y varilla del No. 3 como estribos, todo el acero de refuerzo fue de  $F_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ , habiéndose recomendado no traspasar más del 33 % del acero de refuerzo en una misma sección, con un recubrimiento de 3 cm en los pilotes.

Fue notable la carencia de un debido control en la fabricación de los pilotes; en lo que respecta a su alineación, colocación de placas de acero, longitud del pilote, marcas a todo lo largo y a cada metro y no se obtuvieron muestras para pruebas de compresión del concreto, para su debido control de calidad.

### 6.3 Procedimiento de hincado.

En lo referente al procedimiento de hincado de los pilotes, se utilizaron perforaciones previas, para con esto evitar los posibles levantamientos del terreno por volúmenes de suelo desplazado a causa del volumen de los pilotes, evitando con esto daños a construcciones vecinas; dichas perforaciones fueron realizadas con dos diferentes diámetros de acuerdo a las dos dimensiones de sección transversal de los pilotes, siendo de 30 cm de diámetro para los pilotes de 35 cm de lado y de 40 cm para los de 45 cm.

Previamente a la realización del barreno, se señalan los puntos en que irán hincados los pilotes, en base a los planos de la estructura; he aquí otro punto de interés y que no se debe pasar por alto, ya que en la obra se trazó un punto fuera del lugar indicado, aproximadamente 10 cm más adelante, se hizo la perforación y se procedió a " sembrar " la punta del pilote, este error se pudo vislumbrar, cuando dicha punta no alineaba con otra que debía coincidir en ese mismo eje, lo que demoró más la obra y se tuvo por consecuencia que levantar la punta nuevamente, correrla los 10 cm excedidos, alinearla y volverla a introducir.

El proceso de hincado se inicia cuando se despegan las puntas y cabezas del número de pilotes que se vayan a hincar, procurando siempre que queden las cabezas abajo y las puntas arriba, ya que éstas serán las primeras en penetrar al barreno, se hacen las perforaciones necesarias y se procede a sembrar las puntas de los pilotes procurando que sobresalga la punta 1 m. aproximadamente al nivel del suelo para que se facilite la labor del soldador, de unir los dos tramos; una vez ya sembradas las puntas se unen las cabezas de cada uno de los pilotes, teniéndose mucha precaución que queden bien alineadas verticalmente con ayuda de plomadas, se sueldan las dos placas de acero con soldadura de calidad E 70-18, otro factor importante, ya que si se utiliza otra calidad de soldadura, pueden ocurrir dificultades de adherencia entre tramo y tramo, este tipo de soldadura también debe emplearse cuando se suelde la placa de acero al pilote por medio de anclas de varilla, ya una vez unidas las puntas y cabezas, se procede a iniciar el hincado.



Se instala el martinete y el disparador a la grúa para posteriormente colocar el gorro de protección o "seguidor" y una vez ya instalado el equipo, se inicia el hincado, alineándose la guía y ajustando el gorro al pilote, se alinea también el pilote y se sujeta con el gorro; una vez que queda el pilote alineado perfectamente, se procede al golpeo del martinete, el cual finaliza una vez que ha penetrado totalmente el pilote.

En los pilotes de menor sección transversal, puesto que su peso es menor, podían levantarse y acomodarse con el martinete instalado, por lo que eran hincados una vez que eran soldados uno a uno labor que acarreo ahorro de tiempo y trabajo.

La principal dificultad que se presentó durante el hincado se debió a causa del equipo, primordialmente a causa del disparador, teniéndose que desmontar hasta en dos ocasiones para desarmarlo y revisarlo, mientras que el martinete fue también desmontado y desarmado en una ocasión.

Otra de las dificultades que se presentaron fue a causa del mal control en la fabricación de los pilotes, ya que cuando eran unidos los dos tramos y se alineaban verticalmente, no ensamblaban bien al ras las dos placas, quedando aperturas de hasta 2 cm teniendo en estos casos que utilizar el soldador un pedazo de varilla para unir las dos placas y así los dos tramos, lo cual era también pérdida de tiempo.

Otro de los inconvenientes que se presentaron fue debido a que desde que se sembraban las puntas de los pilotes hasta que eran soldadas e hincadas pasaba cierto lapso de tiempo, lo que traía como consecuencia que la punta del primer pilote sembrado se adheriera al suelo en forma tal que -

hacia más difícil el hincado, llegándose a un número de golpes hasta de - 350 y en un tiempo de 35 a 40 minutos, siendo que el número promedio de - golpes con que eran hincados la mayoría de los pilotes era de 100 a 130, e incluso menos en algunos y en tiempos de 5 a 10 minutos.

El tiempo de duración que tuvo la obra de cimentación, que se inició el lunes 21 de diciembre y terminó el jueves 14 de enero, fue aproximadamente de 16 días laborables.

#### 6.4 Equipo y mano de obra utilizada.

En lo referente al equipo que se utilizó para la realización del hincado de los pilotes se encuentran:

- Grúa Bucyrus Erie

Modelo 61-B

Capacidad 66.5 ton.

Peso 67.3 ton.

- Martinete Diesel

Modelo Delmag D-22

Peso del pistón 2200 kg.

Energía por golpe 3350 - 6700 kg m

Número de golpes por minuto 38 - 52

Peso del martinete 5160 kg.

Y como herramientas adicionales están las siguientes:

- Unidad hidráulica por medio de la cual se transmitía la potencia hacia el impulsor o cabezal, el cual era del tipo rotatorio y giraba en uno y otro sentido para realizar los barrenos.

- Impulsor o Cabezal.
- Gorro de protección o Seguidor de acero.
- Brocas helicoidales y extensiones.
- Guía fija.

La mano de obra estuvo constituida por:

- 1 operador de la grúa
- 3 maniobristas y
- 1 soldador

Personas suficientes para realizar una buena labor.

Vuelvo hacer hincapié en que un punto importante y el cual dificultó la perfecta realización del hincado, se debió a las constantes dificultades que presentó el equipo, específicamente el disparador del martinete, - el cual no cumplía eficientemente su cometido, desorientando de tal suerte a los maniobristas, ya que estos desconocían donde estaba exactamente la - falla. lo que acarreaba pérdidas de tiempo y la secuencia del hincado se - veía interrumpida, razón por lo cual considero que éste punto es clave y - de suma importancia para que se lleve a cabo un óptimo procedimiento de - hincado.

A continuación presentaré una serie de fotografías con las que se ilustran mejor los conceptos de éste capítulo y de la tesis en general; como la secuencia de hincado, el tipo de pilotes, el equipo utilizado, etc.

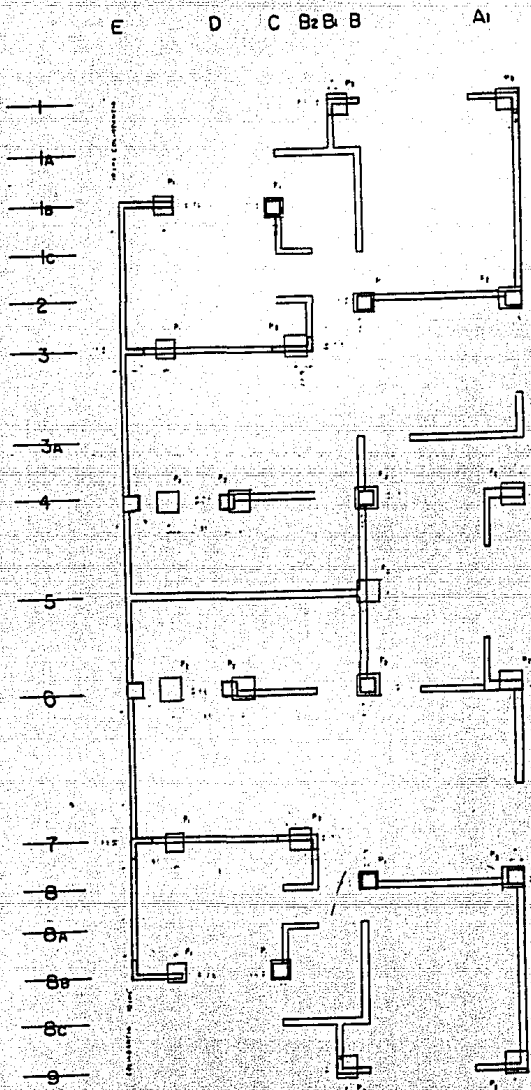


Fig. 5.1 Planta del edificio y ubicación de los pilotes

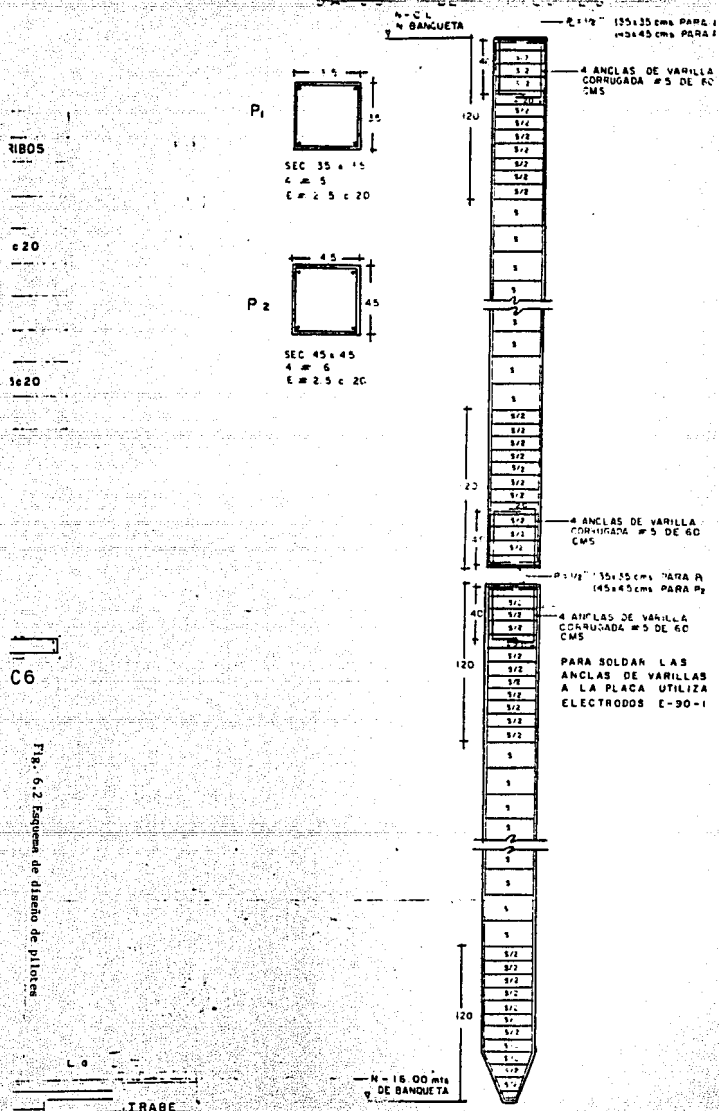
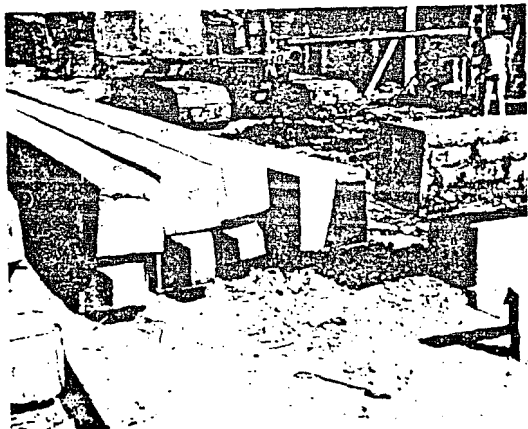
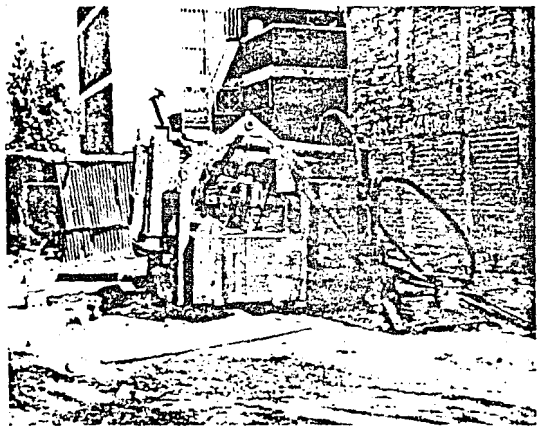
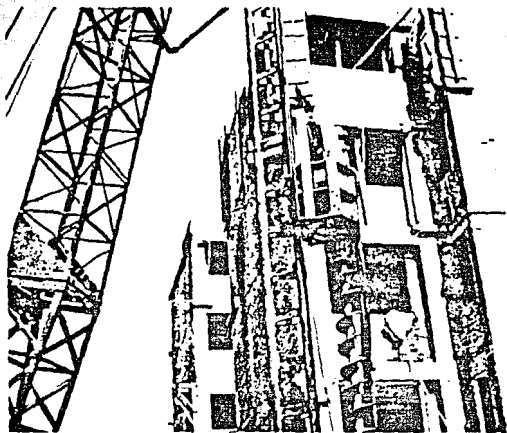
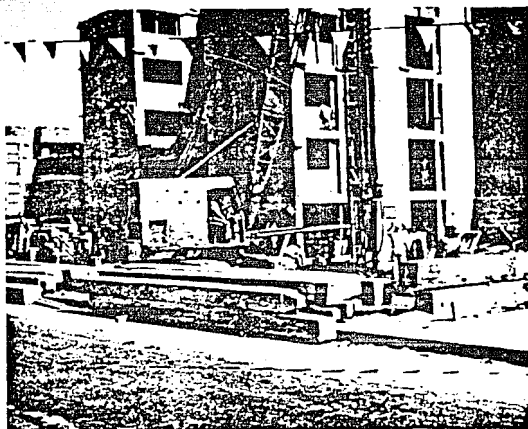


Fig. 6.2 Esquema de diseño de pilotes

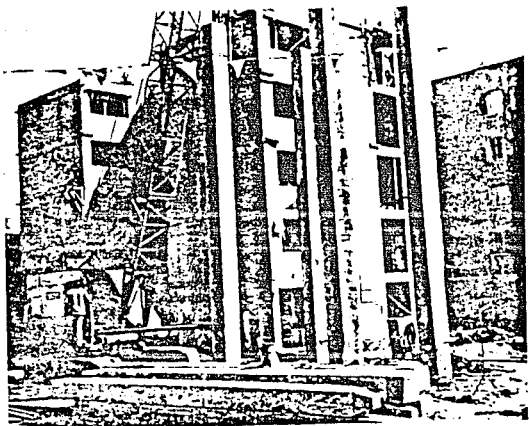
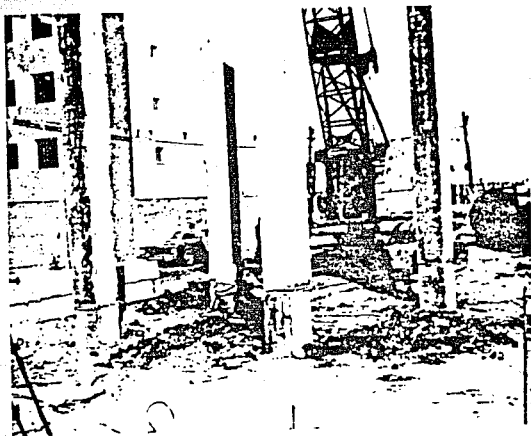


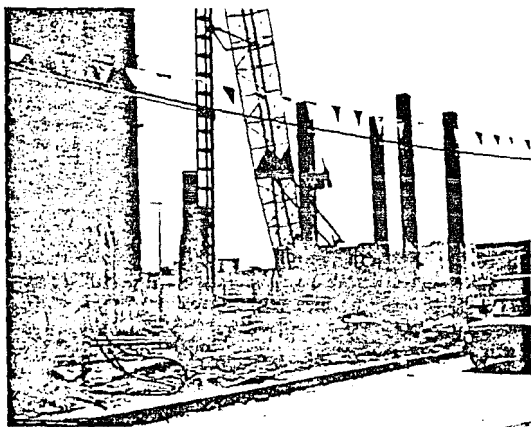
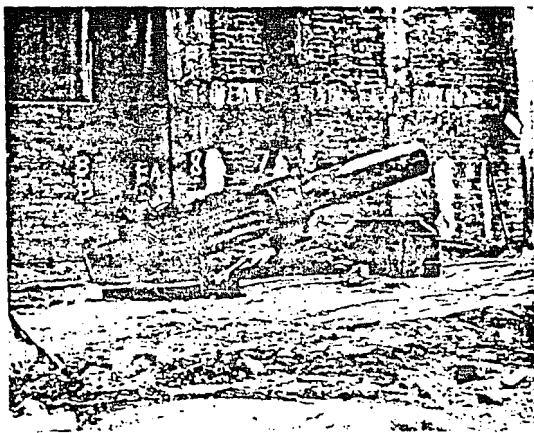


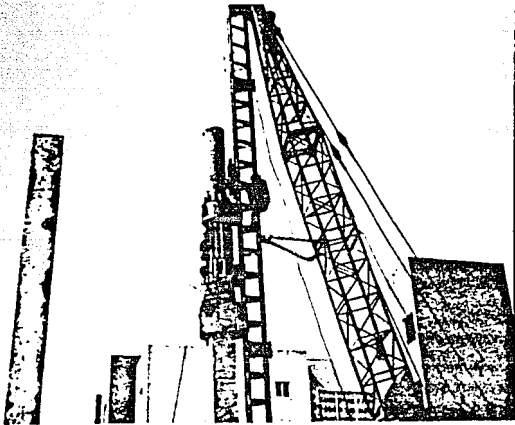
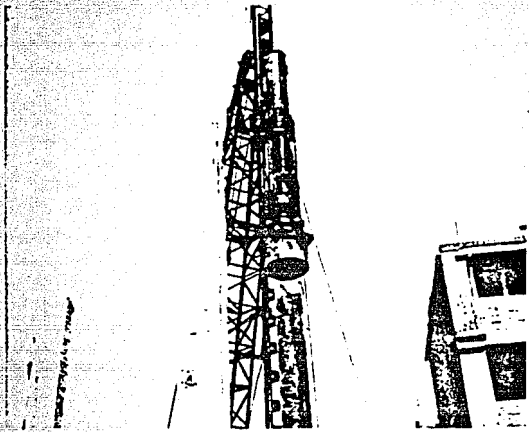


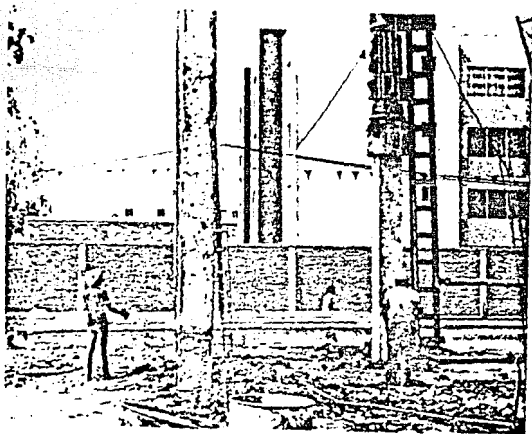
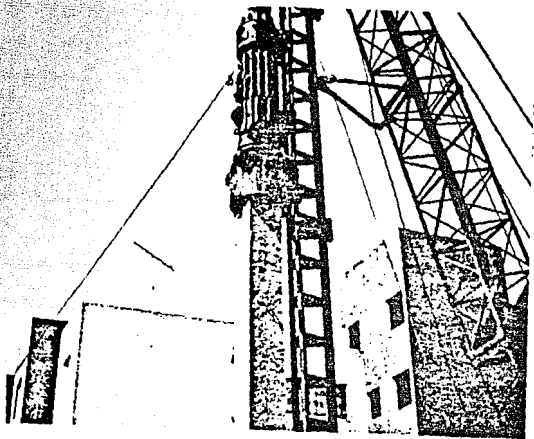


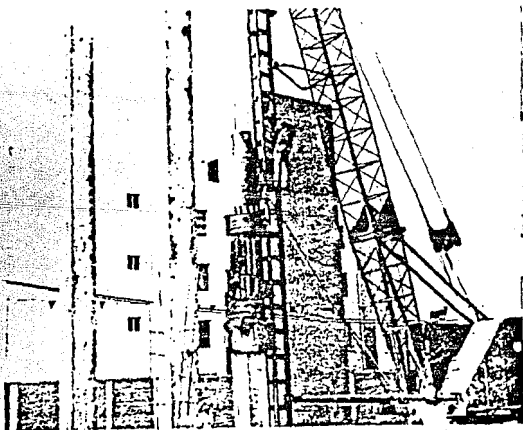
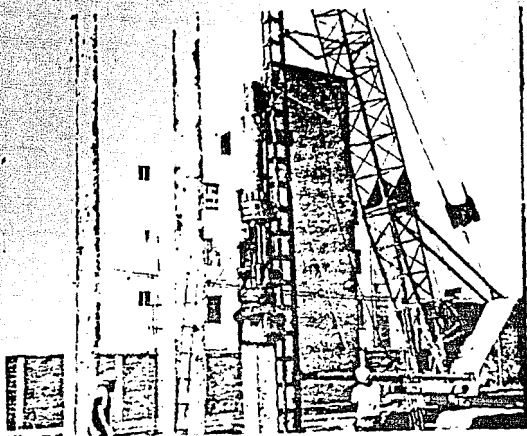


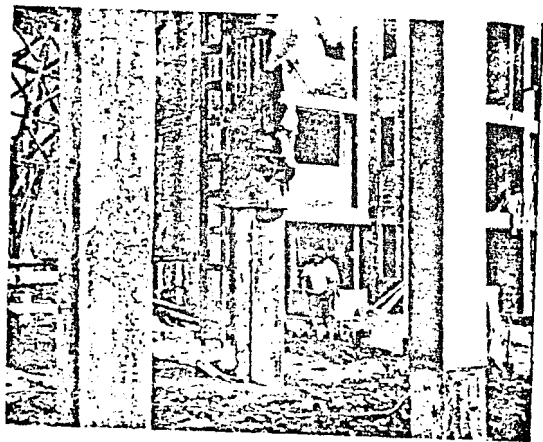
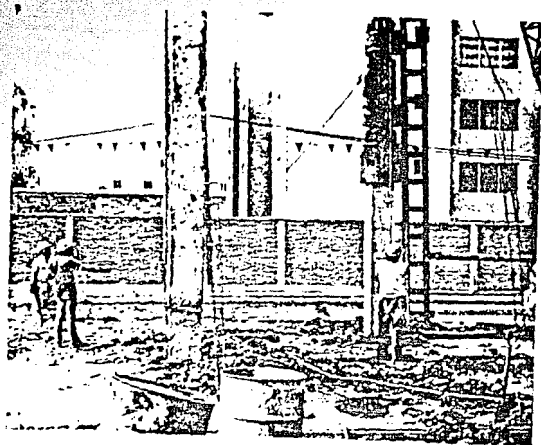


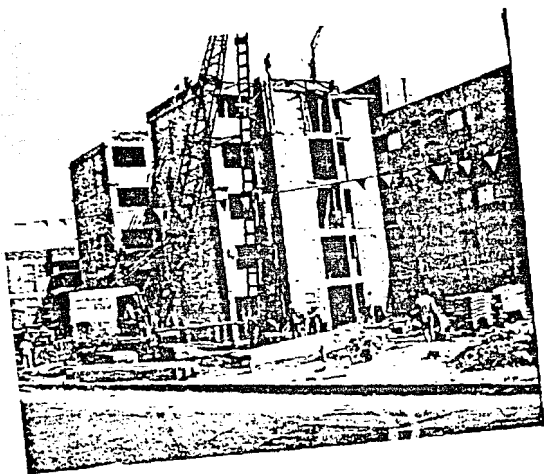
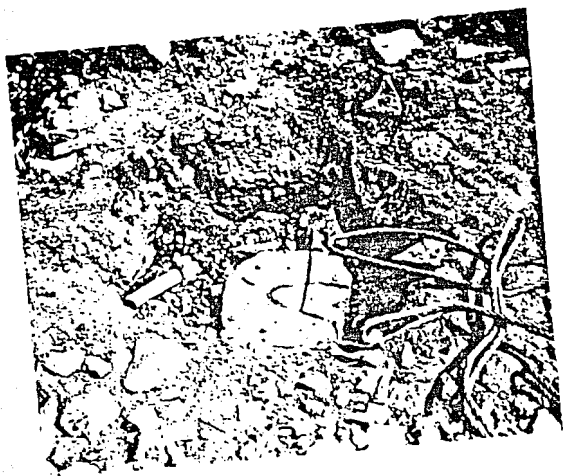




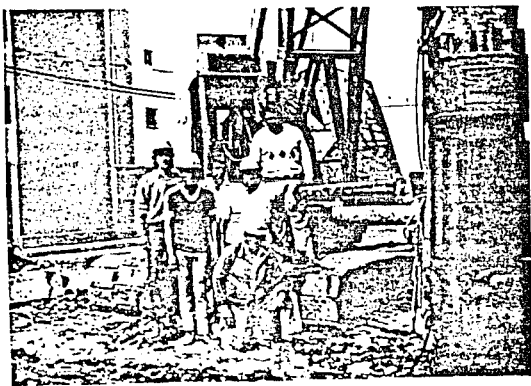
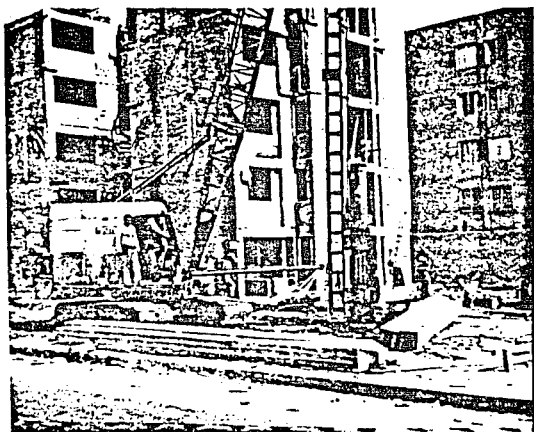












## CONCLUSIONES

Puedo decir que los resultados que he obtenido en base a éste análisis sobre la utilización de pilotes de concreto para cimentaciones en arcillas del Valle de México, han sido satisfactorios, puesto que he llegado a establecer ciertas conclusiones que pueden ser el inicio de una renovación en cuanto al uso de pilotes en México.

Principalmente debo mencionar lo referente a la reutilización de pilotes de concreto presforzado como alternativa sobre la de los pilotes de concreto precolado, dichos pilotes presforzados son de uso muy común en todo el mundo, en los E. U. prácticamente se utilizan en un gran porcentaje arriba de los de concreto precolado, así también en europa son igualmente utilizados que los precolados, debido a su menor costo, ya que el ahorro de acero de refuerzo es considerable y hablando de un proyecto en el que hincarán gran número de pilotes, el ahorro alcanzado es de gran importancia y sobre todo en éstos tiempos de crisis en los que estamos viviendo, teniendo que ajustar el ingeniero civil a dichas condiciones, en donde se ve afectada notablemente la industria de la construcción, optándose por otro tipo de alternativas, específicamente en el uso de pilotes, la pregunta es ¿Porqué en nuestro país no se ha difundido en tales magnitudes el uso de los pilotes presforzados ? y es que en México, solo existe una compañía que se encarga de la fabricación del alambre utilizado en el presfuerzo y la cual establece los precios a su gusto, monopolizando el producto, además existe el inconveniente de que el equipo requerido para la fabricación de estos pilotes es muy sofisticado por lo que no es posible fabricarlos -

en obra, todo ello da como resultado que estos pilotes que teóricamente son más económicos resulten antieconómicos en la vida práctica, teniendo que recurrirse, para ahorrar problemas, a los comunes y tradicionales pilotes de concreto precolado.

Como mencioné anteriormente el uso de pilotes actualmente ha caído en un gran declive, no podría decirse exactamente cual ha sido la razón de este receso en su utilización, más lo cierto es que hoy en día las pilas son las más utilizadas y la conclusión anterior puede ser la alternativa para su resurgimiento como un medio eficaz y principalmente económico más loable.

En cuanto a las dificultades comúnmente presentadas en los procesos de hincado de pilotes, es la estratigrafía la principal causa de ellas, y aún con la realización de estudios de mecánica de suelos, el subsuelo de la ciudad sigue y seguirá siendo el principal obstáculo a vencer por los ingenieros, es notable como en una misma obra de cimentación en el hincado de pilotes varía totalmente la estratigrafía de pilote a pilote, ya sea presentándose depósitos superficiales muy duros o pequeñas capas de arena que dificultan el hincado.

Este punto es de vital importancia y al cual haré gran énfasis y es debido a las dificultades y problemas surgidos por los propios trabajadores en la obra, como lo son: el mal trazo del terreno por parte del topógrafo hincándose fuera de sitio todos los pilotes; la hincada de un pilote en un punto mal trazado; desprendimiento de las placas de unión de dos pilotes, pilotes hincados inclinadamente, y en cuanto a su fabricación: fracturas de pilotes por utilizarlos antes de tiempo; mal control de calidad,

en lo referente a la fabricación de los pilotes; pilotes desalineados; pilotes más largos que otros. En conclusión existe gran carencia en lo referente a la supervisión y control en las obras por lo que tiene graves consecuencias, y como ejemplo no hay que olvidar lo sucedido en los sismos de 1985 en donde debido precisamente a esa falta de supervisión y control -- ocurrieron grandes desastres, y este punto sin duda abarca obras ingenieriles de todo tipo.

Por último también es importante es hacer notar que otro aspecto que presenta dificultades durante el hincado son las averías que sufre el equipo utilizado si no se mantiene en óptimas condiciones o no se le da el uso debido.

Con esto doy por finalizada esta tesis, con el único deseo que ella -- logre ser de utilidad en un futuro para todas aquellas personas que tengan oportunidad de leerla con lo cual me sentiré satisfecho.

BIBLIOGRAFIA

1. PEURIFOY, R. L. Métodos, Planteamiento y Equipos de Construcción. 2a. edición, México, Ed. Diana, 1979.
2. DAVISON, Zaven. Cimentación sobre Pilotes. 2a. edición, Barcelona, -- Editores Técnicos Asociados, S. A., 1972.
3. CHELLIS, Robert. Cimentaciones Profundas. 2a. edición, México, Ed.-- Diana, 1971.
4. JUAREZ, Eulalio y RICO, Alfonso. Mecánica de Suelos. Vol. II, 3a. edición, México, Ed. Limusa, 1985.
5. RICO, Alfonso. La Ingeniería de Suelos en Vías Terrestres. #a. edición, México, Ed. Limusa, 1985.
6. TOMLINSON, M. J. Diseño y Construcción de Cimientos. 1a. edición, España, Ed. Urmo, 1976.
7. FLETCHER, A. Gordon. Estudios de suelos y cimentaciones en la industria de la construcción. 1a. edición, México, Ed. Limusa, 1982.
8. CRESPO, VILLALAZ Carlos. Mecánica de Suelos y Cimentaciones. 3a. edición, México, Ed. Limusa, 1985.
9. Manual de Diseño y Construcción de Pilas y Pilotes. 1a. edición, México, S. M.M.S., 1985.
10. KEZDI, Arpad. Filosofía de las Cimentaciones Profundas. 3a. Conferencia Nabor Carrillo, 1a. edición, México, S.M.M.S., 1976.
11. Manual de Diseño de Obras Civiles, Geotecnia, Fascículo V.2.4., Cimentaciones en suelos. C. F. E., México, D. F., 1981.