



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

ARAGÓN.

“CIMENTACIÓN A BASE DE PILOTES DE FRICCIÓN.”

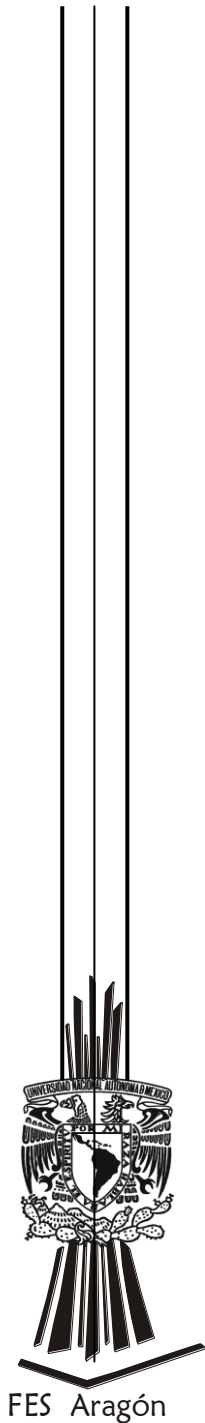
T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO CIVIL  
PRESENTA:  
VICTOR MANUEL VILLANUEVA SILVA

FES Aragón

ASESOR DE TESIS:  
ING. GABRIEL RUÍZ GONZÁLEZ

MÉXICO 2012



FES Aragón



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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 esta 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.

**“GRACIAS”**

DEDICADA ESPECIALMENTE A MIS PADRES:

ALFREDO VILLANUEVA ÁLVAREZ Y DELFINA SILVA GALLEGOS  
QUE GRACIAS A SUS SACRIFICIOS HICIERON POSIBLE ESTO, POR EL  
APOYO QUE SIEMPRE ME HAN BRINDADO Y SOBRE TODO POR LA  
CONFIANZA QUE SIEMPRE HAN TENIDO EN MÍ.

CON CARIÑO PARA LAS PERSONAS QUE PASARON A HACER PARTE DE MI  
VIDA Y QUE TAMBIÉN SON PARTE DE ESTO. GRACIAS POR LA PACIENCIA  
QUE HAN TENIDO DURANTE ESTE TIEMPO.

DE IGUAL MANERA AGRADEZCO A TODOS LOS AMIGOS Y PROFESORES,  
QUE A LO LARGO DE ESTE TIEMPO ME APOYARON EN MI FORMACIÓN  
DENTRO Y FUERA DE LA UNIVERSIDAD, HACIENDO DE MI UNA MEJOR  
PERSONA.

PERO SOBRE TODO GRACIAS A DIOS.

GRACIAS POR SIEMPRE: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
“POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU”

## ÍNDICE

### **INTRODUCCIÓN.**

- 1.- OBJETIVO.
- 2.- FACTORES QUE DETERMINAN EL TIPO DE CIMENTACIÓN.
- 3.- CLASIFICACIÓN DE LAS CIMENTACIONES.
- 4.-CLASIFICACION DE LAS CIMENTACIONES PROFUNDAS.

### **I.- GENERALIDADES.**

- I.1.- GENERALIDADES.
- I.2- PILOTES DE MADERA.
- I.3.- PILOTES DE ACERO.
- I.4.- PILOTES DE CONCRETO.

### **II.- CAPACIDAD DE CARGA EN LOS PILOTES DE FRICCIÓN.**

- II.1.- FUNCIONAMIENTO GENERAL DE UN PILOTE BAJO CARGA.
- II.2.- PRUEBAS DE CARGA EN PILOTES.
- II.3.- CIMENTACIÓN CON PILOTES DE FRICCIÓN.
- II.4.- CAPACIDAD DE CARGA EN PILOTES DE FRICCIÓN.

### **III.- HINCA DE PILOTES.**

- III.1.- EQUIPO PARA HINCAR PILOTES.
- III.2.- CLASIFICACIÓN DE LOS PILOTES SEGÚN SU PROCESO CONSTRUCTIVO.
- III.3.- TIPOS DE PILOTES COLADOS EN EL LUGAR.
- III.4.- VENTAJAS, DESVENTAJAS Y DISEÑO ESTRUCTURAL.

## **IV.- FRICCIÓN NEGATIVA.**

IV.1.- FRICCIÓN NEGATIVA EN PILOTES DE PUNTA.

IV.2.- FRICCIÓN NEGATIVA EN PILOTES DE FRICCIÓN.

IV.3.- PILOTES DE CONTROL.

## **V.-PROTECCIÓN DE LOS PILOTES.**

V.1.- PROTECCIÓN DE LOS PILOTES DE MADERA.

V.2.- PROTECCIÓN DE LOS PILOTES DE CONCRETO.

V.3.- PROTECCIÓN DE LOS PILOTES DE ACERO.

## **VI.- CONCLUSIONES**

## **BIBLIOGRAFÍA.**

# **“INTRODUCCIÓN”**

## INTRODUCCIÓN

### 1.- OBJETIVO

El objetivo principal de las cimentaciones es transmitir las cargas de una estructura a los estratos resistentes del subsuelo, en forma estable y con asentamientos tolerables durante su vida útil.

### 2.- FACTORES QUE DETERMINAN EL TIPO DE CIMENTACIÓN.

Con el propósito de definir el tipo de cimentación adecuado que cumpla con el objetivo mencionado anteriormente, es indispensable evaluar con precisión las cargas que se transmiten al subsuelo, realizar un estudio detallado de mecánica de suelos y escoger el proceso constructivo que técnica y económicamente sea el más viable.

#### 2.1.- Cargas

Para el diseño de la cimentación de cualquier construcción, es necesario evaluar las acciones permanentes (incluyendo el precio propio), las acciones variables (incluyendo la carga viva), y las acciones accidentales (incluyendo sismo y viento), a las que se encontrara sometida.

#### 2.2.- Suelo

El estudio del suelo en el que se apoyara una estructura es prioritario, ya que su resistencia y comportamiento ante cargas externas definirán el tipo de cimentación adecuado, que garantizara la estabilidad del sistema.

El estudio de mecánica de suelos permitirá determinar la configuración y composición de los diferentes estratos, las propiedades índices y las propiedades mecánicas e hidráulicas del subsuelo.

Esta información servirá de base para la correcta selección de los estratos de apoyo y de los elementos que transmitirán las cargas al subsuelo.

### 2.3.- Técnica y economía

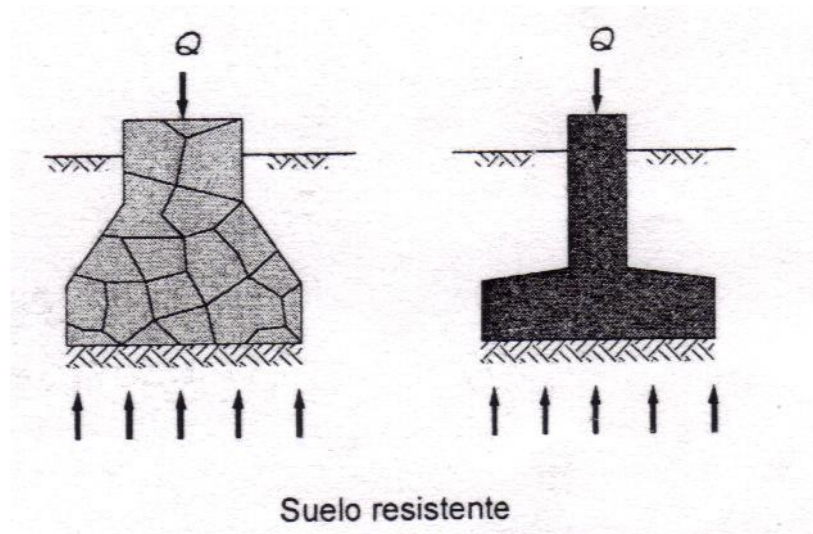
Al ser elegido un tipo de cimentación, es necesario definir el procedimiento constructivo que se aplicara considerando los recursos existentes, con el propósito de que su construcción sea viable, respetando las especificaciones geotécnicas y estructurales, considerando también que la solución sea económicamente aceptable y conduzca a tiempo de ejecución reales y convenientes, preservando constantemente la calidad de los elementos de cimentación.

### 3.- CLASIFICACIÓN DE LAS CIMENTACIONES.

Las cimentaciones pueden ser clasificadas de la siguiente manera:

#### 3.1.- Cimentaciones Superficiales

Como su nombre lo indica, son aquellas que se construyen sobre estratos resistentes superficiales, donde por lo general no se requiere de maquinaria pesada ni procedimientos constructivos especiales. Las cimentaciones superficiales más comunes son las zapatas aisladas, las zapatas corridas y las losas.

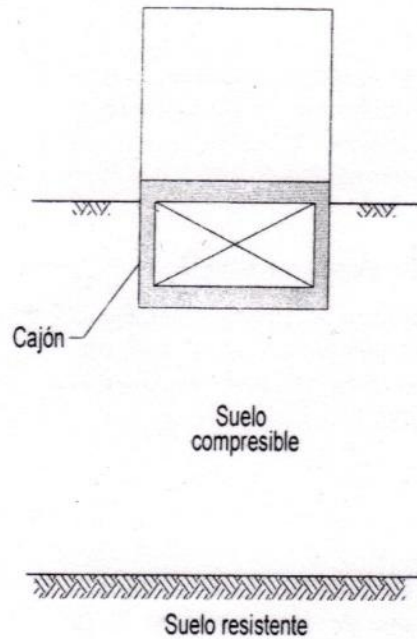


Cimentaciones superficiales



### 3.2.- Cimentaciones Compensadas.

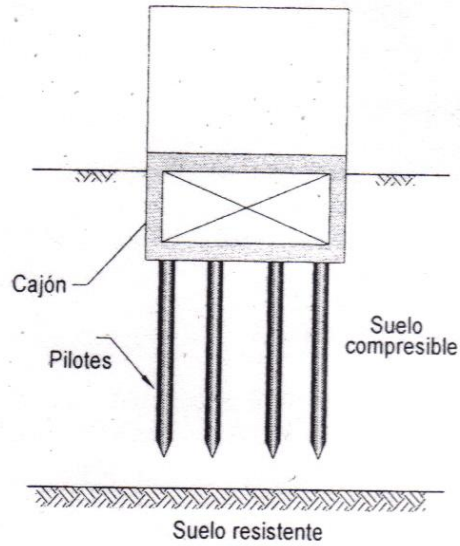
Se entiende por cimentación compensada aquellas en las que se busca reducir el incremento neto de carga aplicado al suelo mediante una excavación en donde se aloja un cajón de cimentación como se muestra en la figura siguiente.



Cimentación con cajón

Si la transmisión de carga neta al subsuelo en el desplante del cajón resulta positiva, nula o negativa, la cimentación se denomina parcialmente compensada, compensada o sobre compensada.

Con el propósito de evitar que la estructura experimente asentamientos excesivos, es común que las cimentaciones parcialmente compensadas se combinen con pilotes de fricción como se muestra en la figura siguiente.



Cimentación parcialmente compensada  
Combinada con pilotes de fricción.

### **3.3.-Cimentaciones Profundas.**

Son aquellas que alcanzan estratos profundos que tengan la capacidad de soportar las cargas adicionales que se aplican al subsuelo, utilizándose generalmente procedimientos constructivos y equipos especiales.

### **4.- CLASIFICACIÓN DE CIMENTACIONES PROFUNDAS.**

Con el propósito de identificar los diferentes elementos de cimentaciones profundas, en este trabajo se propone clasificarlos considerando sus características y condiciones de trabajo.

#### **4.1.-Material de fabricación.**

Los materiales mas utilizados son los siguientes.

##### a) Concreto

- Elementos prefabricados

Los elementos estructurales de cimentación profunda son fabricados en moldes, de acuerdo con las especificaciones, antes de ser instalados en el subsuelo.

- Elementos colados en el lugar.

El concreto es depositado directamente en perforaciones realizadas en el subsuelo, por lo que la cimentación es fabricada en el lugar donde quedara ubicada.

##### b) Acero

La capacidad de los perfiles de acero estructural en ocasiones es suficiente para transmitir las cargas a los estratos del suelo, siendo la sección H la más utilizada.

##### c) Mixtos

La combinación de materiales que con mayor frecuencia se especifica para la construcción de las cimentaciones profundas, es el concreto reforzado con acero, ya sea este ultimo de perfiles estructurales o de varillas de acero.

##### d) Madera

La madera ha dejado de emplearse como elemento de cimentación profunda, aunque en algunos trabajos se utiliza como cimentación provisional.

### 4.2.- Procedimiento constructivo.

El procedimiento constructivo depende de las condiciones del subsuelo, de las especificaciones estructurales, así como de los recursos disponibles, pudiéndose clasificar considerando el desplazamiento del subsuelo generado durante la instalación de los elementos.

a) Con desplazamiento:

- Hincados a percusión, presión o vibración.

Los elementos prefabricados, así como los perfiles, son instalados en el subsuelo sin realizar previamente una perforación, aplicándoles energía dinámica y presión en suelos blandos, y vibración en suelos predominantemente friccionantes.

b) Con poco desplazamiento:

- Hincado en una perforación previa.

En el caso de que las características del subsuelo por su resistencia no permitan la instalación de los elementos de cimentación, se especifica una perforación previa a su hincado.

- Hincado con chiflón

El chiflón de agua es utilizado para hincar elementos precolados o de acero en suelos compuestos por arena suelta, la cual es transportada por el flujo al exterior.

- Sección transversal pequeña.

El instalar tubos y perfiles metálicos sin perforación previa, debido a su reducida área transversal provoca un desplazamiento del subsuelo en ocasiones imperceptibles.

c) Sin desplazamiento:

Se considera que el subsuelo no registra desplazamiento, cuando el perímetro de la perforación previa circunscribe a la sección del elemento por instalar, o cuando los elementos son colados en el lugar.

### **4.3 Transmisión de carga al subsuelo.**

La forma en que los pilotes transfieren las cargas al subsuelo, define el tipo de cimentación, clasificándose de acuerdo con el siguiente criterio.

a) Carga vertical:

- Punta

La carga vertical es transmitida al estrato localizado en la punta de los elementos de cimentación profunda.

- Fricción

La transmisión de las cargas al subsuelo se desarrolla a través del contacto de los diferentes estratos con el fuste de los pilotes.

- Mixta

Se considera mixta la transferencia de la carga vertical descendente al subsuelo, cuando en el diseño de los elementos los esfuerzos son distribuidos en la punta y en el fuste.

# **CAPITULO I**

## **“GENERALIDADES”**

## CAPITULO I

### 1.1.-GENERALIDADES

Los pilotes son considerados como material o elemento de una cimentación. Fundamentalmente son parte de la infraestructura. Pueden utilizarse para transmitir las fuerzas de la superestructura y las del resto de la infraestructura a través de suelos flojos inconsistentes, agua o aire hasta estratos mas inferiores que tengan capacidad de carga suficiente para soportar la estructura completa y todas las cargas que se espera irán aplicadas sobre la misma; o bien pueden utilizarse para repartir dichas cargas sobre un suelo relativamente flojo que atraviesan los suficiente para permitir soportar la estructura con seguridad. Son elementos esbeltos con sección transversal comprendida entre 0.30 y 1.00 m., pudiendo ser clasificados de la siguiente manera:

Según su forma de trabajo: de Punta, de Fricción y Mixtos.

Según el material con que puedan ser hechos: Madera, Acero, Concreto y Mixtos

**Pilotes de Punta:** Son aquellos que funcionan principalmente como una columna que al soportar una carga sobre su extremo superior, desarrollan su capacidad de carga con apoyo directo sobre un estrato resistente, pudiendo desarrollarse una pequeña resistencia sobre la superficie del mismo.

**Pilotes de Fricción:** Son aquellos que al estar soportando una carga sobre su cabeza dentro de un estrato profundo de suelo granular o coherente, desarrollan su resistencia por el rozamiento que se genera a lo largo de éste y el suelo que lo rodea. La rugosidad de la superficie del pilote puede ayudar en algo, pero tal parece que sus efectos son relativamente importantes, salvo en aquellos casos que se utilicen pilotes de madera sin descortezar.

**Pilotes Mixtos:** Son aquellos elementos que utilizan las características de los de punta y de fricción.

Evidentemente los pilotes son miembros estructurales hechos de acero, concreto o madera y son usados para construir cimentaciones, cuando son profundas y cuestan más que las cimentaciones superficiales. A pesar del costo, el uso de pilotes es a menudo necesario para garantizar la seguridad estructural. La siguiente lista identifica algunas de las condiciones que se requieren para una cimentación a base de pilotes.

1. Cuando el estrato o estratos superiores del suelo son altamente comprensibles y demasiado débiles para soportar la carga transmitida por la superestructura se usan pilotes para transmitir la carga al lecho rocoso o a una capa dura, como se muestra en la figura 1.1a. Cuando no se encuentra un lecho rocoso a una profundidad razonable debajo de la superficie del terreno los pilotes se usan para transmitir la carga estructural gradualmente al suelo. La resistencia a la carga estructural aplicada se deriva principalmente de la resistencia a fricción desarrollada en la interfaz suelo-Pilote (figura 1.1b).
2. Cuando están sometidas a fuerzas horizontales (figura 1.1c), las cimentaciones con pilotes resisten por flexión mientras soportan a un la carga vertical transmitida por la superestructura. Este tipo de situación se encuentra generalmente en el diseño y construcción de estructuras de retención de tierra y en la cimentación de estructuras altas que están sometidas a fuerzas grandes de vientos y sísmicas.
3. En muchos casos, suelos expansivos y colapsables están presentes en el sitio de una estructura propuesta y se extienden a gran profundidad por debajo de la superficie del terreno. Los suelos expansivos se hinchan y se contraen conforme el contenido de agua crece y decrece y su presión de expansión es considerable.



Si se usan cimentaciones superficiales en tales circunstancias, la estructura sufrirá daños considerables. Sin embargo, las cimentaciones con pilotes se consideran como una alternativa cuando estos se extienden mas allá de la zona activa de expansión y contracción (figura 1.1d).

Los suelos como los constituidos por loess son de naturaleza colapsable cuando el contenido de agua de esos suelos aumenta, su estructura se rompe. Una disminución repentina de la relación de vacíos induce grandes asentamientos de las estructuras soportadas por cimentaciones superficiales. En tales casos, las cimentaciones con pilotes se usan con éxito si esos se extienden hasta las capas de suelos estables mas allá de la zona de cambio posible de contenido de agua.

4. Las cimentaciones de algunas estructuras, como torres de transmisión, plataformas fuera de la costa y losas de sótanos debajo del nivel freático, están sometidas a fuerzas de levantamiento. Algunas veces se usan pilotes para esas cimentaciones y así resistir las fuerzas de levantamiento (figura 1.1e).
5. Los estribos y pilas de puentes son usualmente construidos sobre cimentaciones de pilotes para evitar la posible perdida de capacidad de carga que una cimentación superficial sufriría por erosión del suelo en la superficie del terreno (figura 1.1f).

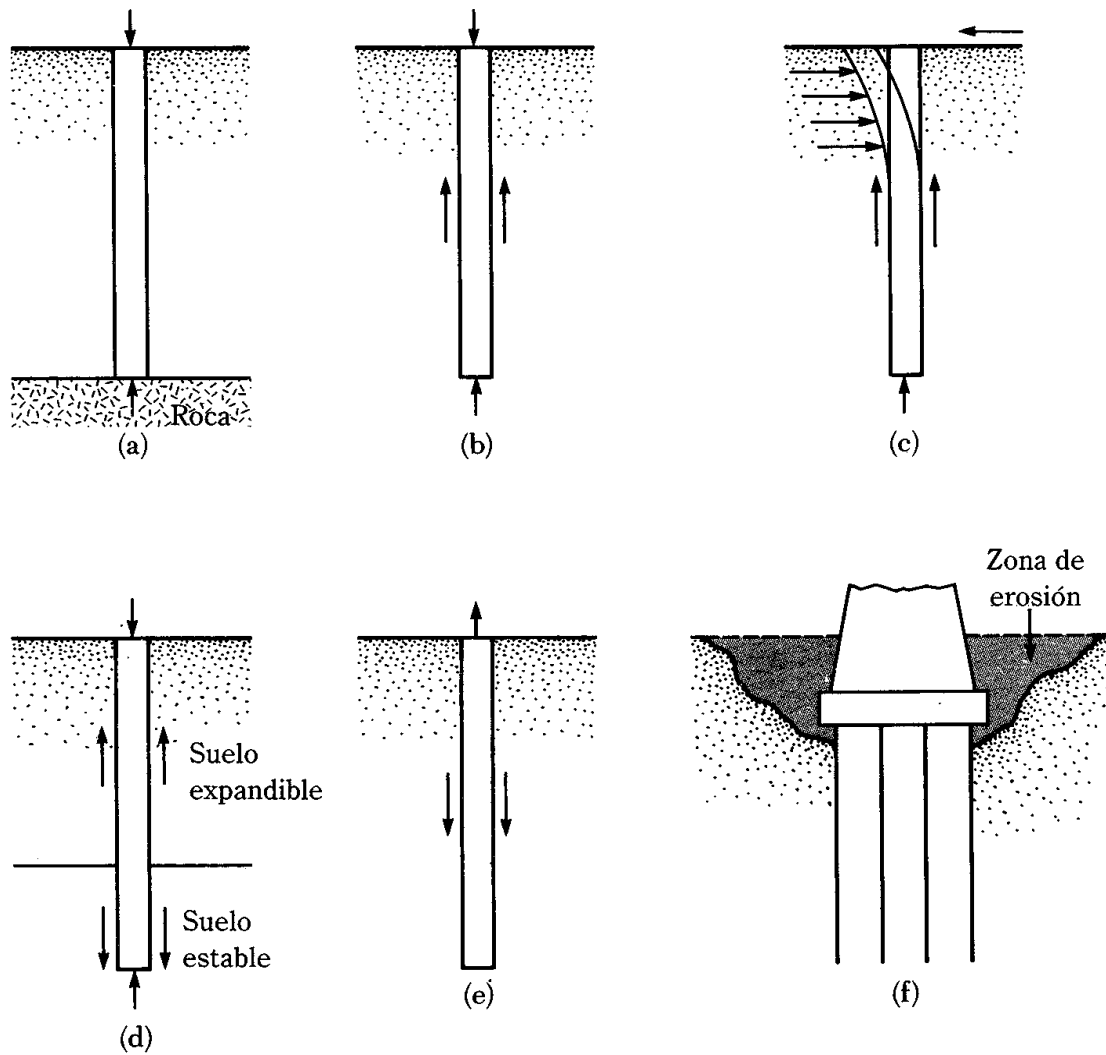


FIGURA 1.1 Condiciones para el uso de cimentaciones con pilotes.

### I.2.- PILOTES DE MADERA

En trabajos de construcción se usan diferentes tipos de pilotes, dependiendo del tipo de carga por soportarse, de las condiciones del subsuelo y de la localización del nivel freático. Los pilotes se dividen en las siguientes categorías:

- I. Pilotes de madera
- II. Pilotes de acero
- III. Pilotes de concreto
- IV. Pilotes compuestos

#### PILOTES DE MADERA

Hace siglos que los hombres emplearon troncos de madera cuyas ramas y corteza fueron cuidadosamente recortadas. La longitud máxima de la mayoría de los pilotes de madera es de entre 6 y 16 metros. Para calificar como pilote, la madera debe ser recta, sana y sin defectos. Los pilotes de madera se dividen principalmente en tres clases.

1. Pilotes clase A que soportan cargas pesadas. El diámetro mínimo del fuste debe ser de 14 pulgadas (356 mm).
2. Pilotes clase B que se usan para tomar cargas medias. El diámetro mínimo del fuste debe ser entre 12 y 13 pulgadas (305-330mm).
3. Pilotes clase C que se usan en trabajos provisionales de construcción. Estos se usan permanentemente para estructuras cuando todo el pilote esta debajo del nivel freático. el diámetro mínimo del fuste debe de ser de 12 pulgadas (305mm).

## CIMENTACIÓN A BASE DE PILOTES DE FRICCIÓN

---

En todo caso, la punta del pilote no debe tener un diámetro menor de 6 pulgadas (150mm). Las cabezas de los pilotes de madera probablemente se “astillaran”, si se les somete a una hincadora; sus puntas pueden aplastarse cuando se hincan a través de materiales densos. Al hincar un pilote que no sea derecho es posible que se desvíe de la posición en que se pretende situar y una hincadora puede aplastarlo ya que los pilotes de madera no resisten altos esfuerzos al hincarse, si se encuentra alguna obstrucción se puede romper bajo el hincado normal como se muestra en la Fig. 1.2, cuando se rompe un pilote la penetración aumenta repentinamente, por lo tanto, su capacidad se limita a aproximadamente 25- 30 toneladas. Se deben usar zapatas de acero para evitar daños en la punta del pilote. La parte superior de los pilotes de madera también podrían dañarse al ser hincados, para evitarlo se usa una banda metálica o un capuchón o cabezal. Debe evitarse el empalme en los pilotes de madera, particularmente cuando se espera que tomen cargas de tensión o laterales. Sin embargo si el empalme es necesario, este se hace usando manguitos de tubo (figura 1.3a) o soleras metálicas con tornillos (figura 1.3b). La longitud del manguito de tubo debe ser por lo menos de cinco veces el diámetro del pilote. Los extremos a tope deben cortarse a escuadra de modo que se tenga un contacto pleno entre las partes. Las porciones empalmadas deben recortarse cuidadosamente para que queden estrechamente ajustadas dentro de los manguitos o camisas de tubo. En el caso de soleras metálicas con tornillos, los extremos a tope deben también recortarse a escuadra y los lados de las porciones empalmadas deben ser recortadas planas para el buen asiento de las soleras.

Los pilotes de madera permanecerán indefinidamente sin daño si están rodeados por suelo saturado. Sin embargo, en un ambiente marino, están sometidos al ataque de varios organismos y pueden ser dañados considerablemente en pocos meses. Cuando se localiza arriba del nivel freático, los pilotes son atacados por insectos.

## CIMENTACIÓN A BASE DE PILOTES DE FRICCIÓN

---

**Capacidad de carga admisible:** los pilotes de madera funcionan bien por rozamiento; no son convenientes para trabajar por punta debido a que la resistencia a compresión de la madera es relativamente pequeña, las puntas tienen poca sección de apoyo. En los casos corrientes, un pilote de madera no deberá cargarse con más de 30 a 40 toneladas en las mejores condiciones.



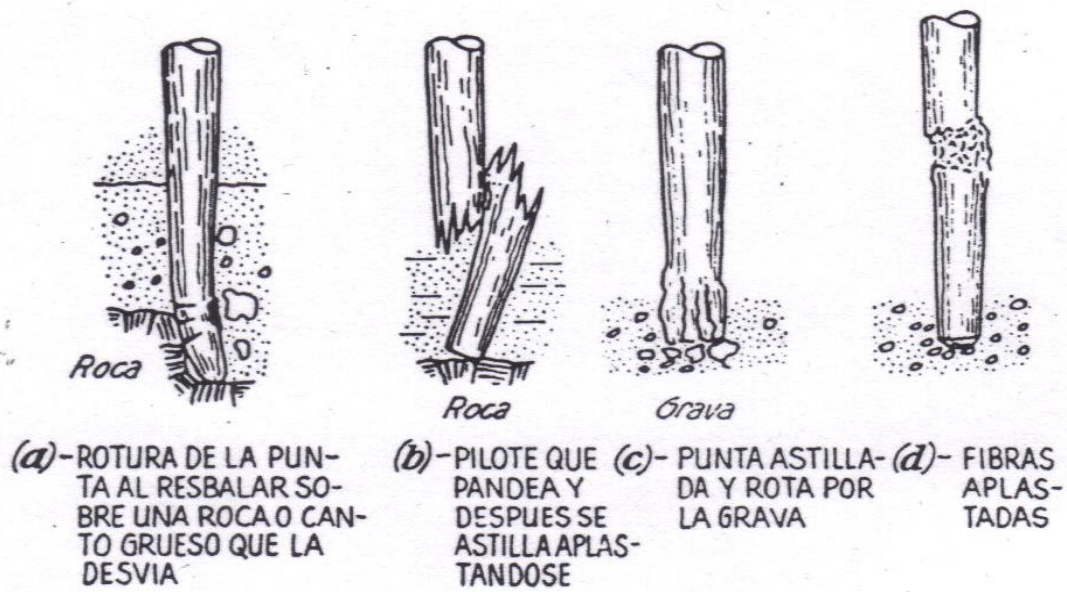


Fig. 1.2 Algunas formas de fallo en los pilotes de madera cuando se prosigue la hinca después de que han tropezado con un obstáculo.

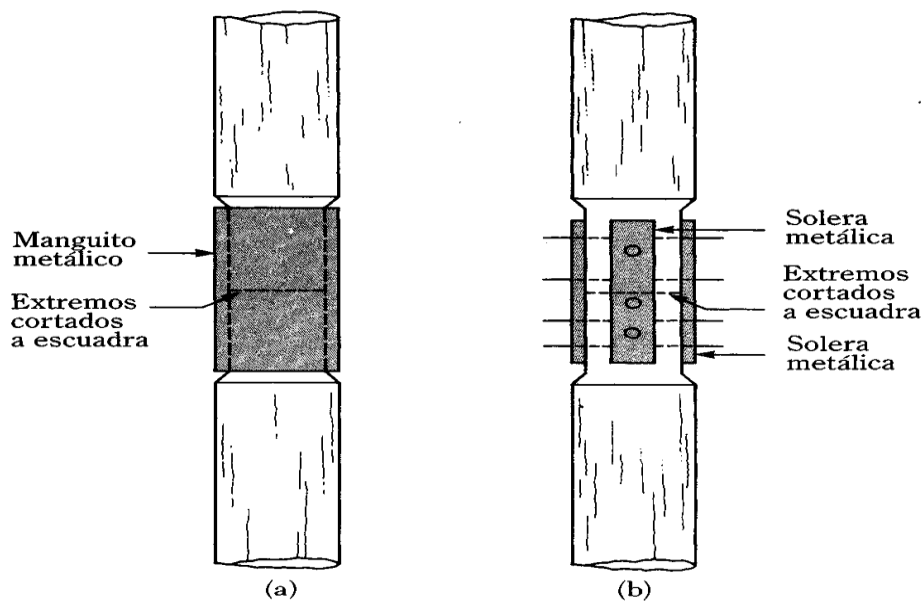


FIGURA 1.3 Empalme de pilotes de madera: (a) uso de manguitos tubulares; (b) uso de soleras metálicas y tornillos.

**Disponibilidad:** Los arboles son un recurso renovable y pueden desarrollarse en muchas partes del mundo. Sin embargo, un árbol apropiado para un pilote largo puede que se requiera de setenta y cinco a cien años (o más) de crecimiento. Es difícil conseguir pilotes de madera que sean suficientemente largos y derechos. Suelen encontrarse en madera de pino de 9 a 15 y hasta 18 metros de longitud.

**Manejo:** La ligereza y resistencia a flexión de los pilotes de madera facilitan su manejo. Además, su resistencia a tracción permite que puedan arrancarse fácilmente para utilizarlos de nuevo, otra de sus ventajas es la facilidad con que pueden cortarse y labrarse a pie de obra.

**Resistencia a flexión:** Los pilotes de madera son relativamente flexibles y elásticos. Se deforman considerablemente, ofrecen gran resistencia lateral y vuelven de nuevo a su estado inicial, así pueden amortiguar el choque debido al abordaje de un barco. Esto constituye una gran ventaja en estructuras tales como muelles embarcaderos y postes de amarre. Para estos servicios, es difícil encontrar un sustitutivo de la madera.

### I.3.- PILOTES DE ACERO

Estos pilotes son de secciones estructurales ligeras o pesadas dependiendo de la carga que transmitirán. Se pueden utilizar tubos de acero que pueden quedar huecos o rellenos con concreto, así como perfiles estructurales H; también se fabrican tubos de acero con una hélice soldada lateralmente, que se introduce a rotación. Sin embargo, se prefieren los perfiles H por que los espesores de sus almas y patines son iguales. En las vigas de patín ancho y sección I, los espesores del alma son menores que los espesores de los patines. Los pilotes de vigas H se producen en cualquier longitud hasta 19.5m y se cotizan a un precio de base por libra.

Entre las ventajas que ofrecen los pilotes metálicos pueden citarse que trabajan bien como pilares, que el acero es un material que resiste grandes esfuerzos, la facilidad y precisión con que se pueden alargar o recortar, que pueden atravesar obstáculos para penetrar hasta los materiales subyacentes y que resisten bien a la flexión. A un cuando son costosos, conviene disponer pilotes metálicos en los casos que se requieran dichas características. La Figura 1.4 muestra algunos detalles correspondientes a los pilotes metálicos de perfil H.

La desventaja principal de estos pilotes es que son susceptibles a la corrosión, fenómeno que debe tomarse en cuenta especialmente en ambiente marino, que es en donde mas se utilizan, para protegerlos debidamente.



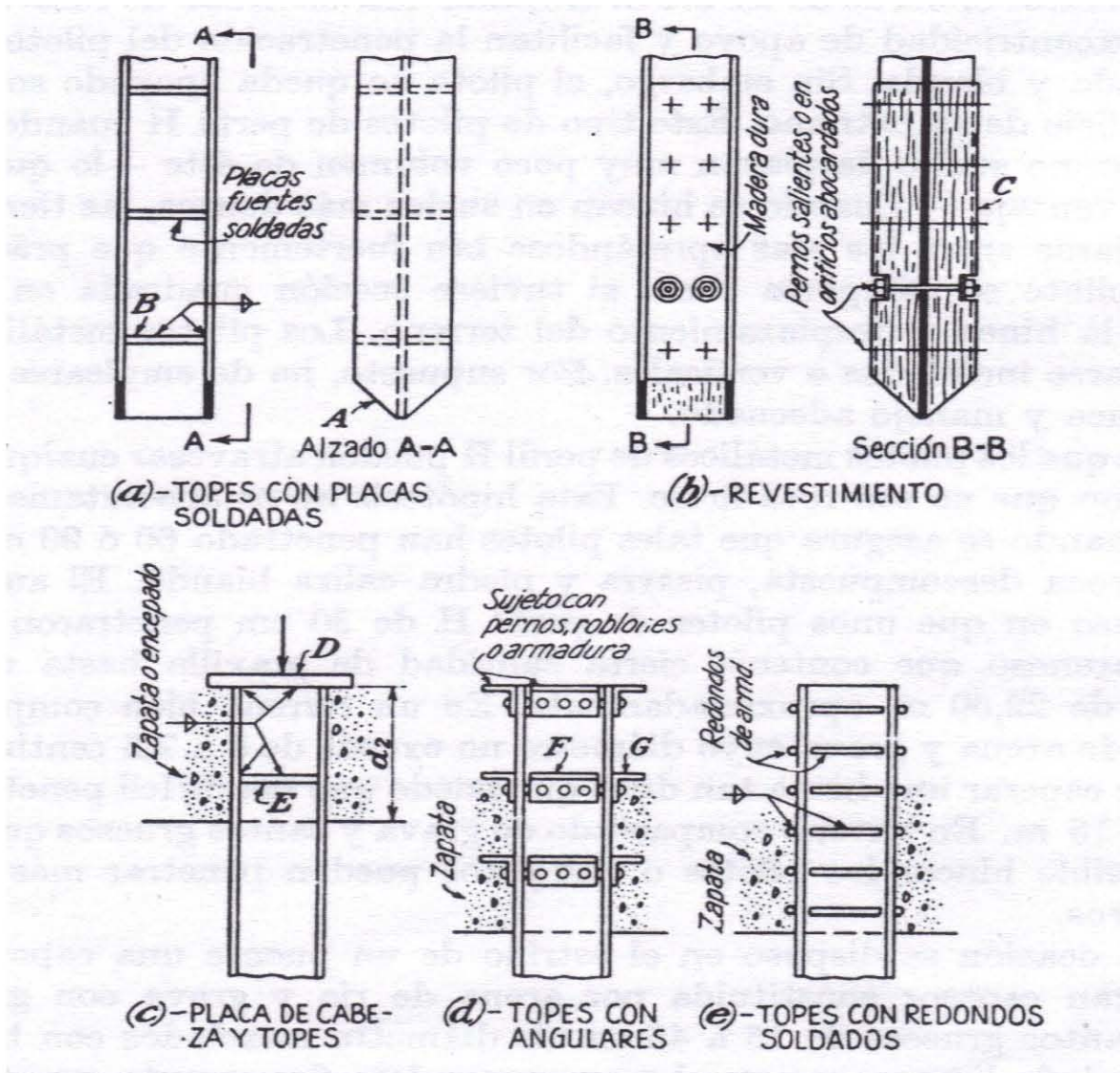


FIGURA 1.4.- Detalles correspondientes a los pilotes metálicos de perfil H.

**Carga admisible:** Como anteriormente se ha dicho, la carga que admite un fuerte perfil metálico H es muy grande, siempre que no pandee. Sin embargo, cuando la carga no se transmite al pilote de un modo conveniente o si el apoyo no puede desarrollar la resistencia necesaria, su capacidad de carga puede quedar reducida en relación con esto, los croquis de la Figura 1.4 muestran algunos detalles que conviene tener en cuenta:

- a) Las placas soldadas B, o una serie de ellas, sirven para aumentar la eficacia del apoyo cuando el pilote ha de hincarse a través de terreno flojo hasta penetrar en arena o grava. Con ellas se consigue mayor capacidad de carga que la que admitiría el pilote trabajando solo por rozamiento de su superficie. Si las placas B son gruesas y las soldaduras suficientemente fuertes para resistir la hinca, resultaran muy eficaces en terrenos de grava.
- b) Las piezas de madera dura C constituyen un revestimiento que también sirve para aumentar la capacidad de carga de un pilote. La resistencia de aquellas queda limitada por la que pueda tener el sistema de sujeción de las mismas al acero mediante los pernos.
- c) Este croquis muestra la placa D que soldada a la cabeza del pilote sirve para aumentar la superficie de apoyo del concreto de la zapata que va por encima del metal. Las placas soldadas E tienen este mismo objeto.  
Si la longitud embebida  $d_2$  es de 1.50 a 1.80 m, la adherencia del concreto puede ser de valor real, pero es probable que no sea adecuada ni ofrezca seguridad absoluta en el caso de cargas de gran magnitud. La grasa, la suciedad o la pintura pueden debilitar la adherencia.

- d) En este croquis se muestran algunos angulares F y G soldados al alma y a las alas del pilote. Es inútil que las alas salientes de estos angulares sean muy anchas, pues su resistencia al cortante es pequeña, salvo junto al ala empalmada. Es preferible disponer una serie de angulares de ala corta pero gruesos, separándolos a corta distancia uno de otro.
- e) Este croquis muestra una serie de trozos de barras de armadura soldados que sirven como topes. El número de soldaduras probablemente resulta grande comparando con la superficie de apoyo que se consigue. En cualquier caso, la zapata de concreto deberá ser suficientemente fuerte en apoyo y cortante para transmitir al pilote la carga requerida.

**Disponibilidad:** Hay muchas regiones en que es fácil conseguir pilotes metálicos; en otras es difícil obtenerlos; en las épocas de escases de hierro es casi imposible encontrarlos. Hay que tener esto en cuenta cuando el proyecto de una estructura esta en la fase de planeación.

**Manejo:** Los pilotes metálicos resisten bien a la flexión por lo que pueden manejarse con seguridad si se dispone de un equipo con suficiente potencia para elevarlos y radio de acción para maniobrar.

**Ajustabilidad de longitud:** Cuando el pilote resulta demasiado largo, se puede cortar fácilmente con soplete dejándole a la altura exacta requerida, esto puede hacerse incluso bajo el agua, a un que quizá resulte costoso. Si el pilote es corto, puede prolongarse con otro trozo que se suelda a tope con el primero o también pueden utilizarse empalmes, los pilotes de acero se empalman por medio de soldaduras, remaches o tornillos, la figura 1.5a muestra una condición típica de empalme por soldadura en un pilote H. en la figura 1.5b se muestra un típico caso de empalme por soldadura de un pilote tubo y en la figura 1.5c se muestra el empalme por remaches o tornillos de un pilote H.

## CIMENTACIÓN A BASE DE PILOTES DE FRICCIÓN

Cuando se esperan condiciones difíciles de hincado, como a través de grava densa, lutitas y roca blanda, los pilotes de acero se usan adaptados con puntas o zapatas de hincado. Las figuras 1.5d y 1.5e muestran dos tipos de zapatas usadas en pilotes de tubo.

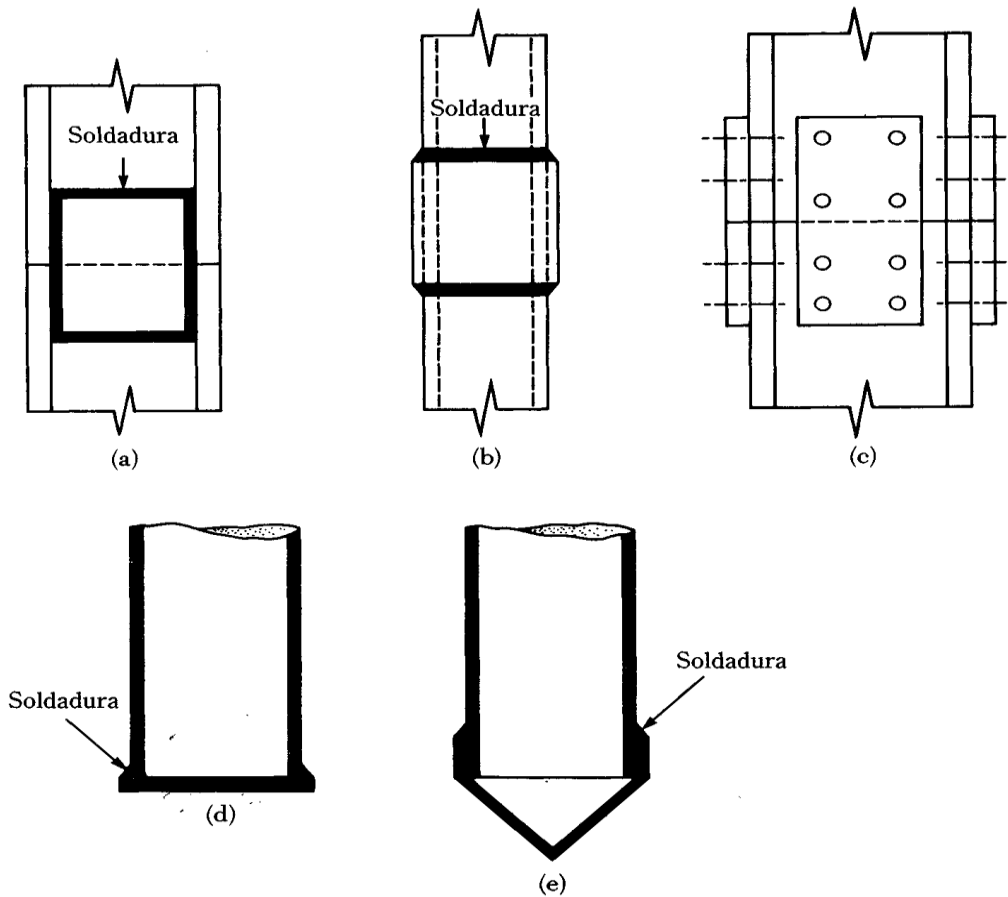


FIGURA 1.5 (a) empalme de pilotes H con soldadura; (b) empalme de pilotes de tubo con soldadura; (c) empalme de pilotes H con remaches y tornillos; (d) punta plana de hincado de pilote de tubo; (e) punta cónica de hincado de pilote de tubo.

Los pilotes de acero llegan a estar sometidos a corrosión, como en suelos pantanosos, las turbas y otros orgánicos, los suelos con un pH mayor que 7 no son muy corrosivos. Para compensar el efecto de la corrosión se recomienda considerar un espesor adicional de acero (sobre el área de la sección transversal real de diseño). En muchas circunstancias, los recubrimientos epóxicos, aplicados en la fábrica, sobre los pilotes funcionan satisfactoriamente. Esos recubrimientos no son dañados fácilmente por el hincado del pilote. El recubrimiento con concreto también los protege contra la corrosión en la mayoría de las zonas corrosivas.

**Resistencia a la flexión:** El pilote metálico es fuerte y elástico. Las flexiones laterales grandes pueden dar lugar a que el acero quede sometido a tensiones excesivas y sufra una deformación permanente. Sin embargo, ni se agrietara ni se romperá. Aun estando torcido o alabeado puede soportar una carga grande.

## CIMENTACIÓN A BASE DE PILOTES DE FRICCIÓN

---

Los pilotes de tubo se hincan en el terreno con sus extremos abiertos o cerrados. Después de su hincado, por lo común se rellenan de concreto. El termino implica que el espesor de la pared del tubo es suficiente para resistir las fuerzas de hincado sin apoyo. En algunos casos cuando se especifican paredes de espesor suficiente para dejar margen tanto a la corrosión externa como interna, los pilotes no se rellenan de concreto. Pueden dejarse vacíos y tapados, llenos de material granular o parcialmente llenos de concreto o arena y, luego, rematados o tapados.

Los pilotes tubulares de extremo cerrado, diseñados para fricción o carga en el extremo, casi siempre son tubos de 10 a 12 pulgadas de diámetro interior. A veces, se ha utilizado tubo de un diámetro interior de 8 pulgadas. Con frecuencia los pilotes de 10 a 12 pulgadas se destinan a cargas del orden de 50 toneladas. Si las condiciones del suelo y el espesor de las paredes son adecuados, a veces los pilotes tubulares de 10 y 12 pulgadas se utilizan para cargas que se elevan hasta 100 toneladas. Para los pilotes tubulares de extremo cerrado, raras veces se necesitan diámetros mayores, a menos que estén sometidos a movimientos de torsión o se extiendan por encima del nivel freático del terreno. Por lo común los pilotes tubulares de extremo abierto son tubos de 14 a 20 pulgadas de diámetro exterior. En general, esos pilotes de extremo abierto se hincan hasta la roca. Las cargas de diseño en esos pilotes se elevan hasta 250 toneladas y, por tanto, requieren los tamaños mayores y las secciones de las paredes más gruesas.

Aunque raras veces se utilizan para cimentaciones de construcción, los pilotes tubulares de diámetros de 24 a 48 pulgadas se emplean para casos especiales, tales como las plataformas de perforación en el mar.

### I.4.- PILOTES DE CONCRETO

Los pilotes de concreto se dividen en dos categorías:

Pilotes prefabricados

Pilotes colados in situ

Los prefabricados se preparan usando refuerzo ordinario y son cuadrados u octagonales en su sección transversal como se muestra en la figura 1.6. El refuerzo se proporciona para que el pilote resista el momento flexionante desarrollado durante la manipulación y el transporte, la carga vertical y el momento flexionante causado por la carga lateral. Los pilotes son fabricados a las longitudes deseadas y curados antes de transportarlos a los sitios de trabajo. Sin embargo los pilotes prefabricados, tiene la debilidad inherente de sus agrietamientos en líneas, debido a la contracción del concreto durante el curado. Incluso cuando esas grietas permiten que el agua penetre hasta el acero no afectan la resistencia estructural de los pilotes.

Los pilotes prefabricados también son presforzados usando cables de presfuerzo de acero de alta resistencia. Durante el colado de los pilotes, los cables se pretensan y se vierte concreto alrededor de ellos. Después del curado, los cables se cortan produciendo así una fuerza de compresión en la sección del pilote.

**Disponibilidad:** Los pilotes de concreto prefabricados pueden construirse a pie de obra, o en lugar próximo a la misma, mediante concreto de alta resistencia que se vierte en moldes apropiados. Puede disponerse una fuerte armadura del modo que convenga y dejarla bien arriostrada. Generalmente, los materiales se consiguen sin inconveniente. Hay que procurarse los medios adecuados para el curado, manipulación y almacenamiento.

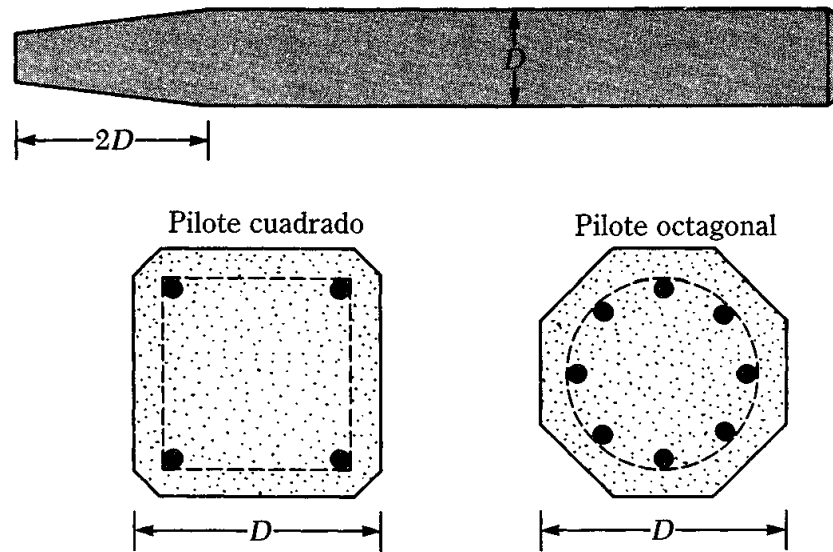


FIGURA 1.6 Pilotes prefabricados con refuerzo ordinario

**Transporte:** Estos pilotes son tan pesados que su transporte es costoso. En obras de importancia, deben moldearse al pie de la misma o en lugares próximos.

**Manejo:** Un pilote de concreto prefabricado de sección cuadrada de 45 cm de lado y 18 m de altura viene a pesar cerca de 10 toneladas. Se requiere un equipo pesado para manejarlo y generalmente, también un gran espacio de maniobra. Los pilotes han de ser amarrados con cadenas de suspensión o accesorios especiales que eviten una flexión excesiva cuando se levantan de su posición horizontal. También se necesita un equipo potente para su transporte.

**Ajustabilidad de longitud:** He aquí uno de los inconvenientes de los pilotes de concreto prefabricados. Cuando resultan demasiado largos y no pueden hincarse hasta la profundidad prevista, es difícil cortarles. Si los pilotes resultan demasiado cortos, es difícil prolongarlos de manera que ofrezca seguridad el tipo de junta que se realice con la cabeza del pilote original.



Los pilotes colados in situ se construyen perforando un agujero en el terreno y llenándolo con concreto. Varios tipos de pilotes colados in situ se usan actualmente en la construcción y la mayor parte fueron patentados por sus fabricantes. Esos pilotes se dividen en dos amplias categorías: ademados y no ademados.

Los pilotes ademados se hacen hincando un tubo de acero en el terreno con ayuda de un mandril colocado dentro del tubo. Cuando el pilote alcanza la profundidad apropiada, se retira el mandril y el tubo se llena de concreto las figuras 1.7a, 1.7b, 1.7c, 1.7d muestran algunos ejemplos de pilotes ademados sin pedestal, la figura 1.6e muestra un pilote ademado con un pedestal, consiste en un bulbo de concreto expandido que se forma dejando caer un martillo sobre el concreto fresco.

Las figuras 1.7 f y 1.7g son dos tipos de pilote sin ademe uno con pedestal y otro sin el. Los pilotes no ademados se hacen hincando primero el tubo a la profundidad deseada y llenándolos con concreto fresco. El tubo se retira gradualmente.

**Disponibilidad:** generalmente, se dispone de envueltas y tubos metálicos y el concreto es un material que es posible conseguir.

**Transporte:** las envueltas y tubos metálicos ligeros pueden transportarse fácilmente.

**Manejo:** las envueltas y tubos son tan ligeros y resistentes que se manejan en obra con relativa rapidez.

**Ajustabilidad de la longitud:** en este aspecto estos pilotes tienen una gran ventaja. Cuando la longitud de la envuelta tubular es excesiva se puede cortar con un soplete, cuando es corta se puede soldar una prolongación siempre que la longitud total no exceda de lo que permite el mandril o macho

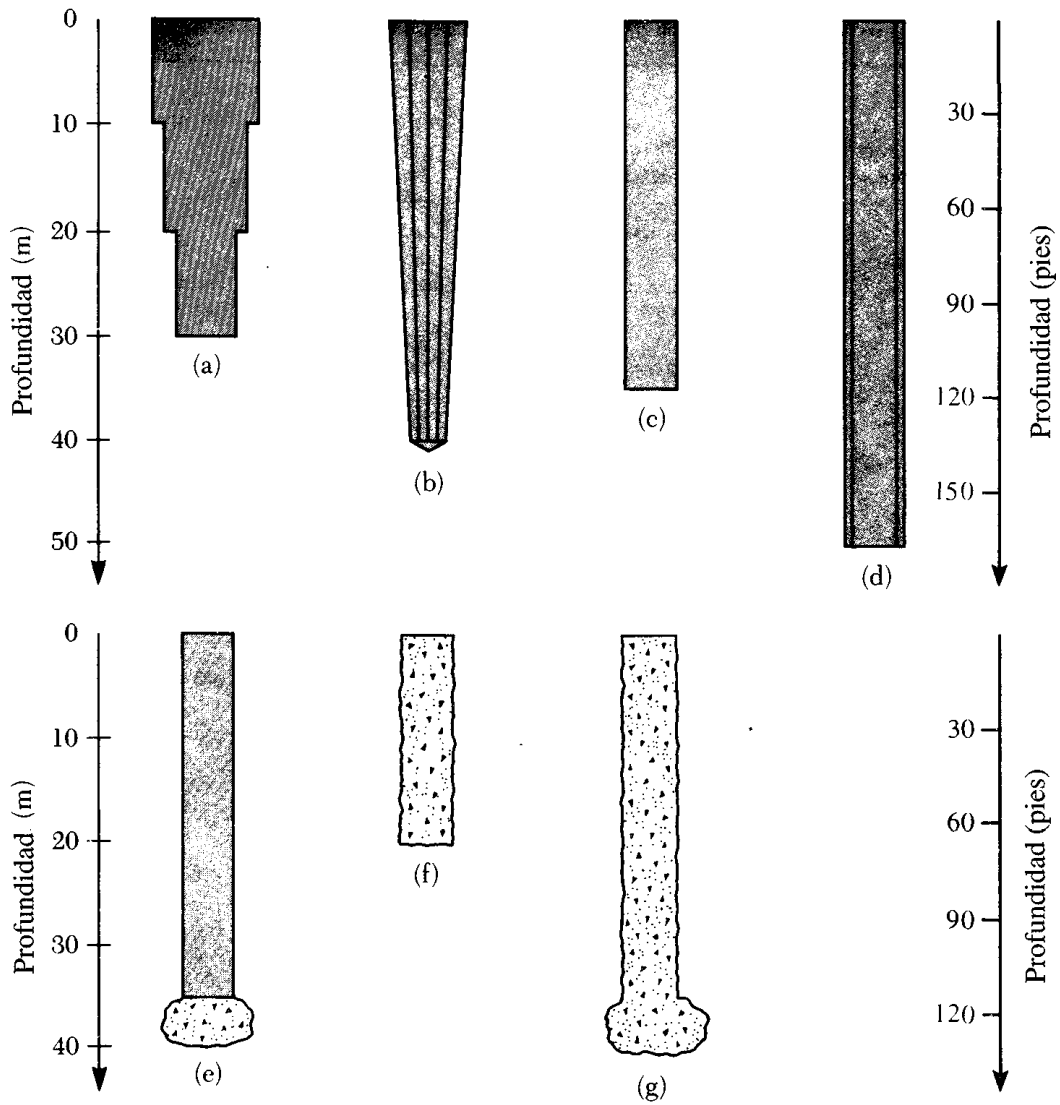


FIGURA 1.7 Pilotes de concreto colados in situ.

**CAPITULO II**  
**“CAPACIDAD DE CARGA EN LOS**  
**PILOTES DE FRICCIÓN.”**

## CAPITULO II

### CAPACIDAD DE CARGA EN PILOTES DE FRICCIÓN

#### 2.1.- FUNCIONAMIENTO GENERAL DE UN PILOTE BAJO CARGA

Un pilote puede hincarse dentro de un estrato profundo de suelo granular o coherente, como se presenta en la figura 2.1. Al aplicar la carga  $P$  sobre la parte superior o cabeza del pilote, este tiende a penetrar más dentro del suelo. La compresión y desplazamiento del material situado bajo la punta  $B$  ofrece cierta resistencia, pero la mayor parte de la reacción es debida al rozamiento superficial a lo largo de la superficie del pilote, como se indica por  $\Delta F$ . Por consiguiente puede llamarse pilote de fricción. El valor del coeficiente de rozamiento para la superficie de contacto entre el suelo y el pilote depende en su mayor parte de las propiedades del suelo. Las características de la superficie del pilote y su rugosidad pueden influir algo, pero sus efectos parece que son relativamente poco importantes, salvo en el caso de los pilotes de madera sin descortezar en que la corteza puede desprenderse aislando el pilote del terreno. Naturalmente, la resistencia de rozamiento por unidad de superficie del pilote dependerá de la intensidad de la presión normal, la cual es probable que varíe en una cierta relación con la profundidad del punto considerado. Basándose en esto se ha confeccionado la tabla 2.2. Esta hecha para que sirva de guía cualitativa, no son datos exactos que haya que utilizar en todos y cada uno de los casos. Los valores verdaderos dependen de las características de un suelo particular, y su resistencia al cortante y compresión deberá estudiarse por medio de pruebas de laboratorio sobre muestras inalteradas. Los efectos combinados de rozamiento y cohesión se clasifican aquí como resistencia de rozamiento.

La carga total  $P$  sobre el pilote de la figura 2.1 tiene que resistirla  $\Sigma \Delta F$  si esta puede desarrollarse. La resistencia total será

$$R = -P = \Sigma(\Delta A)(pf + c)$$

## CIMENTACIÓN A BASE DE PILOTES DE FRICCIÓN

En donde  $p$  y  $f$  son, respectivamente, la presión unitaria normal y el coeficiente de rozamiento que actúan sobre una superficie unitaria específica y  $c$  la cohesión unitaria. Si las cargas se transmiten de un estrato horizontal a otro por compresión, se puede suponer que el croquis de la figura 2.1 distribuye su carga a través de un cierto volumen de material, tal como se presenta por la sección AEDCA. A esta sección se le llama cono de distribución de la carga. En otras palabras, la carga concentrada  $P$  se reparte por medio del pilote hasta una superficie del suelo situada por debajo del círculo cuyo diámetro es  $EC$ . El ángulo  $BAC$  no se conoce exactamente y  $AE$  y  $AC$  puede que no sean líneas rectas. Es probable que la presión unitaria adquiera su valor máximo en  $B$ . por tanto se supone que el arco del círculo  $EDC$  representa el diagrama de presiones del suelo. A este fondo hemisférico imaginario se le conoce como bulbo de presiones que produce el pilote con su carga la superficie  $X$  y  $Z$  quizá represente más exactamente las características del diagrama de presiones del suelo situado en la punta del pilote.

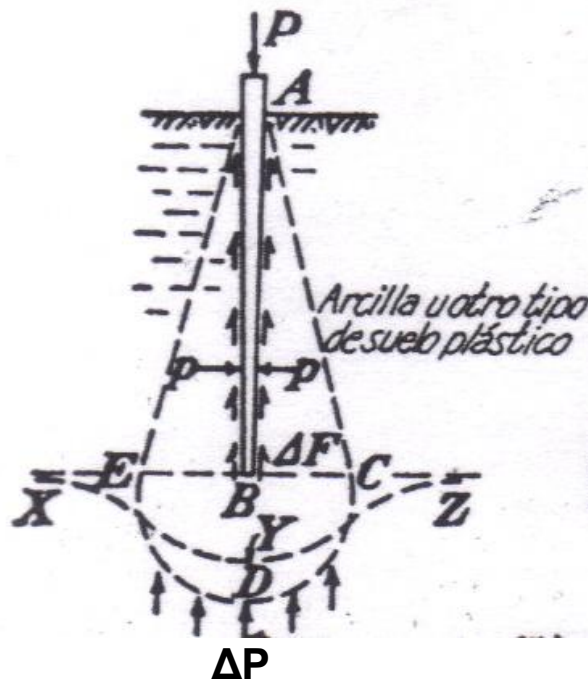


Fig. 2.1 Pilote de rozamiento

## CIMENTACIÓN A BASE DE PILOTES DE FRICCIÓN

---

Clase de terreno	Rozamiento superficial, kg/m <sup>2</sup>		
	Profundidad aprox. 6m	Profundidad aprox. 18m	Profundidad aprox. 30m
Limo blando y lodo orgánico denso	240-490	240-590	290-730
Limo (húmedo, pero confinado)	490-980	610-1220	730-1460
Arcilla blanda	980-1460	1220-1710	1460-1950
Arcilla dura	1460-2440	1710-2680	1950-2930
Mezcla de arcilla y arena	1460-2440	1950-2930	2440-3420
Arena fina (húmeda, pero confinada)	1460-1950	1710-2440	1950-2930
Arena media y gravilla	2440-3420	2930-3910	2930-3910

Tabla 2.2. Valor aproximado admisible del rozamiento superficial en los pilotes.

### 2.2.- PRUEBAS DE CARGA EN PILOTES

Generalmente el mejor método para estimar la capacidad de carga de un pilote individual en cierto lugar, es el realizar una prueba de carga a escala natural en ese lugar. El inconveniente de las pruebas de carga estriba en su costo y en el tiempo requerido para realizarlas; estas razones hacen que en numerosas obras de poca magnitud no se ejecuten. En obras de importancia, sin embargo, no es buen criterio evitar las pruebas de carga en nombre del costo o del tiempo y, por lo menos deben de hacerse algunas pruebas en lugares representativos de las distintas condiciones prevalecientes; la elección correcta de tales lugares es, desde luego, de fundamental importancia, define el éxito del programa de pruebas y suele requerir bastante experiencia. El lugar apropiado para efectuar una prueba de carga no siempre es aquel en el que el terreno presenta condiciones mas criticas, pues debe contarse también con la magnitud de las cargas en cada pilote, con el número de pilotes que se colocaran en cada zona y con las consecuencias derivadas de la falla de un pilote.

Una limitación de importancia que afecta a las conclusiones obtenidas de una prueba de carga es que esta se realiza generalmente en un solo pilote y ya se ha mencionado que el comportamiento de un grupo es diferente del de una unidad aislada. Las pruebas de grupos de pilotes son muy escasas en la literatura, debido al costo y a la magnitud de las cargas que se requerirá movilizar en la prueba.

Con una prueba de carga puede obtenerse información sobre los siguientes aspectos.

- a) La capacidad de carga última por punta de un pilote.

Una prueba de carga bien ejecutada de valores bastante satisfactorios en la capacidad de carga por punta, apóyese esta en arena o arcilla dura. Para deslindar el valor de la capacidad por punta es necesario que la resistencia del pilote por fricción lateral se conozca con buena aproximación o que sea eliminada; esto último puede conseguirse colocando el pilote dentro de un tubo hueco del que sobresalga únicamente la punta.

- b) La capacidad de carga de un pilote por fricción lateral.

El resultado de una prueba de carga de la resistencia lateral por fricción o adherencia cuando la capacidad de carga por punta es despreciable, cual suele ser el caso de pilotes hincados en arcillas blandas o cuando se dispone en la punta del pilote un mecanismo a base de gatos que permiten valorar la resistencia por punta independientemente de la resistencia total.

- c) El asentamiento total del pilote bajo la carga.

Esta información es bastante confiable cuando la punta del pilote se apoye en suelos no compresibles. En pilotes desplantados en suelos cohesivos o en pilotes de fricción colocados en arcillas blandas, en cambio, los asentamientos obtenidos en la prueba no representan los que se tendrían en un pilote cargado a largo plazo. La razón es que en estos casos, los fenómenos de compresibilidad están muy ligados al tiempo y los periodos de prueba no son de ningún modo representativo, por los cortos, de los tiempos de vida de los pilotes prototipo. Por otra parte, siempre han de tenerse presente que el asentamiento que produce un pilote puede ser mucho menor que el de un grupo de pilotes colocado en el mismo lugar. En la figura 2.3 se ve de inmediato la diferencia de influencias de ambos casos, que explica el diferente asentamiento.



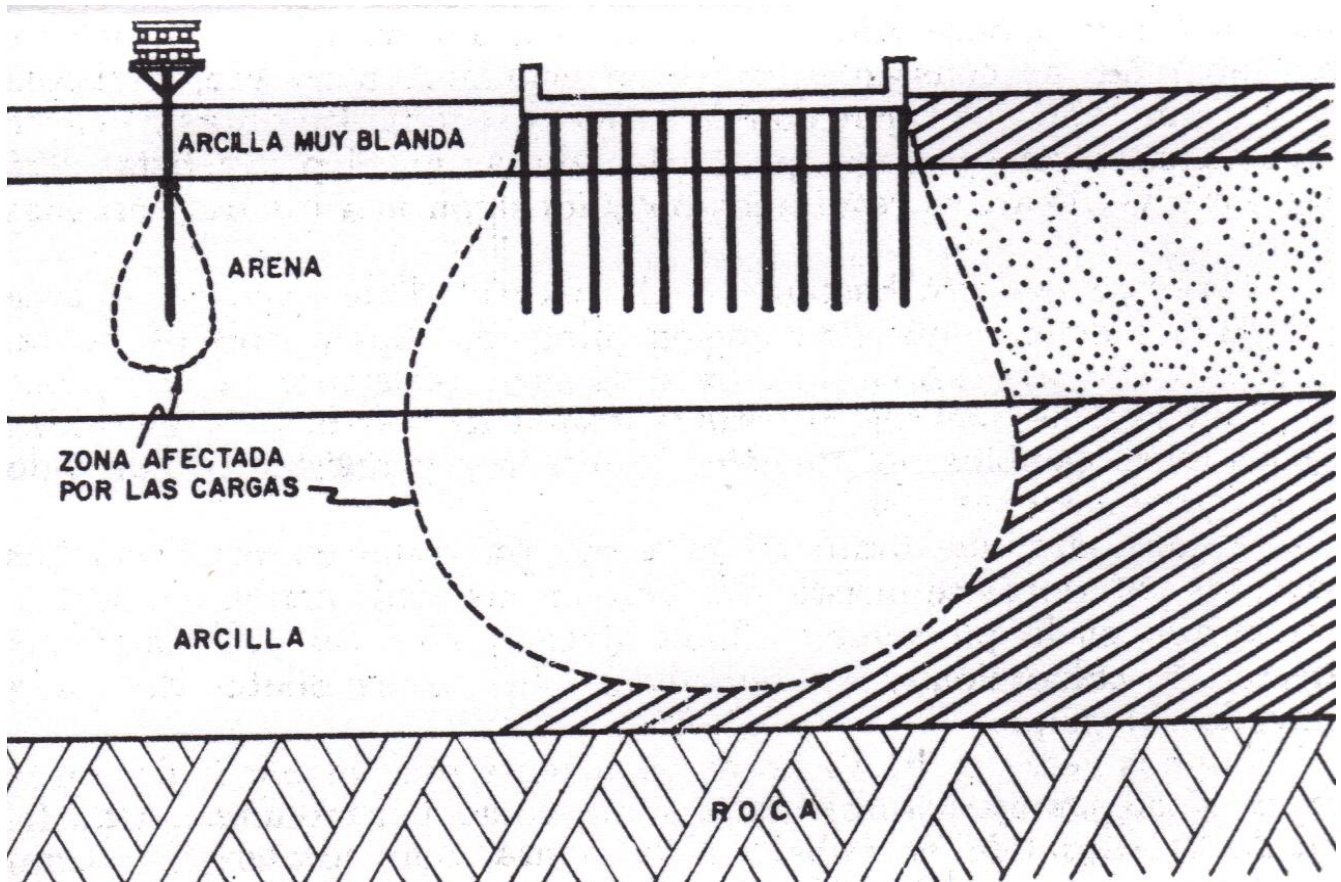


Figura 2.3. Diferencia entre la influencia de un pilote y de un grupo de pilotes en lo referente a asentamientos.

### 2.3.- CIMENTACION CON PILOTES DE FRICCION

Los pilotes de fricción son aquellos que transmiten cargas al suelo principalmente a lo largo de su superficie lateral. En suelos blandos, se usan comúnmente como complemento de un sistema de cimentación parcialmente compensada para reducir asentamientos, transfiriendo parte de la carga a los estratos mas profundos. En este caso, los pilotes no tienen generalmente la capacidad para soportar por si solos el peso de la construcción y trabajan al limite en condiciones estáticas, por lo que no pueden contribuir a tomar sollicitaciones accidentales e inclusive pueden, de acuerdo con la experiencia, perder una parte importante de su capacidad de carga en condiciones sísmicas, por lo que resulta prudente ignorar su contribución a la capacidad de carga global. Opcionalmente, los pilotes de fricción pueden usarse para soportar el peso total de la estructura y asegurar su estabilidad. En este ultimo caso, en suelos blandos en proceso de consolidación como los de las zonas II Y III, la losa puede perder el sustento del suelo de apoyo por lo que resulta prudente considerar que no contribuye a la capacidad de carga global.

En ambos casos, se verifica que la cimentación no exceda los estados límite de falla y de servicio.

#### ESTADO LIMITE DE FALLA

De acuerdo con el tipo de diseño adoptado, la revisión de los estados límite de falla podrá consistir en verificar que resulta suficiente para asegurar la estabilidad de la construcción alguna de las capacidades de carga siguientes:

- 1) Capacidad de carga del sistema suelo - zapatas o suelo – losa de cimentación.

Despreciando la capacidad de los pilotes, se verifica entonces el cumplimiento de la desigualdad.

Para cimentaciones desplantadas en suelos cohesivos:

$$\frac{\Sigma QF_c}{A} < C_u \cdot N_c \cdot F_R + P_v$$

Para cimentaciones desplantadas en suelos friccionantes:

$$\frac{\Sigma QF_c}{A} < \left[ P_v \left( N_q - 1 \right) + 1 \frac{\gamma B N_\gamma}{2} \right] \cdot F_R + P_v$$

Donde:

$\Sigma QF.c$  Es la suma de las acciones verticales a tomar en cuenta en la combinación considerada en el nivel de desplante, afectada por su respectivo factor de carga;

A Es el área del cemento;

$P.v$  Es la presión vertical efectiva a la misma profundidad:

$\rightarrow P_v$  Es la presión vertical efectiva a la misma profundidad

$\gamma$  Es el peso volumétrico del suelo;

$C_u$  Es la cohesión aparente determinada en ensaye triaxial no- consolidado no – drenado;

B Es el ancho de la cimentación;

$N_c$  Es el coeficiente de capacidad de carga dado por;

$$N_c = 5.14 (1 + 0.25 D_f/B + 0.25 B/L)$$

## CIMENTACIÓN A BASE DE PILOTES DE FRICCIÓN

---

Para  $D_f/B < 2$  y  $B/L < 1$ ;

Donde  $D_f$ , es la profundidad de desplante y  $L$  la longitud del cimiento; en caso de que  $D_f/B$  y  $B/L$  no cumplan con las desigualdades anteriores, dichas relaciones se consideraran iguales a 2 y a 1 respectivamente;

Si se adopta este tipo de revisión, la losa o las zapatas y las contratrabes deberán diseñarse estructuralmente para soportar las presiones de contacto

Suelo – zapata o suelo – losa máximas calculadas, más las concentraciones locales de carga correspondientes a la capacidad de carga total de cada pilote dada por la ecuación siguiente con un factor de resistencia  $F_r$  igual a 1.0.

$$C_f = AL f FR$$

Donde

$AL$  Es el área lateral del pilote;

$f$  Es la adherencia lateral media pilote–suelo; y

$FR$  Factor de resistencia.

### 2) Capacidad de carga del sistema suelo- pilotes de fricción

Despreciando la capacidad del sistema suelo – losa, se verifica entonces para cada pilote individual, para cada uno de los diversos subgrupos de pilotes y para la cimentación en conjunto, el cumplimiento de la desigualdad siguiente para las distintas combinaciones de acciones verticales consideradas:

$$\Sigma QFC < R$$

Donde:

$\Sigma QFC$  es la suma de las acciones verticales a tomar en cuenta en la combinación considerada, afectada de su correspondiente factor de carga, las acciones incluirán el peso propio de la subestructura y de los pilotes o pilas y el efecto de la fricción negativa que pudiera desarrollarse sobre el fuste de los mismos o sobre su envolvente.

R es la capacidad de carga que se considera igual a:

- I. Para la revisión de cada pilote individual: a la capacidad de carga de punta del pilote mas la capacidad de adherencia del pilote considerado.
- II. Para la revisión de los diversos subgrupos de pilotes en que pueda subdividirse la cimentación: a la suma de las capacidades de carga individuales por punta de los pilotes mas la capacidad de adherencia de una pila de geometría igual a la envolvente del subgrupo de pilotes; y
- III. Para la revisión de la cimentación en su conjunto: a la suma de las capacidades de carga individuales por punta de los pilotes mas la capacidad de adherencia de una pila geoméricamente igual a la envolvente del conjunto de pilotes.

### 2.4.- CAPACIDAD DE CARGA EN PILOTES DE FRICCIÓN.

La capacidad de carga de los pilotes de fricción no puede calcularse con el uso de formulas dinámicas, ya se ha visto que la resistencia de un pilote bajo el impacto instantáneo puede ser totalmente distinta que la resistencia a largo plazo, bajo carga estática permanente. Por otra parte en arcillas no sensibles, de falla plástica, la resistencia viscosa durante el impacto impide en cierto grado la penetración del pilote, que entraría con mayor facilidad bajo carga estática o lentamente aplicada. En este caso las formulas dinámicas sobreestiman la capacidad de carga de esos pilotes. Como resumen, puede decirse que en ningún caso y bajo ninguna circunstancia pueden usarse formulas dinámicas para calcular la capacidad de carga en pilotes de fricción.

### CAPACIDAD DE CARGA EN ARCILLAS

La capacidad de carga de los pilotes de fricción en arcillas se obtiene valuando la fricción positiva desarrollada a lo largo de la superficie lateral de contacto entre pilotes y suelo. Existen varios criterios para determinar la capacidad de carga, el departamento del Distrito Federal designa la siguiente formula para la determinación de la capacidad de carga como la suma de las capacidades de carga de los pilotes individuales.

La capacidad de carga por adherencia lateral de un pilote de fricción individual bajo esfuerzos de compresión,  $C_f$ , se calcula como:

$$C_f = A_L \cdot f \cdot F_R$$

Donde

$A_L$  es el área lateral del pilote, en  $m^2$ ;

$f$  es la adherencia lateral media pilote–suelo, en  $ton/m^2$ ; y

$F_R$  se tomará igual a 0.7, salvo para pilotes hincados en perforación previa.

Para los suelos cohesivos blandos de las zonas II Y III, la adherencia pilote – suelo se considera igual la cohesión media del suelo. La cohesión se determinara con pruebas triaxiales no consolidadas no drenadas. Sin embargo, es conveniente reducir este valor a la mitad para efectos de diseño, lo que equivale

## CIMENTACIÓN A BASE DE PILOTES DE FRICCIÓN

---

a utilizar un factor de seguridad de dos. Así, si  $f$  es la adherencia entre suelo – pilote se tiene

$$f = c = \frac{q_u}{2} \quad \text{A la falla}$$

$F=c$ = cohesión

$q_u$ = resistencia de la arcilla a la prueba de compresión simple.

Tomlinson ha propuesto, con base en numerosas pruebas, los valores de la adherencia de la tabla siguiente, comparada con la cohesión en diferentes arcillas.

Material del pilote	Consistencia de la arcilla	Cohesión "c" Ton/m <sup>2</sup>	Adherencia "f" Ton/m <sup>2</sup>
Concreto y Madera	Blanda	0 - 4	0 - 3.5
	Firme	4 - 8	3.5 - 4.5
	Dura	8 - 15	4.5 - 7.0
Acero	Blanda	0 - 4	0 - 3
	Firme	4 - 8	3 - 4
	Dura	8 - 15	?

Nótese que la correspondencia entre la adherencia y la cohesión, es muy aproximada en arcillas blandas, se hace menos cuanto mas dura es la arcilla en la que se hincan los pilotes. Esto es debido a que al hincar un pilote en arcilla mas o menos dura tienden a formarse pequeños espacios huecos entre suelo y pilote, con lo que la adherencia promedio disminuye: este efecto, por supuesto no se tiene en arcillas blandas. Los valores de la tabla anterior han probado ser bastante confiables en las aplicaciones prácticas, por lo que deben preferirse el uso de recetas y formulas como las antes mencionadas, cuando la arcilla en que se hincan los pilotes sea dura.

### CAPACIDAD DE CARGA EN ARENAS

La capacidad de carga de pilotes de fricción hincados en arenas sueltas es aun más difícil de estimar actualmente. En estos casos los pilotes nunca trabajan únicamente por fricción lateral y la capacidad de carga por punta siempre juega un papel de importancia. La hincada de los pilotes tiene un efecto compactador en la arena, por lo que, a pesar de tener un manto originalmente suelto, puede volverse muy difícil y aun imposible hincar un pilote cuando en su vecindad se han hincado previamente otros.

La estimación de la capacidad de carga de los pilotes por fricción hincados en arenas es un problema prácticamente no resuelto en el campo teórico. Algunos autores suponen que la fricción lateral sigue una ley lineal a lo largo del fuste, aumentando la fricción con la profundidad; expresan dicha fricción como una fracción de la presión normal por peso propio del suelo que exista en un nivel determinado. Si a la profundidad  $Z$  hay una presión vertical igual a  $\gamma z$ , la presión lateral correspondiente es considerada como:

$$K_o \cdot \gamma \cdot Z$$

Donde

$K_o$  = Es un coeficiente de empuje de tierras varia de 0.40 en arenas sueltas a 0.60 en arenas mas compactadas.

$\gamma$  = peso volumétrico del suelo.

$Z$  = profundidad a la cual se desea conocer el empuje horizontal.

Esta presión actuando normalmente al fuste del pilote produce a lo largo de este y a la profundidad  $Z$  una fricción que vale.

$$f_{fr} = K_o \cdot \gamma \cdot Z \cdot \text{tg}\delta = K' \cdot \gamma \cdot Z$$



## CIMENTACIÓN A BASE DE PILOTES DE FRICCIÓN

---

Donde  $\delta$  es el ángulo de fricción a considerar entresuelo y pilote. El valor de  $K_0$  que frecuente mente se ha mencionado oscila entre 0.4 para las arenas mas sueltas, asta 0.6 en las arenas mas compactas en que sea posible hablar de pilotes de fricción. En cuanto al valor de  $\delta$ , el más frecuente recomendado es  $2/3\phi$ . Además se ha visto que la resistencia de un pilote por fricción lateral en arena varia con muchos factores de influencia muy difícil de cuantificar en un caso dado, de los que los principales son la compacidad y otras características del suelo, la posición del nivel freático y las perturbaciones que se induzcan sobre el pilote, como son hinca de otros, nuevas excavaciones, etc.

Para el cálculo de la capacidad de carga se hace uso de la expresión:

$$C_f := \frac{1}{2} P \left( K_0 \cdot \gamma \cdot L \cdot \tan \delta \right) \cdot L$$

Simplificando la ecuación anterior se tiene:

$$C_f := \frac{1}{2} \cdot P \cdot K_0 \cdot \gamma \cdot L^2 \cdot \tan \delta$$

Donde

$C_f$ = capacidad de carga por fricción, en ton.

$P$ =perímetro del pilote

$L$ = longitud del pilote

Los demás componentes de la expresión tienen el mismo significado enunciado anteriormente.

Cuando se emplee la ecuación para evaluar la fricción se usara un factor de seguridad de 3 o 4, empleándose este como una guía para el diseño de la cimentación, recomendándose efectuar pruebas de carga para obtener valores más reales.

## **CAPITULO III**

# **“HINCA DE PILOTES”**

## CAPITULO III HINCA DE PILOTES

### 3.1.- EQUIPO PARA HINCAR PILOTES

#### GRUAS

Son maquinas que sirven para el levantamiento y manejo de objetos pesados, contando para ello con un sistema de malacates que acciona a uno o varios cables, montados sobre una pluma y cuyos extremos terminan en ganchos.

Para facilitar su función, la unidad motriz y los diferentes mecanismos de la maquina le permiten girar alrededor de un eje vertical y a la pluma moverse en un plano vertical.

Pueden ser fijas o móviles. Cuando la grúa es móvil, puede trasladarse por si misma, sobre orugas o ruedas disponibles para tal fin.

Las plumas de las grúas pueden ser rígidas cuando están formadas por estructuras modulares (de tubo o de ángulo estructural), o bien telescópicas cuando están formadas por elementos prismáticos que se deslizan unos dentro de otros.

Las plumas rígidas se integran por una base que se apoya mediante articulación en el cuerpo de la grúa; después pueden colocarse módulos de 1.5m a 6.1m de largo y finalmente una nariz en cuyo extremo superior se ubican las poleas por donde pasan los cables procedentes de los tambores de los malacates como se muestra en la figura 3.1. Para la construcción de cimentaciones profundas se usa generalmente grúas móviles con pluma rígida.

Para el montaje de equipos de perforación o hincado, usualmente se requieren grúas de 45 a 80 toneladas de capacidad nominal, con plumas rígidas de 18.3 m de largo.

Para la maniobras se emplean grúas de menor capacidad nominal, aunque superior a 15 toneladas. Las condiciones del terreno dictaminan la conveniencia de que estén montadas sobre neumáticos o sobre orugas.

## CIMENTACIÓN A BASE DE PILOTES DE FRICCIÓN

---

El uso de grúas telescópicas para construcción de pilas, es poco recomendable, por su ineficiente manejo de armados y tuberías de colado.

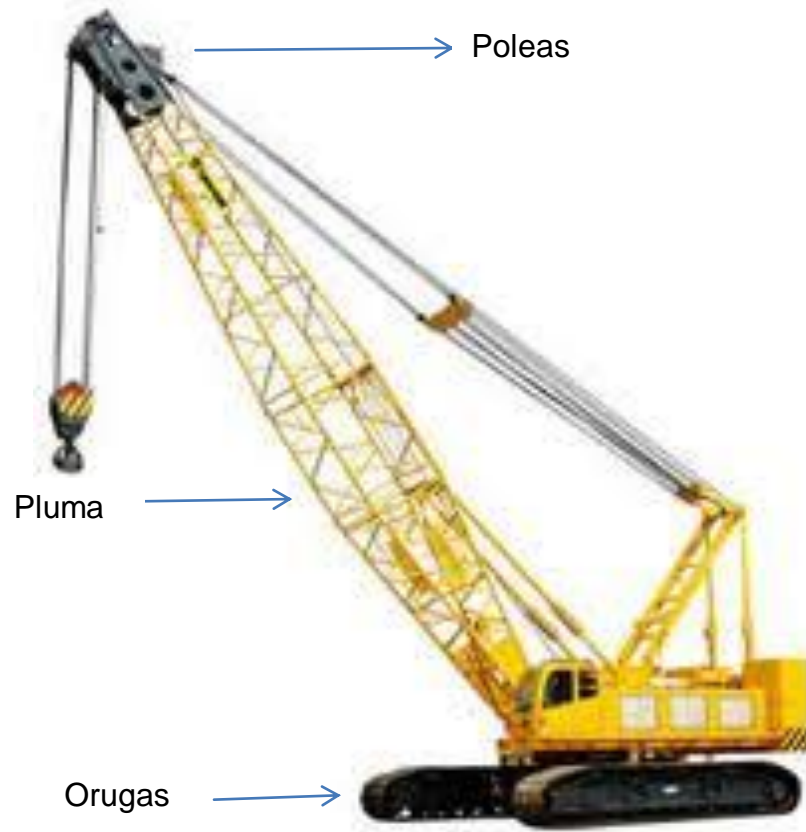


Fig. 3.1. Esquema de una grúa sobre orugas.

### PERFORADORAS

Son maquinas para hacer barrenos en el suelo por rotación o por percusión.

En el caso de las rotatorias, la torsión se transmite por medio de una barra en cuyo extremo inferior se coloca una herramienta de avance tal como una broca, un bote cortador, una hélice. La barra se hace girar con algún mecanismo, o bien se levanta y se deja caer sobre el fondo de la perforación, lo cual da lugar a que las perforadoras sean rotatorias o de percusión, respectivamente.

#### 1) Perforadoras rotatorias

Para la construcción de cimentaciones profundas, se emplean generalmente dos tipos de perforadoras con sistema rotatorio:

- Con barretón o Kelly de perforación; ya sea montada sobre orugas, sobre grúa o sobre camión, como se muestra en las figuras 3.2, 3.1.3 y 3.1.4. En este caso, el Kelly puede ser de una sola pieza o bien telescópico de varias secciones, con el cual se extrae de manera intermitente el suelo perforado.

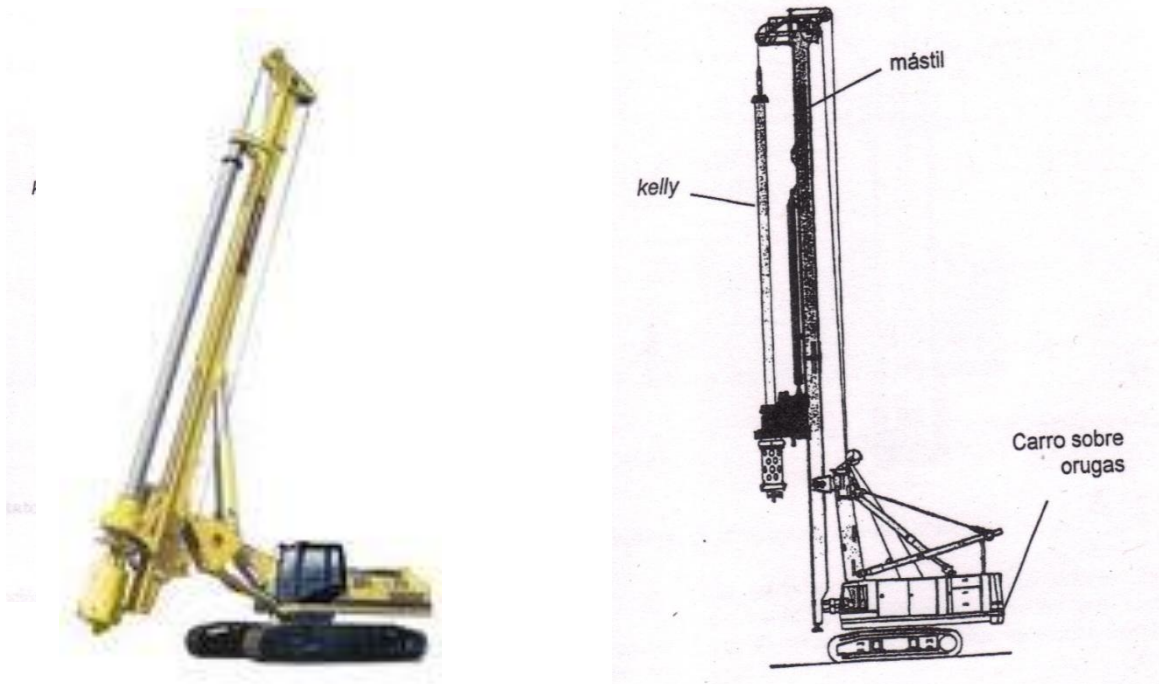


Fig. 3.2. Perforadora rotatoria montada sobre orugas.

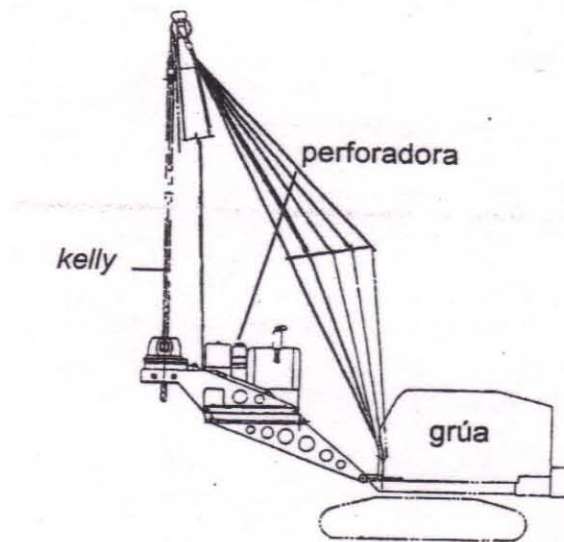


Fig. 3.3 Perforadora rotatoria montada sobre grúa.

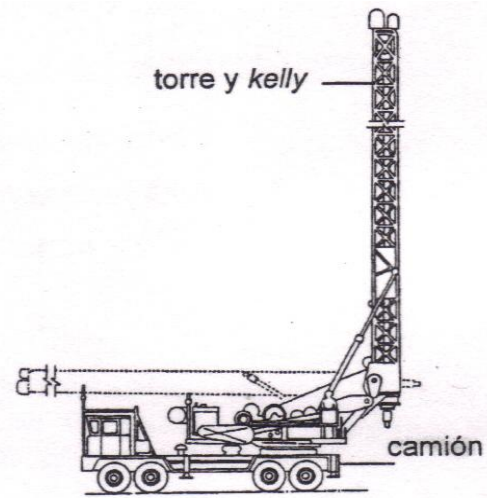


Fig. 3.4. Perforadora rotatoria montada sobre camión.

- Con hélice continua, montado sobre grúa o sobre orugas figura 3.5, el suelo se extrae de manera continua, conforme se perfora el suelo.

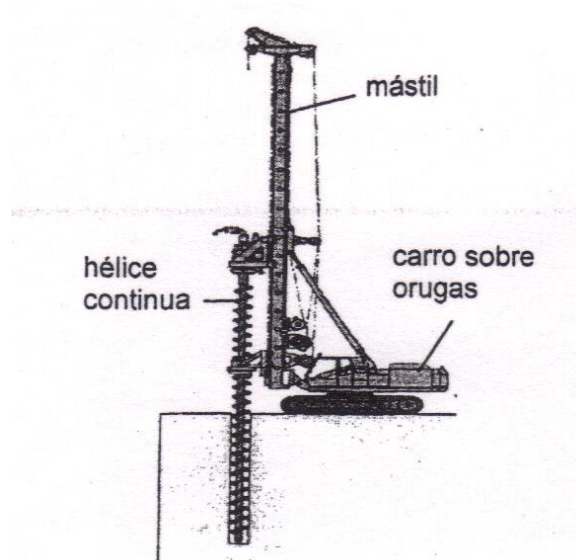


Fig. 3.5. Perforadora de hélice continua.

- Circulación inversa, este tipo de perforadora se emplea generalmente para la construcción de pilas, estos equipos pueden perforar profundidades mayores a 100 m como se muestra en la figura 3.6.

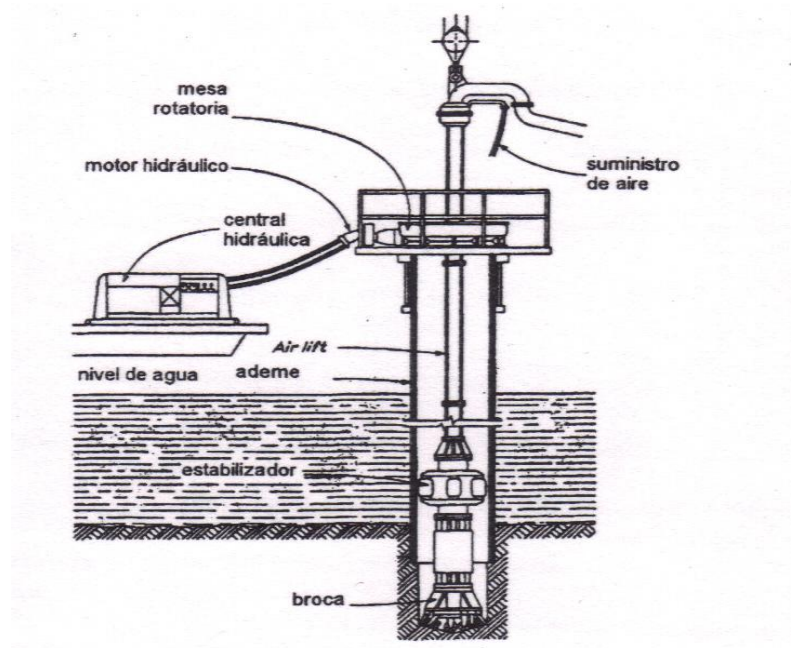


Fig.3.6.Perforadora rotatoria de circulación inversa.

La selección de la perforadora más adecuada para un proyecto dado, dependerá de las características que presenten los materiales del lugar, así como del diámetro y profundidad de las perforaciones por realizar, el uso de ademe metálico o lodos bentoníticos, entre otros.

A continuación se muestra una lista de las perforadoras comunes en la construcción de cimentaciones profundas.



## CIMENTACIÓN A BASE DE PILOTES DE FRICCIÓN

Grúas móviles sobre orugas.

MARCA	MODELO	CAPACIDAD (t)	PESO (t)	MARCA	MODELO	CAPACIDAD (t)	PESO (t)
American	599C	36.29	-	Liebherr	HS 833 HD	40	39.6
	5299	45.36	-		HS 843 HD	60	56.8
	7220	45.36	-		HS 853 HD	80	81.2
	5299A	54.4	-		HS 873 HD	90	96.4
	5300	63.5	-		HS 883 HD	120	109.4
	7225A	77.25	-	Manitowoc	222	90.7	74.52
	7260	90.7	-		777 S-1	153.5	113.4
	9260	113.5	-		777 S-2	160	150.14
	9270	136.08	-		888 S-1	196.8	154.08
	A100HC	100	-		888 S-1	208.6	189.98
	A1500HC	167.8	-		3900 W S-2	127	118.94
	Bauser	BS640	40		40	3950 W	136
BS650		50	50		3950 D	136	143.4
BS660		60	65	4100 W S-1	181.4	166.28	
BS680		80	80	4100 W S-2	208.6	204.38	
BS6100		110	90	4100 W S-3	217.7	218.64	
BS6120		120	100	P & H	670 WCL	70	-
BS6180		180	160		550	50	-
Bucyrus Erie	22B	12	19.3	5060	60	50.52	
	38B	-	-	5100	100	78.37	
	54B	-	-				
	61B	66.5	67.3				
Casagrande	C20	20	22				
	C40	40	35.6				
	C50	50	48.65				
	C60	60	63.7				
	C90	95	83.8				
Link- Belt	LS68	13.61	17.67				
	LS98	24.49	27.7				
	LS108-B	40.82	38.4				
	LS108-D	45.36	38.04				
	LS118	54.43	54.7				
	LS318	72.58	63.3				
	LS418A	99.77	92.02				
	LS138-H	68.04	55.92				
	LS208-H	68.04	58.97				

## CIMENTACIÓN A BASE DE PILOTES DE FRICCIÓN

Perforadora de barretón o Kelly telescópico.

MARCA	MODELO	TIPO	PAR Kg - m	DIAMETRO Máx. (m)	PROFUNDIDAD Max. (m)
BSP (UK)	TCA 75	s / grúa	8,300	2.5	30
	TCA 110	s / grúa	16,445	3	65
Bauer (Alemania)	BG 9	s / oruga	9,486	1.2	40
	BG 14	s / oruga	14,280	1.8	55
	BG 22 H	s / oruga	22,440	1.8	57
	BG 22 H	s / oruga	25,500	1.9	68
	BG 22 S	s / oruga	22,440	3	57
	BG 30	s / oruga	37,434	3	63
	BG 40	s / oruga	37,434	3	88
	BG 50	s / oruga	37,434	3	83
Bay Shore System (EU)	LMP-30	s / oruga	1,244	0.9	9
	LMP-50	s / oruga	1,244	0.9	15
	LM-30	s / oruga	2,073	1.2	9
	LM-50	s / oruga	2,073	1.2	15
	LLM-40	s / oruga	3,317	1.8	13
	DH-60	s / oruga	8,290	1.8	22
	DH-100	s / oruga	13,820	3.65	30
Calweld (EU)	125 CH	s / grúa	17,300		opcional
	155 CH	s / grúa	21,200		opcional
	400 CH	s / grúa	55,300		opcional
	150C	s / camión		2	21
	175 C	s / camión		2	26
	200 C	s / camión		3	26
	275 C	s / camión		3.35	26
	42 LH	s / camión		2.1	30
	45 LH	s / camión		2.4	30
	52 LH	s / camión		3	30
	520 LH	s / camión		3.3	35
	5200 LH	s / camión		3.5	52
	ADL	s / camión	9	1.8	30
ADM	s / camión	9	1.5	18	
Casagrande (Italia)	CBR 120	s / grúa	12,000	1.5	32
	Ca-drill 12	s / grúa	9,600	2	80
	Ca-drill18	s / grúa	12,000	2.5	80
	Ca-drill22	s / grúa	22,000	2.5	54
	B10 HS	s / oruga, ca	10,000	1.5	35
	B12 HS	s / oruga, ca	12,200	1.8	45
	B18 HS	s / oruga	18,300	2	73
	B26 HS	s / oruga	26,500	2	73

## CIMENTACIÓN A BASE DE PILOTES DE FRICCIÓN

Perforadora de barretón o Kelly telescópico.

MARCA	MODELO	TIPO	PAR Kg - m	DIAMETRO Max (m)	PROFUNDIDAD Max (m)
Delmag (Alemania)	RH 0610	s / oruga	6,100	0.9	12
	RH 0912	s / oruga	9,170	1.3	22
	RH 1423	s / oruga	14,250	1.3	22
	RH 1413	s / oruga	14,250	1.8	23
	RH 2813	s / oruga	28,500	1.8	23
	RH 1433	s / oruga	14,250	1.8	23
	RHV 2237	s / oruga	22,400	2.2	36
	RHV 3037	s / oruga	30,550	2.4	36
IMT (Italia)	AF 6	s / oruga	6,300	1.2	32
	AF 10	s / oruga	10,200	1.5	42
	AF 12	s / oruga	11,600	1.7	42
	AF 16	s / oruga	18,500	2	64
	AF 18	s / oruga	18,400	2	64
	AF 25	s / oruga	28,000	2.5	70
	AF 30J	s / oruga	36,000	3	80
Liebherr (Alemania)	LD 22	s / grúa	22,440	1.5	50
	LD 25	s / grúa	25,500	2	70
Llamada (España)	P-50	s / oruga	2,265	0.6	16
	P-100TT	s / oruga	15,400	1	35
Mait (Italia)	HR-45	s / oruga	4,605	1	32
	HR-110	s / oruga	13,000	1.8	48
	HR-130	s / oruga	13,140	1.8	48
	HR-160	s / oruga	18,000	2	60
	HR-200	s / oruga	22,000	2.3	80
Rev- drill (EU)	S-1	s / oruga	553	0.6	3.65
	S-2	s / oruga	829	0.76	6.1
	S-3	s / oruga	1,106	0.9	8.5
	S-4	s / oruga	1,380	1.06	10.6
	S-5	s / oruga	1,658	1.22	12.2

## CIMENTACIÓN A BASE DE PILOTES DE FRICCIÓN

Perforadora de barretón o Kelly telescópico.

MARCA	MODELO	TIPO	PAR Kg - m	DIAMETRO Max (m)	PROFUNDIDAD Max (m)
Watson (EU)	1500	s/org,cam	7,800	1.2	27
	2500	s/org,cam	11,200	2	27
	3100	s/org,cam	13,800	2.4	36.5
	5000 CA	s / grúa	13,800	2.5	opcional
Soilmec (Italia)	RTA/S	s/camión	10,500	1.5	35
	RTC-C	s/grúa	11,300	1.6	78
	RT3-S	s/grúa	21,000	2.2	78
	R-16	s / oruga	16,000	2	60
	R-15	s / oruga	15,600	2	60
	R-10	s / oruga	10,000	1.5	46
	R-6	s / oruga	6,100	1.2	34
	CM-39	s / oruga	9,700	1.5	34
CM-35	s / oruga	6,100	1.2	34	
Texoma (EU)	270	s/camión	3,317	1.4	6.8
	330	s/camión	5,730	1.8	7.6
	500	s/camión	5,730	1.8	10.6
	600	s/org,cam	5,660	1.8	10.6
	700	s/org,cam	7,460	1.8	18.3

Perforadora de hélice continúa.

MARCA	MODELO	TIPO	PAR Kg - m	DIAMETRO Max (m)	PROFUNDIDAD Max (m)
Soilmec	R-16	s / oruga	16,00	1.1	21.5
	R-15	s / oruga	15,60	1	21.5
	CM-42	s / oruga	4,80	0.7	15
	CM-46	s / oruga	6,20	0.8	21
	CM-49	s / oruga	8,85	0.95	23.5
	HY-40	s / grúa	3,20	0.6	32
	HY-41	s / grúa	4,50	0.8	32
	HY-42	s / grúa	6,10	0.8	32
	HY-43	s / grúa	9,30	0.9	32

## CIMENTACIÓN A BASE DE PILOTES DE FRICCIÓN

Perforadora de hélice continúa.

MARCA	MODELO	TIPO	PAR Kg - m	DIAMETRO Max (m)	PROFUNDIDAD Max (m)
APE	50	s / grúa	6,91	0.6	30
	75	s / grúa	9,68	0.6	30
Bauer	BG 9	s / oruga	9,48	0.6	9.6
	BG 14	s / oruga	14,28	0.9	14.9
	BG 22 H	s / oruga	22,44	0.9	12.6
	BG22	s / oruga	25,50	0.9	16.5
	BG 22 S	s / oruga	22,44	0.9	15.3
	BG 30	s / oruga	37,43	1.2	21.6
	BG 30	s / oruga	37,43	1.2	22
Casagrande	LH-CFA 17	s / oruga	9,99	0.6	17
	HD-CFA 21	s / oruga	9,99	0.8	21
	HD-CFA 24	s / oruga	9,99	1	24
Delmag	RH 0610	s / oruga	6,11	0.45	9
	RH 0912	s / oruga	9,16	0.75	15
	RH 1423	s / oruga	14,26	0.9	18
	RH 1413	s / oruga	14,26	0.9	19
	RH 2813	s / oruga	28,51	1.2	19
	RH 1433	s / oruga	14,26	0.9	19
	RHV 2237	s / oruga	22,40	1	27
	RHV 3037	s / oruga	30,55	1.3	25
	RHV 4037	s / oruga	40,74	1.5	22
IMT	AF 6	s / oruga			
	AF 10	s / oruga			
	AF 12	s / oruga	6,00	0.8	19
	AF 16	s / oruga	10,00	1	23
	AF 18	s / oruga			
	AF 25	s / oruga			
MKT	HA-18	s/grúa	2,56		
	HVA-36	s/grúa	4,98		

### 2) Perforadoras por percusión

Las perforadoras por percusión, a través de un sistema que puede ser mecánico neumático o hidráulico, transmiten una serie rítmica de impactos al material por perforar, por medio de un elemento de corte o ataque, llamado martillo de fondo. Su aplicación principal es en rocas, ya que en suelos se reduce su eficiencia. Para cimentaciones profundas, puede alcanzar hasta 100cm de diámetro, como se indica en la tabla siguiente.

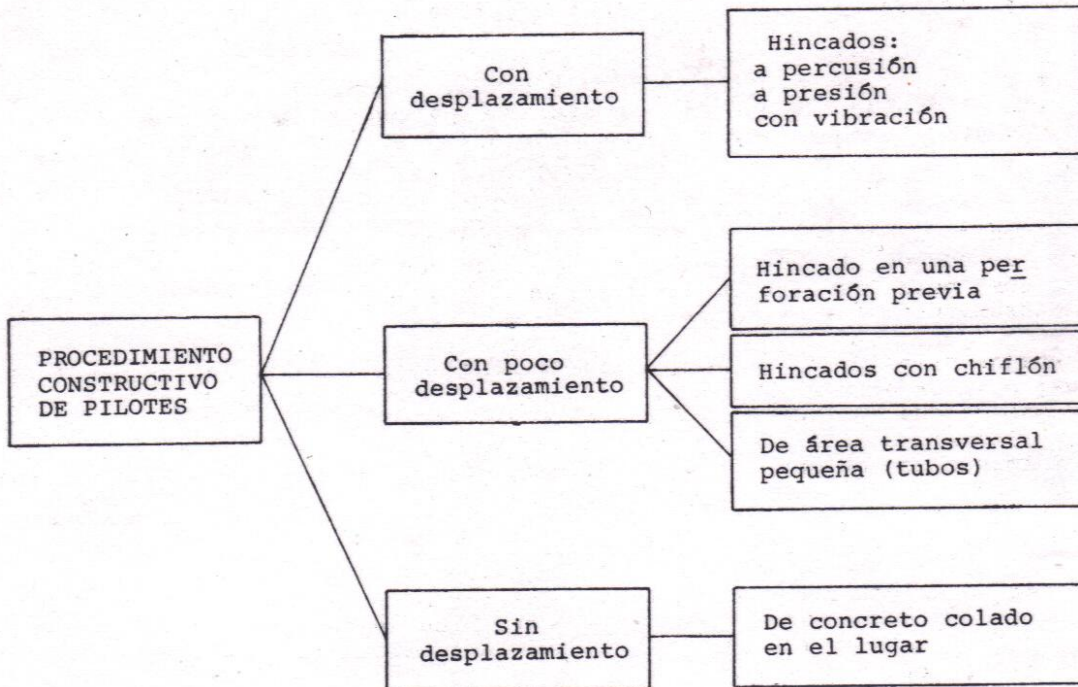
#### Características de martillos de fondo

MODELO	DIAMETRO DE PERFORACIONES cm	PESO DEL MARTILLO Kg	FRECUENCIA DE OPERACIÓN GOLPES/MIN	CONSUMO DE AIRE* L/S
Champion 180	45 - 61	1492	950	944
Champion 240	61 - 86	2488	925	1322
Champion 330	83 - 109	5707	925	2454

\*operando con una presión de  $10.2 \times 10^5$  Pa

## 3.2.-CLASIFICACION DE LOS PILOTES SEGÚN SU PROCESO CONSTRUCTIVO.

Se han desarrollado numerosos procedimientos constructivos para fabricar y posteriormente instalar en el lugar o para fabricar en el sitio mismo pilas y pilotes; la característica fundamental que los diferencia es que durante su construcción se induzca o no desplazamiento del suelo que los rodea; debe observarse que las pilas siempre se fabrican de concreto simple o reforzado, colado en el sitio en una perforación previamente realizada y por ello caen únicamente dentro del tipo de sin desplazamiento. En cambio los pilotes pueden ser: con desplazamiento cuando desplazan un volumen de suelo igual al del pilote al ser hincados, con poco desplazamiento, que pueden ser pilotes hincados en una perforación previa de menor área que la del pilote mismo.



### Con desplazamiento.

#### a. Pilotes hincados a percusión:

Este procedimiento es el de uso mas difundido y consiste en hincar a percusión los pilotes con ayuda de un martillo de impacto, los factores significativos que deben considerarse son:

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

Usualmente el pilote se sostiene verticalmente (fig.3.7.) o con la inclinación necesaria (fig.3.8) con una estructura guía en la que desliza el martillo durante la maniobra. Cuando debido a su longitud el pilote no puede manejarse en un solo tramo, se hinca en dos o mas de ellos, unidos con una junta rápida o con placas prefijadas en lo extremos que se sueldan durante el hincado.

Cuando no es posible una estructura guía de hincado por restricciones de espacio disponible o en obras fuera de costa, se puede usar una guía colgante sostenida por la pluma de una grúa y unos cables (fig. 3.9 ).

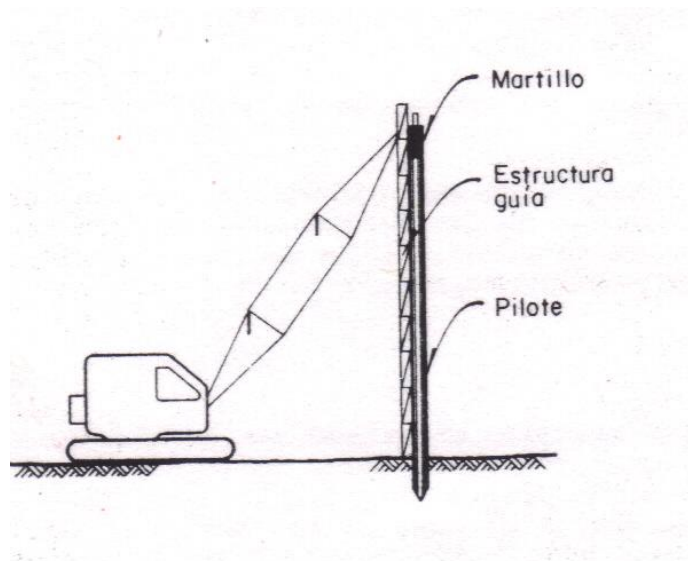


Fig. 3.7. Pilote hincado vertical



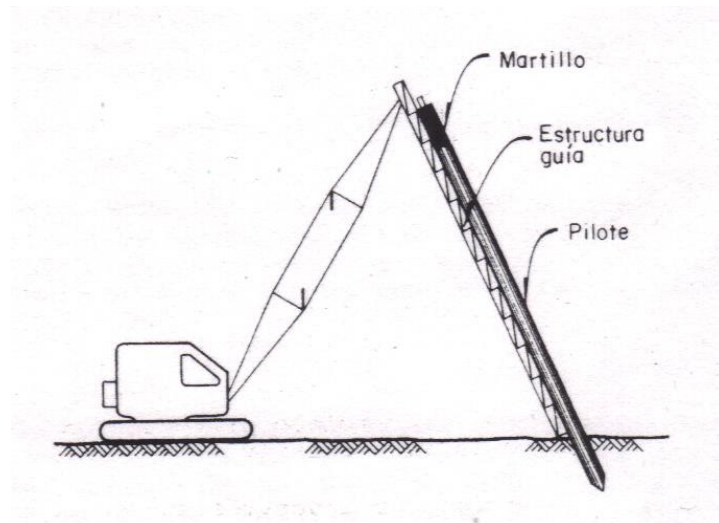


Fig. 3.8. Pilote hincado inclinado.

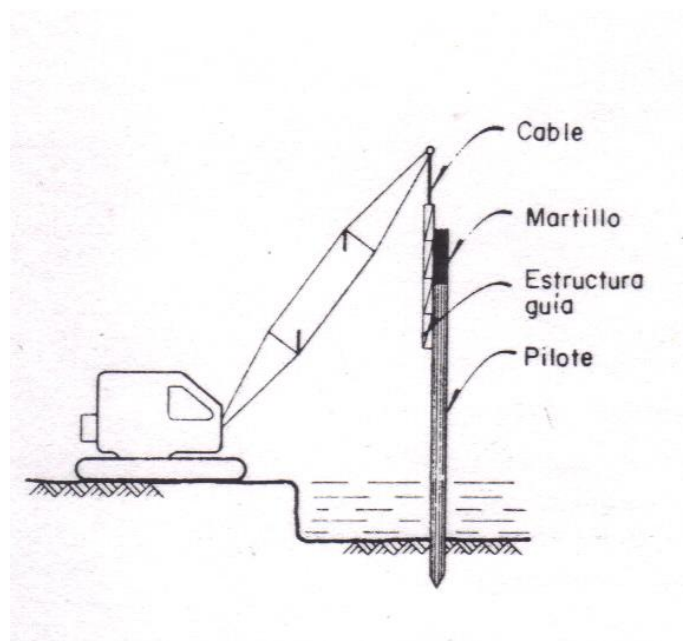


Fig. 3.9. Pilote hincado con guía colgante.

### b. Pilotes hincados a presión:

Estos pilotes se fabrican de concreto en tramos de sección cilíndrica de 1.5 m 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 colando los tramos del pilote (fig. 3.10).

Cuando se alcanza la presión máxima del proyecto se tensa el cable central de acero de refuerzo y se rellena el hueco con concreto. La reacción del sistema de carga usualmente se absorbe con lastre colado en una plataforma.

Este procedimiento ha sido empleado con frecuencia para recimentaciones, por que la reacción del sistema de carga se soporta con el peso de la estructura y por ello se puede realizar en espacios verticales muy reducidos.

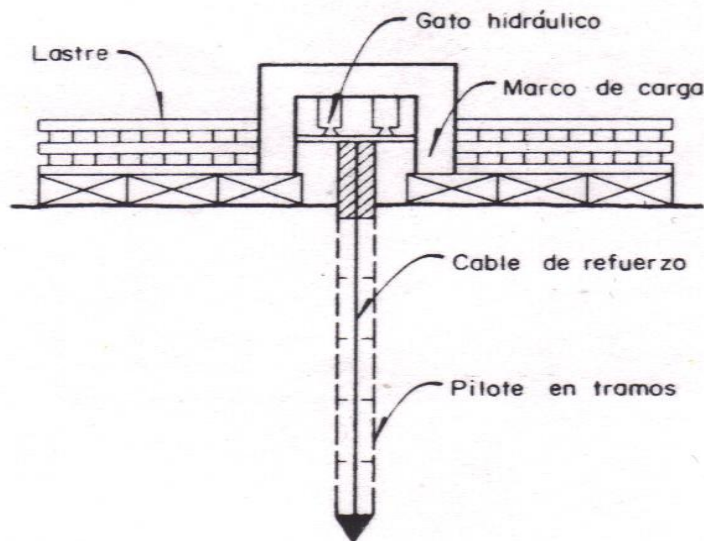


Fig. 3.10. Pilote hincado a presión.

### c. Pilotes hincados con vibración:

Esta técnica se emplea en suelos granulares y consiste en excitar al pilote con un vibrador pesado de frecuencia controlada, formado por una carga estática y un par de contrapesos rotatorios excéntricos en fase. El pilote penetra en el suelo por influencia de las vibraciones y del peso del conjunto pilote – vibrador – lastre (fig. 3.11)

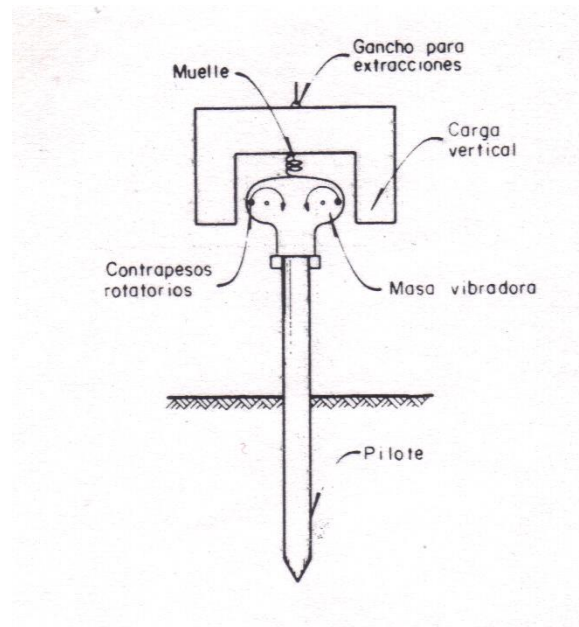


Fig. 3.11. Pilote hincado con vibración.

### Con poco desplazamiento.

#### a. Pilotes hincados en una perforación previa:

Todos los pilotes hincados descritos en los párrafos anteriores como pilotes de desplazamiento, se transforman en pilotes de poco desplazamiento si antes de hincarlos se realiza una perforación previa (fig. 3.12), esta puede requerir ser estabilizada con lodo de perforación, que en el caso de suelos arcillosos blandos se puede formar con el mismo suelo, mezclándolo con agua previamente agregada, o en todo caso a base de bentonita y agua.

Esta técnica se utiliza:

- Cuando el hincado de los pilotes sin perforación previa induce deformaciones que reduce la resistencia al esfuerzo cortante del suelo
- Cuando el pilote debe atravesar estratos duros que dificulten su hincado y por ello, pueda llegar a dañarse estructuralmente.
- Cuando el número de pilotes por hincar es alto y la suma de sus desplazamientos puede provocar el levantamiento del terreno.

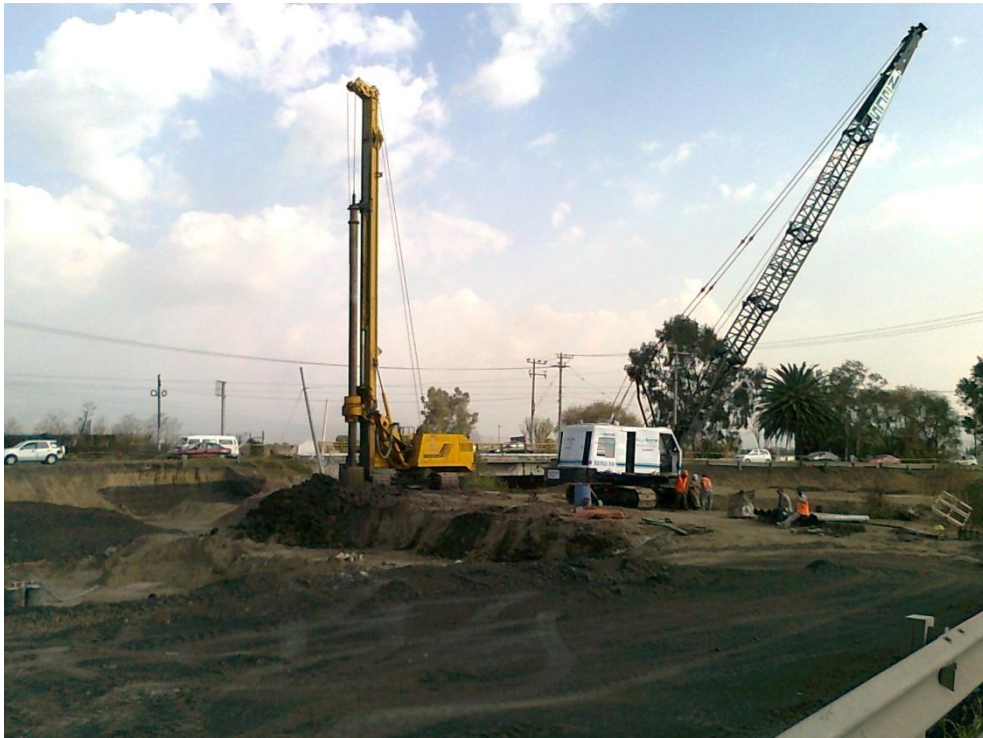


Fig. 3.12. Pilote hincado con una perforación previa.

### b. Pilotes hincados con chiflón:

Este procedimiento se utiliza para disminuir el volumen del suelo desplazado durante el hincado de pilotes en arenas; 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 con los impactos de un martillo o la excitación de un vibrador para movilizar el pilote (fig. 3.13 y fig. 3.14). Adicionalmente, se puede agregar aire a presión para facilitar la extracción del agua.

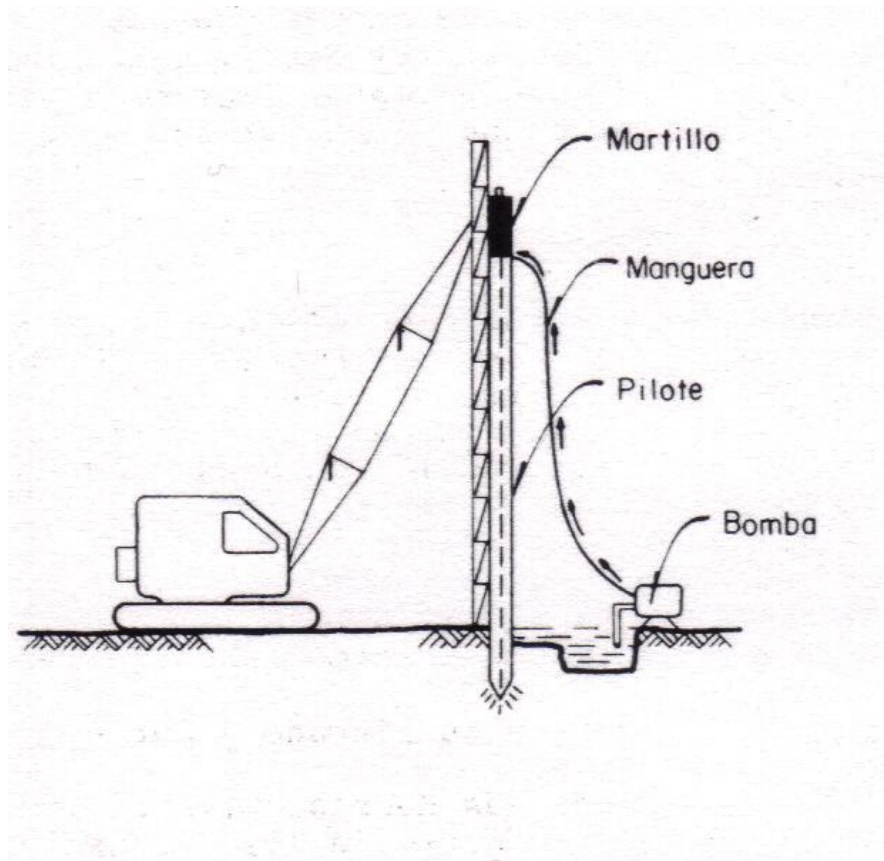


Fig.3.13. Pilote hincado con chiflón.

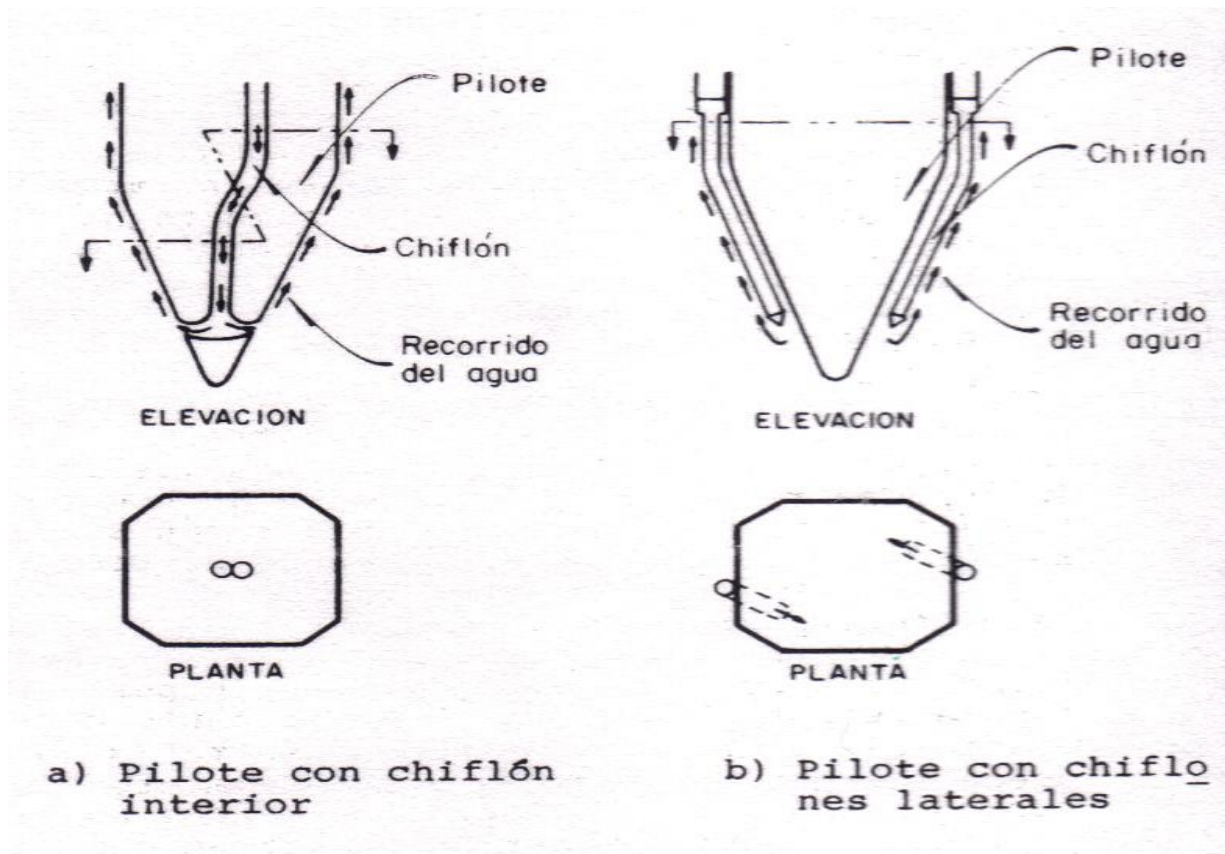


Fig.3.14. Ubicación de chiflones en la punta de los pilotes.

Como el chorro de agua afloja el suelo, corrientemente se interrumpe antes que el pilote alcance su posición final y los últimos decímetros de la penetración se hacen con el martillo solamente. Si se usa demasiada agua el chorro puede aflojar los pilotes que se hayan hincado previamente. El chiflón de agua beneficia grandemente la hinca en arena compacta, pero su ayuda es pequeña en arcillas.

A continuación se muestra una tabla para la cantidad de agua necesaria para chifloneo.

CANTIDAD DE AGUA NECESARIA PARA CHIFLONEO	
SUELO	GASTO, L/S
Arena fina	15 - 25
Arena gruesa	25 - 40
Grava arenosa	45 - 600

### c. Pilotes de área transversal pequeña:

Se acostumbra clasificar como pilotes con poco desplazamiento a los de perfiles de acero por que la relación de su perímetro al área transversal es hasta 15 veces mayor que en pilotes de concreto, estos pilotes pueden ser de desplazamiento cuando por falta de control se forma un tapón de suelo cercano a la punta entre los patines, que avanza con el hincado.

### **Sin desplazamiento.**

#### **a. Pilotes y pilas de concreto colado en el lugar:**

Los pilotes y pilas colados en el lugar se clasifican como elementos de cimentación sin desplazamiento por que para su fabricación se extrae un cierto volumen de suelo que después es ocupado por el concreto.





### 3.3.-TIPOS DE PILOTES COLADOS EN EL LUGAR

#### PILOTES COLADOS EN EL LUGAR

Existe una gran variedad de tipos de pilotes colados en el lugar en el cual van a cumplir el cometido de sustentar la superestructura, para que en esta existan buenas condiciones de servicio. Este tipo de pilotes se clasifican de acuerdo a los procedimientos que se empleen para su construcción, que comprenden la excavación de perforaciones ademadas o no ademadas que posteriormente se rellenan de concreto.

Los pilotes con ademe se usan cuando la excavación tiende a cerrarse por el derrumbe de las paredes de la excavación previa a la construcción del pilote, los pilotes sin ademe se usan en caso contrario. Existe entre los pilotes con ademe dos clases que son: con ademe permanente y con ademe únicamente durante el tiempo de construcción del pilote.

#### PILOTES SIN ADEME PERMANENTE

##### a) Pilote MacArthur de concreto comprimido.

Este pilote puede construirse hasta un diámetro del orden de 60 cm en forma satisfactoria a través de cualquier suelo, siempre que no ceda lateralmente cuando el concreto sea presionado:

El equipo de construcción comprende un ademe tubular y un embolo que ajusta bastante bien en su inferior. El procedimiento de construcción es el siguiente:

En primer lugar se hinca el ademe circular con el embolo bajado hasta su parte inferior: logrado el nivel deseado, se retira el embolo y se rellena el ademe de concreto; en seguida, se extrae el ademe por tracción, asegurando al concreto con el peso del embolo, para evitar que sea arrastrado hacia fuera, como se muestra en la figura 3.15.

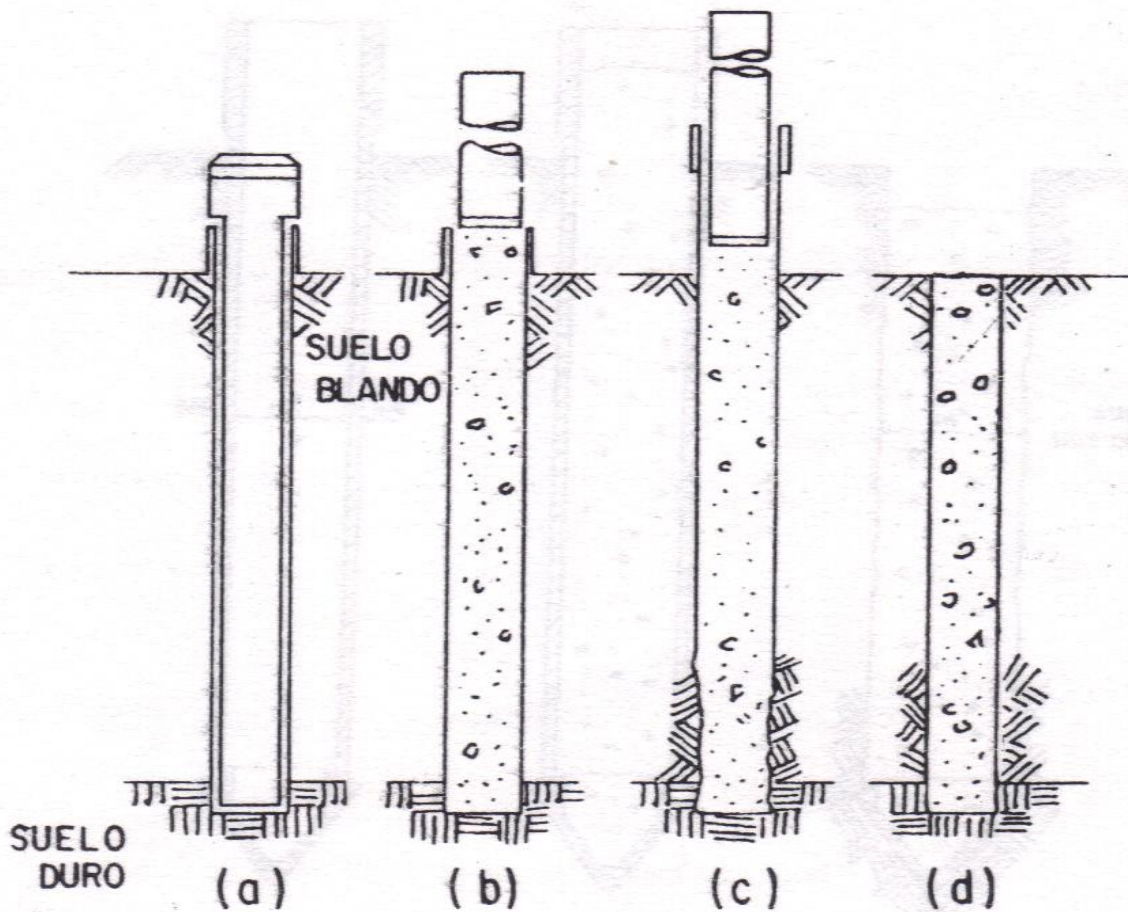


Fig. 3.15. Pilote MacArthur

### b) Pilotes de concreto comprimido con base amplia.

Estos pilotes tienen ventaja en lugares en que el estrato resistente es relativamente delgado y no es muy profundo; la base ampliada da menores esfuerzos de contacto, haciendo el papel de una zapata. También son útiles para lograr un buen apoyo en estratos de roca muy inclinada.

El equipo utilizado incluye un ademe tubular hueco, con un embolo interior que ajuste bien con el. La operación para formar al pilote es la siguiente,

Se hinca el ademe con el embolo metido hasta el fondo; a continuación se levanta el embolo hasta retirarlo del ademe y se rellena este hasta una cierta altura, asegurando el concreto con el embolo y se rehínca el ademe, con el embolo de nuevo llevándolo hasta el fondo, a través del concreto fresco, con lo que se

## CIMENTACIÓN A BASE DE PILOTES DE FRICCIÓN

produce la ampliación de base característica de estos pilotes. Se retira ahora otra vez el embolo y se rellena de concreto todo el ademe. Finalmente se retira el ademe con presión hacia arriba, a la vez que con el embolo se da sobre el concreto la suficiente contrapresión hacia abajo para garantizar que el concreto no sea arrastrado y que el pilote resulte bien conformado como se muestra en la figura 3.16.

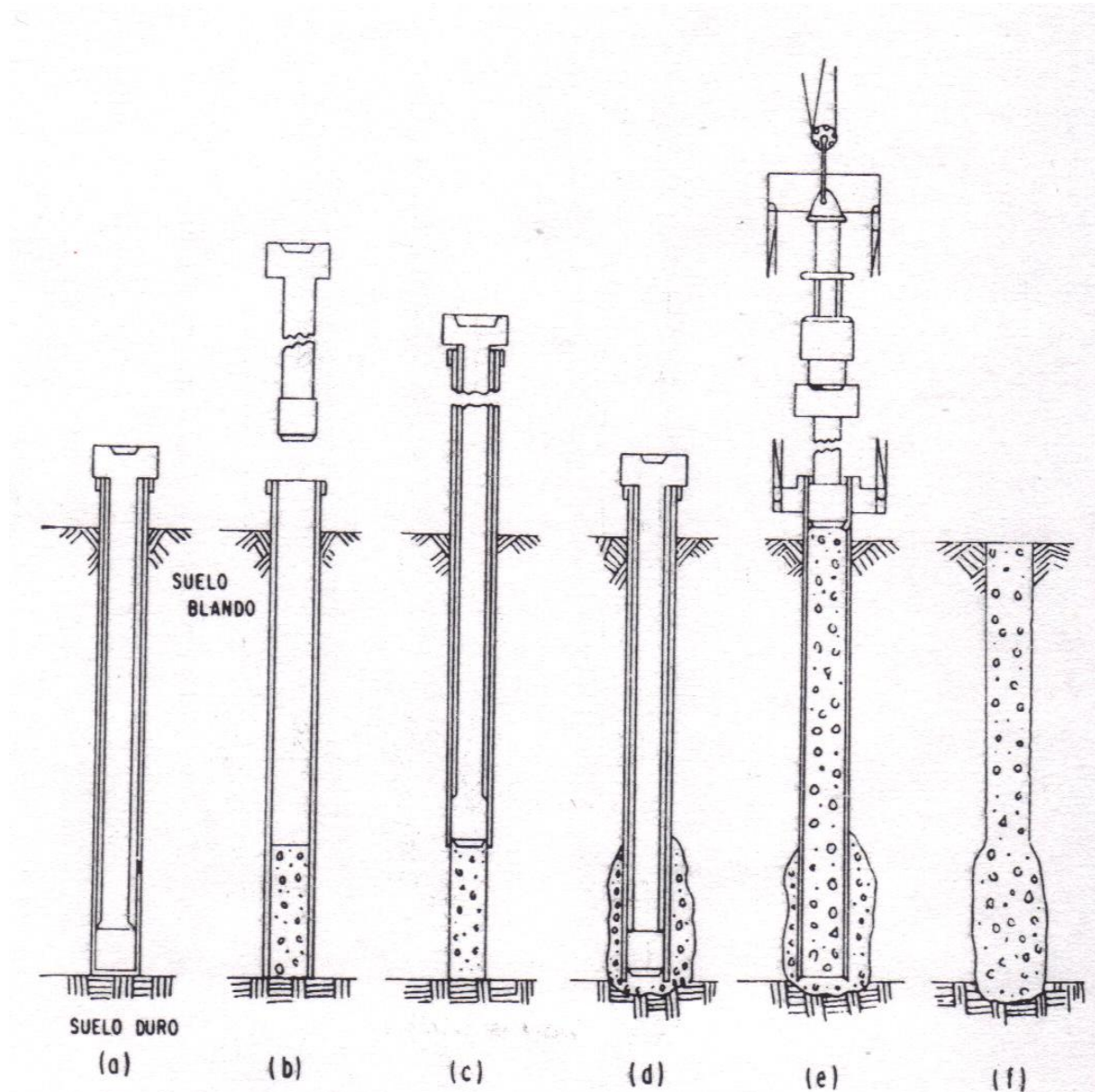


Fig. 3.16. Pilote de concreto comprimido de base amplia

### c) Pilote Simplex.

Este tipo de pilote se puede hincar en suelos blandos o relativamente duros. Para la fabricación de estos pilotes se requiere que al retirar el ademe quede formado un buen molde para el vaciado de concreto, por lo que deberá colocarse un ademe interior ligero en el caso de que la consistencia del suelo no garantice dicho molde. La punta del dispositivo de hincado queda en el suelo sin que pueda recuperarse. En la figura 3.17 se muestra esquemáticamente la operación de construcción de este pilote.

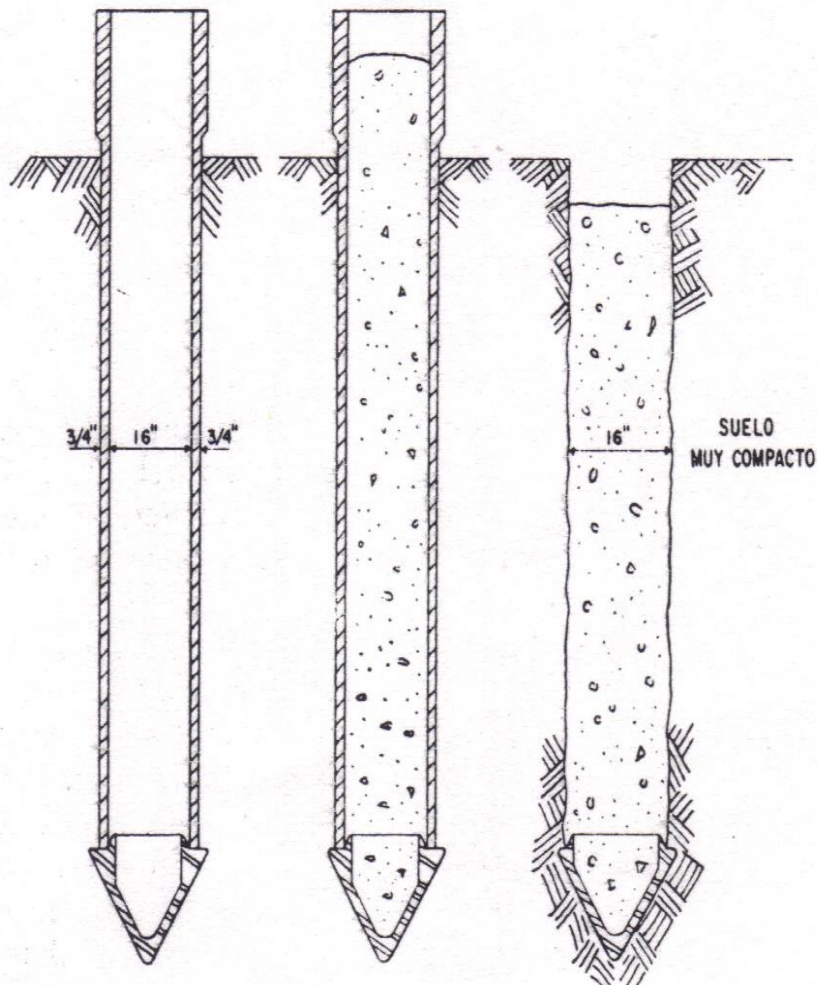


Fig. 3.17. Pilote simplex

### d) Pilotes vibro.

Los pilotes vibro se forman hincando en el terreno un tubo de acero a fuerza de golpes de un martinete de 2 a 2.5 toneladas, 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 una jaula de acero de refuerzo y se rellena el tubo con concreto hasta el nivel requerido. 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 de la excavación. 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 obligándolo a entrar en contacto con el suelo. Los golpes de extracción son de gran rapidez para mantener el concreto en movimiento, impidiendo que se eleve con el tubo y arrastre consigo el acero de refuerzo. En la figura 3.18 se muestra las fases de formación del pilote.

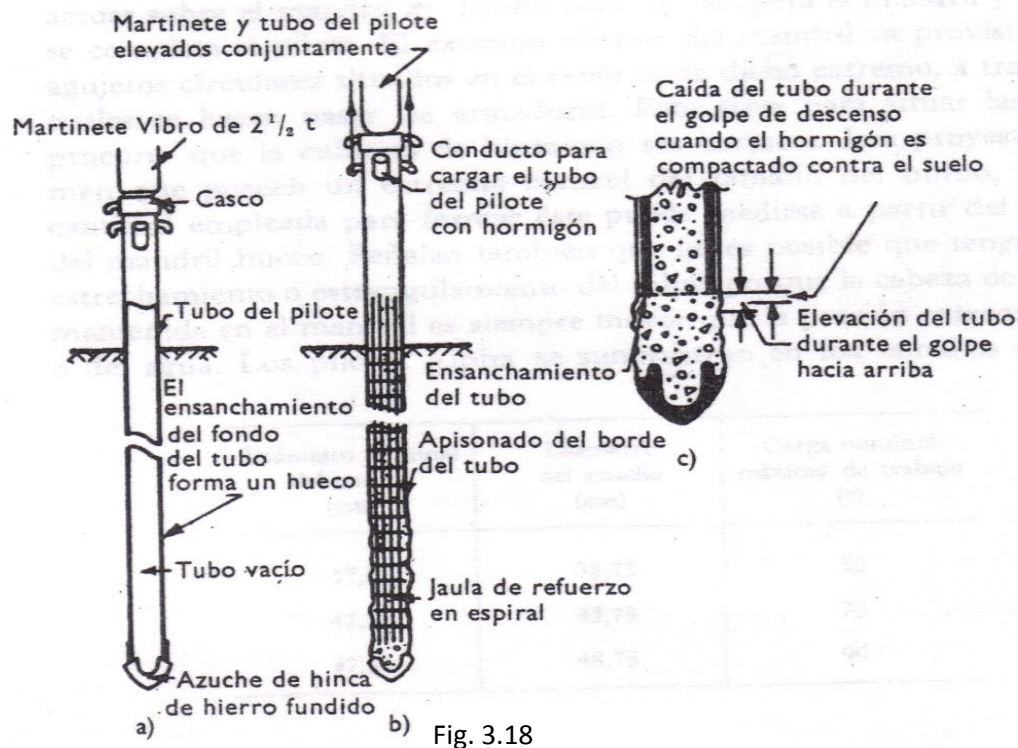


Fig. 3.18

#### FASES EN LA FORMACIÓN DE UN PILOTE VIBRO

a) hincado del tubo del pilote; b) hormigonado del cuerpo del pilote; c) apisonado del hormigón con el tubo del pilote.

## CIMENTACIÓN A BASE DE PILOTES DE FRICCIÓN

---

Los pilotes vibro se fabrican en dos tamaños. El de cuerpo de 32.5 cm de diámetro nominal es adecuado para cargas de trabajo superiores a 40 toneladas por pilote y el de 42.5 cm de diámetro que se suelen utilizar para cargas superiores a 60 toneladas por pilote, dependiendo de las condiciones del suelo. Si se desea una resistencia mas elevada que la que da el cuerpo de diámetro nominal, se puede proveer a los pilotes con azuches de tamaño extra cuyo diámetro excede los 60 cm. Los tubos de los pilotes estándar suelen tener una longitud de 25.5 metros, a un que pueden alcanzarse mayores profundidades de penetración empalmando varios tubos.

## PILOTES CON ADEME PERMANENTE

A continuación se describen brevemente algunos tipos de pilotes colados en el lugar que requieren ademe permanente. El ademe permanente es generalmente de lamina delgada corrugada y va colocado dentro del ademe de hinca, mas pesado, que posteriormente se remueve.

### a) Pilotes Button – Bottom.

Se utiliza cuando se desea un incremento en el área de apoyo del pilote como se muestra en la figura 3.19. Se han llevado a profundidades de 30 m con facilidad, soportando cargas del orden de 50 ton o algo mayores.

Primeramente se procede al hincado del ademe exterior hasta la profundidad deseada, llevando en su extremo inferior una zapata independiente de concreto precolado que queda en el interior del suelo perdiéndose en cada pilote, se introduce el ademe corrugado hasta su fondo, fijándose a la zapata con un dispositivo especial que atornilla ambas partes. Procediéndose a rellenar de concreto el ademe y por ultimo se extrae el tubo de hinca.

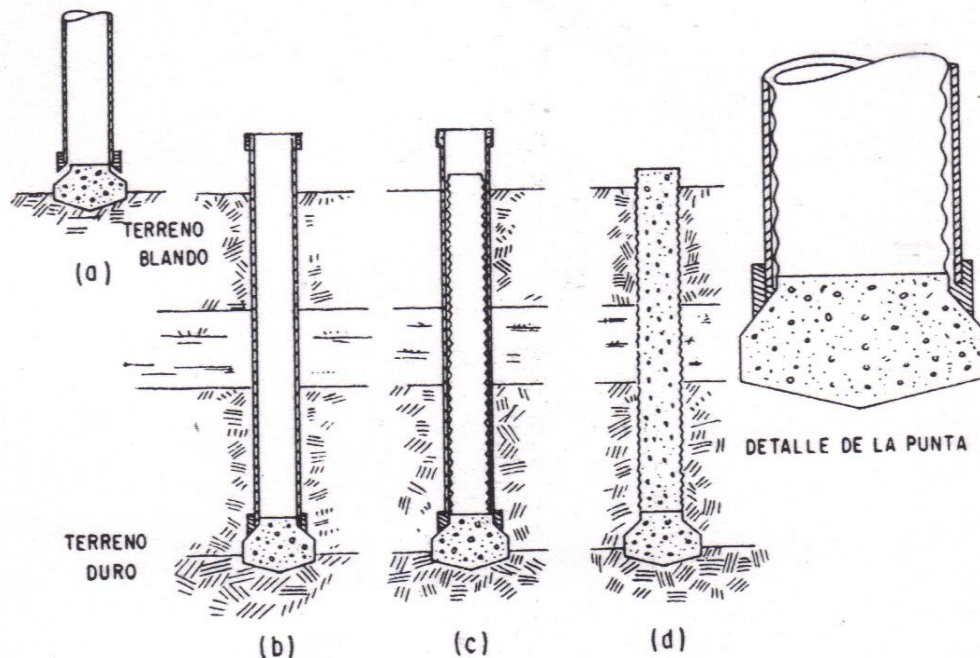


Fig. 3.19. Pilotes Button-Bottom

### b) Pilotes Raymond con ademe metálico delgado hincados con mandril.

Estos pilotes pueden usarse tanto para trabajar por punta como por fricción y en cualquier clase de suelo en donde sea necesario el uso de pilotes.

El ademe corrugado es hincado por medio de una pieza, denominada mandril, que penetra en su inferior, adoptando su forma y se extrae una vez alcanzada la profundidad deseada, posteriormente se hace una revisión del ademe para ver si se encuentra en condición adecuada para proceder al colado del concreto que puede ser simple o reforzado como se muestra en la figura 3.20.

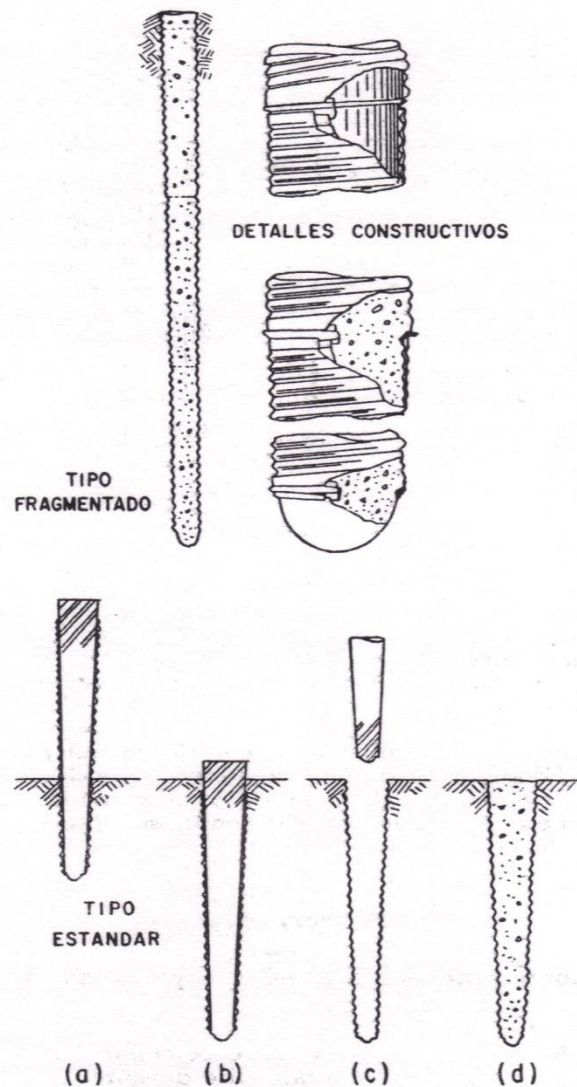


Fig.3.20. Pilotes Raymond



### **PILOTES HINCADOS A PRESION**

#### **a) Pilotes Miga**

Estos pilotes son hincados a presión en pequeños tramos de unos 50 cm de longitud. Son muy útiles para trabajos de recimentacion en que se disponga de poco espacio de maniobra. Las secciones, generalmente cuadradas o circulares, tienen un hueco en el centro de unos 8 cm de diámetro; este hueco sirve tanto para verificar la construcción del pilote, como para armarlo al fin del hincado.

El método de construcción consiste en hacer una pequeña excavación en cuyo fondo se coloca la primera sección del pilote con punta metálica, que se presiona con un gato para lograr su hincado; en trabajos de recimentacion, la reacción del gato la da la estructura existente. Hincada la primera sección, se le une una segunda , por medio de un collar de acero, repitiéndose esta operación el numero de veces que sea necesario.

#### **b) Pilotes Franki**

El pilote Franki tiene la ventaja de poseer una base amplia, de modo que se transmiten esfuerzos menores, a misma carga, lo que es conveniente si el estrato resistente no es de mucho espesor. En la figura 3.21 se muestran las distintas fases en la elaboración de un pilote Franki.

a.- Primeramente se hinca una pequeña longitud del tubo del pilote, a continuación, se coloca un tapón de concreto en el fondo del tubo y se compacta con un martillo de caída libre, haciéndolo penetrar en el suelo, seguido del tubo.

b.- Una vez que se a alcanzado un nivel un poco por encima del de desplante, se fija el tubo por medio de cables y, por medio del martillo , se fuerza al tapón de concreto hacia abajo y hacia fuera del tubo, colocando mas concreto , siempre golpeando con el martillo; así se forma la base ampliada del pilote.

c.- Se introduce entonces el acero de refuerzo en el interior del tubo, se va vaciando concreto en el tubo, golpeándolo con el martillo, a la vez que se extrae lentamente el tubo.

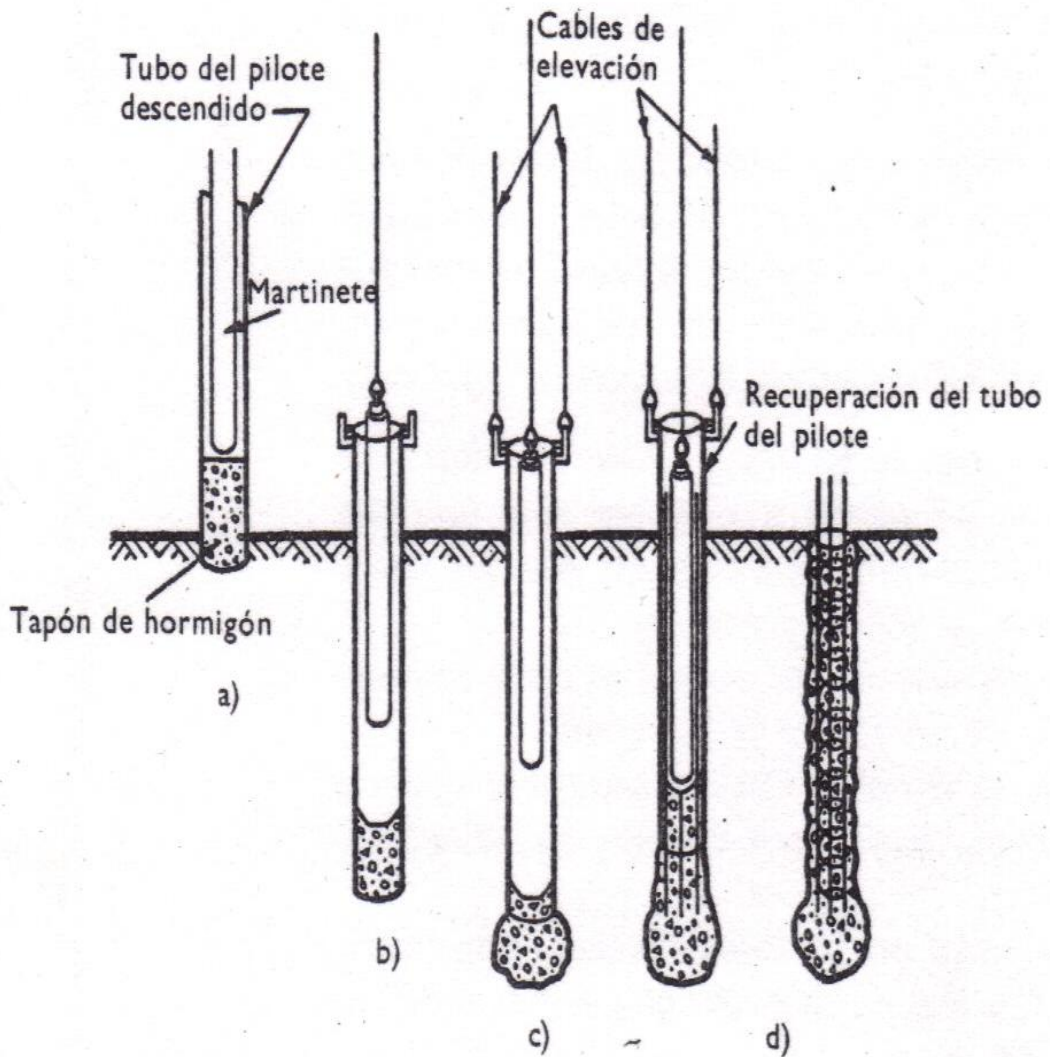


Fig. 3.21. Etapas en la elaboración de un pilote Franki

Las ventajas del pilote Franki son:

- I. el extremo ensanchado posee una resistencia mas elevada que el del pilote convencional de lados rectos.
- II. El hecho de formar la base ensanchada a base de golpes de martinete produce en los suelos arenosos una compactación que se extiende a varios diámetros por debajo del pilote y a su alrededor, aumentando asi la resistencia del extremo;
- III. Cuando se forma la base ensanchada en un suelo arcilloso , el agua expedida por el suelo es absorbida por el concreto seco de la base ensanchada, consolidándose la arcilla situada alrededor del mismo;
- IV. Al compactar el concreto contra el suelo cuando se esta formando el cuerpo, se compacta el suelo y aumenta la adhesión o rozamiento del fuste del pilote;
- V. El tapón de concreto seco es impermeable, por lo que el tubo de hinca se mantiene libre de agua o de lechadas.

### 3.4.-VENTAJAS, DESVENTAJAS Y DISEÑO ESTRUCTURAL.

#### Pilotes de madera

- Uso de los pilotes de madera

Los pilotes de madera son particularmente adecuados para trabajar como pilotes de fricción en arenas, limos y arcillas. No se recomienda hincar pilotes de madera a través de grava densa o hasta la roca ya que son vulnerables a daños en la cabeza y en la punta durante el hincado.

Comúnmente, los pilotes de madera se emplean para profundidades comprendidas entre 6 y 16 m, con diámetros de 20 a 40 cm, correspondientes a las dimensiones reales de los troncos de árbol disponibles. Tienen un peso relativamente ligero en comparación con su resistencia, se manejan fácilmente y su costo inicial es comparativamente bajo en sitios donde abunda la madera.

En México se emplean muy poco los pilotes de madera, usándose generalmente en cimentaciones de carácter temporal o que van a quedar permanentemente sumergidas.

- Diseño estructural

Los pilotes de madera generalmente se emplean para cargas axiales y laterales comparativamente bajas y cuando las condiciones de cimentación indiquen que no se dañaran con el hincado. Las cargas de diseño pueden variar entre 10 y 50 toneladas.

Los pilotes de madera deben estar bien atiesados arriba de su empotramiento en el terreno natural o arriba del agua, y las partes sumergidas diseñarse como columnas libres.

La siguiente ecuación para determinar los esfuerzos de fibra  $F$  en pilotes de madera de diámetro  $D$  y longitud  $L$ , actuando como columnas, así como también a flexión y compresión, se basa en un esfuerzo permisible de trabajo de  $70 \text{ kg/cm}^2$  para madera humedecida permanentemente.

$$F = 70 (1 - L/60D)$$

### **Pilotes de concreto precolados y pretensados**

- Uso de los pilotes de concreto precolados y pretensados

Debido a su alta resistencia estructural y a la gran variedad de tamaños posibles, los pilotes de concreto precolados y pretensados poseen una amplia gama de valores de capacidad de carga (figura 3.22). Entre sus ventajas pueden mencionarse las siguientes:

- Son adecuados para usarse como pilotes de fricción cuando se hincan en arena, grava o arcilla.
- Soportan grandes cargas cuando se emplean como pilotes de punta.
- Son adecuados para resistir fuerzas de tensión.
- Son adecuados para hincarse en suelos que contienen boleos.
- Se han usado en longitudes hasta de 20 m si son pilotes precolados sin empalmes, hasta de 40m si son preforzados y sin empalmes, y hasta profundidades ilimitadas cuando cuentan con dispositivos de empalmes.
- Son inmunes al ataque de insectos barrenadores marinos y de termitas.
- Son resistentes al fuego cuando sobresalen del terreno natural.



Fig.3.22. Pilotes de concreto precolados y pretensados

## CIMENTACIÓN A BASE DE PILOTES DE FRICCIÓN

---

Entre las desventajas de los pilotes precolados se tiene la necesidad de grandes superficies de colado para su fabricación figura 3.23, y un cierto tiempo de curado durante el almacenaje figura 3.24, así como de equipo pesado para su manejo e hincado.

Además , ya que es difícil prefijar la longitud requerida, se incurre en costos adicionales para cortar los pilotes demasiado largos o para completar aquellos que resulten muy cortos figura 3.25, a menos que estén pretensados, son vulnerables al manejo, pero por otro lado los pilotes pretensados son difíciles de empalmar.



Fig. 3.23. Colado de pilotes



Fig. 3.24. Almacenaje de pilotes.



Fig.3.25. Corte de exceso de longitud en pilotes.

- Diseño estructural

Los pilotes se deben reforzar con acero para resistir los momentos flexionantes debidos al manejo, a esfuerzos combinados axiales y de flexión inducidos por el hincado y por las cargas estáticas y a los esfuerzos de tensión ocasionados por el izado.

De tenerse entre 1 y 4 % de acero, usando varillas del numero 5 como mínimo coladas longitudinalmente y alejadas de la cara cuando menos 40mm mas el grueso de los estribos. Los estribos deben ser del número 2 como mínimo y separados no más de 16 diámetros de varilla, 48 diámetros del estribo, o el lado o diámetro del pilote.

Los detalles típicos de pilotes de concreto precolados se muestran en la figura 3.26.

## CIMENTACIÓN A BASE DE PILOTES DE FRICCIÓN

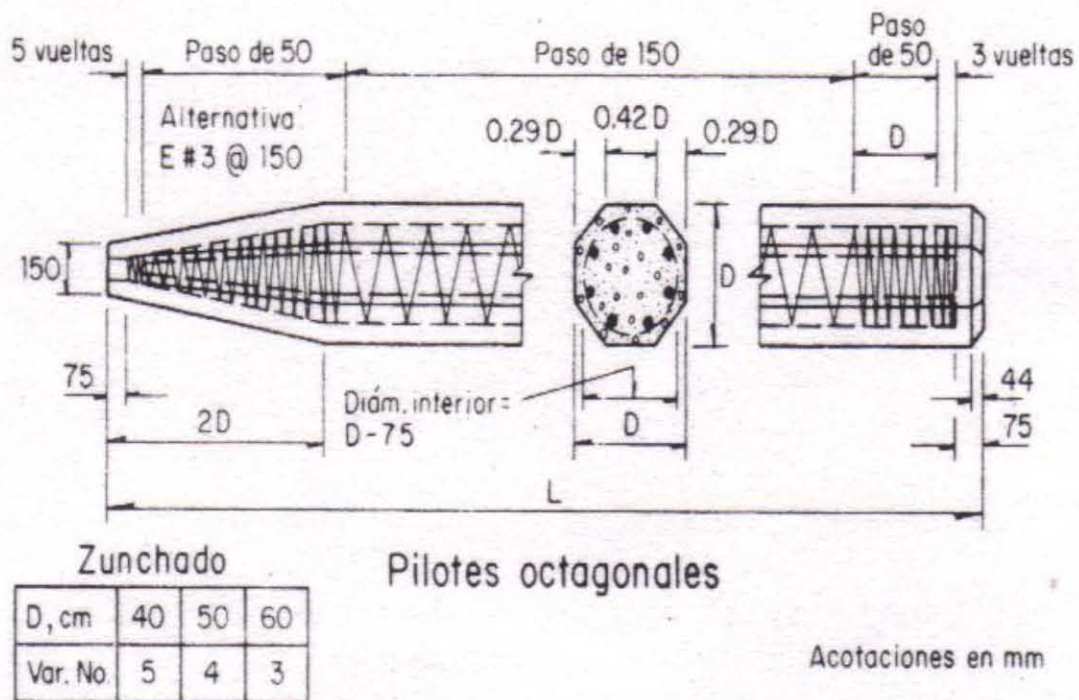
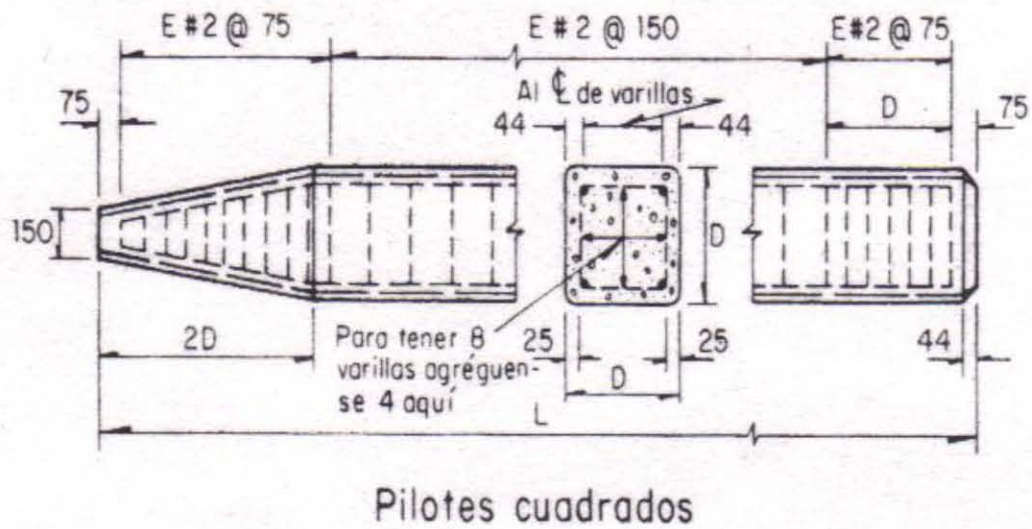


Fig.3.26. Detalles típicos de pilotes de concreto precolados



### **Pilotes de acero de sección H**

- Uso de los pilotes de acero de sección H

Se recomienda que el perfil estructural de los pilotes de acero de sección H se ajuste a los siguientes requisitos dimensionales.

- La proyección del patín no debe exceder de 14 veces el espesor mínimo del metal, ya sea en el patín o en el alma y el ancho del patín no debe ser menor que el 80% del peralte del perfil.
- El peralte nominal en la dirección del alma no debe ser menor de 20cm.
- Los patines y el alma deben tener un espesor mínimo nominal no menor de 1 cm.

Entre las ventajas de los pilotes H se tienen las siguientes:

- Son adecuados para usarse como pilotes de fricción, pilotes de punta y combinaciones por fricción y punta, ya que generalmente desplazan un mínimo de volumen de suelo se pueden hincar más fácilmente a través de depósitos granulares densos y de arcilla muy duras.
- Son adecuados para hincarse en suelos que contengan obstrucciones tales como boleos, siempre que su punta se proteja debidamente.
- Se emplean generalmente para cualquier profundidad, ya que se empalman con relativa facilidad.
- Tiene una alta capacidad de carga tanto axialmente como por flexión.
- Pueden soportar manejo brusco, aunque los pilotes largos se deben proteger contra flexiones excesivas.

Como desventaja se tiene su vulnerabilidad a la corrosión cuando los pilotes están expuestos y el riesgo de daños o deflexiones cuando se atraviesan obstrucciones grandes.

- Diseño estructural

La longitud sin soporte de pilotes H se debe diseñar con las formulas para columnas de perfiles de acero. Debido a la alta resistencia del acero, generalmente no se consideran las condiciones de manejo en el diseño de pilotes H.

### **Pilotes de tubo de acero**

- Uso de pilotes de tubo de acero.

Los pilotes de tubo de acero se pueden hincar la punta abierta o cerrada. Se pueden dejar huecos o llenarlos con concreto y usarse como pilotes de fricción, de punta o empotrados en roca.

Los pilotes a base de tubo con punta cerrada se forman adaptándoles una zapata de hincado para obturar el extremos inferior del pilote. Se emplean generalmente cuando los pilotes se pueden apoyar en roca o en un estrato resistente que soporte grandes cargas concentradas. Son adecuados para trabajos de recimentación donde el espacio para maniobras es limitado ya que se pueden ir formando a base de tramos cortos, el tubo se llena generalmente de concreto después de hincado en cuyo caso ambos materiales soportan la carga en combinación.

Los pilotes de tubo con puntas abiertas se usan igual que los de extremos cerrado, salvo que pueden alcanzarse profundidades grandes, debido al área relativamente pequeña de su sección transversal, el hincado de los pilotes de tubo abierto causa menor desplazamiento del suelo, menor compactación. Los pilotes de tubo abierto también se usan como pilotes de fricción. El tubo se puede hincar en tramos cortos si el espacio es reducido. Si se extrae el suelo del interior del pilote, se puede llenar de concreto.

Entre otras ventajas de los pilotes de tubo de acero se tienen las siguientes:

- Se pueden tener longitudes variables, hasta de 55 m, ya que los empalmes se hacen fácilmente.
- Los diámetros pueden alcanzar hasta 60 cm o casi 120cm para plataformas marinas.

- **Diseño estructural**

Para el diseño estructural de pilotes de tubo de acero se deben seguir las normas relativas a este tipo de materiales. Cuando se rellenen con concreto, este debe tener un revenimiento mínimo de 13 cm y se debe colocar a través de un embudo corto para que el concreto caiga hacia el centro del pilote permitiendo así la expulsión del aire y eliminando la posibilidad de que se formen vacíos. Se ha encontrado que el concreto en condiciones confinadas desarrolla una mayor resistencia a la compresión que si no estuviera confinado. Aunque este hecho no se toma en cuenta en el diseño.

Debido a las propiedades del acero no es necesario considerar las condiciones de manejo en el diseño- en los pilotes de tubo de acero se pueden alcanzar capacidades de carga hasta de 200 toneladas.

### **Pilotes y pilas colados en el lugar**

- **Uso de pilotes y pila colados en el lugar**

Los pilotes colados in situ pueden tener diferentes formas y dimensiones. Cuando presentan un diámetro de más de 60 cm, se conocen como pilas cilíndricas. Este tipo de cimentación se fabrica haciendo una perforación en el suelo y llenándola con concreto. Puede o no construirse con ademe. El ademe o cimbra ahogada esta formado, ya sea por un tubo metálico lo suficientemente pesado como para poder hincarse sin mandril, o por un tubo metálico ligero hincado con un mandril que se extrae después del hincado como se muestra en la figura 3.27.

Ambos tipos se pueden reforzar con varilla si es necesario. Su uso se ha generalizado debido a su alta capacidad de carga figura 3.28.

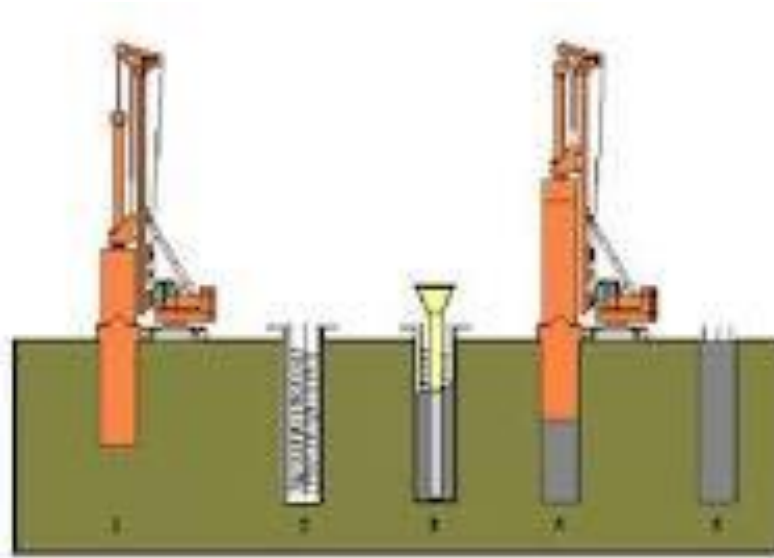


Fig.3.27. Pilas coladas en el lugar.



Fig. 3.28. Pila terminada

## CIMENTACIÓN A BASE DE PILOTES DE FRICCIÓN

---

Las ventajas de los pilotes colados en el lugar son las siguientes:

- Resultan adecuados como pilotes de alta capacidad por punta apoyados en roca y se han usado con éxito en arcillas duras.
- Se pueden usar con longitudes variables, en diámetros hasta de 2.5 m y para cargas hasta de 2000 toneladas.
- Se requiere poco espacio de almacenamiento y no hace falta equipo especial de manejo; se eliminan los daños por manejo.
- No se necesita recortar ni prolongar el pilote para alcanzar la longitud necesaria.
- Diseño estructural

Para analizar estructuralmente la pila bajo carga axial o lateral se deben seguir las recomendaciones para pilotes.

El colado del concreto debe tener un revenimiento de 18 cm. El proporcionamiento del concreto lo deberá efectuar personal capacitado.

Se recomienda que las resistencias del concreto este limitada a 350 kg/cm<sup>2</sup>, dependiendo de las circunstancias en las que se realice la instalación, puede ser aconsejable despreciar los 2.5 cm exteriores del concreto en pilotes sin ademe, cuando se calcula el área de la sección transversal que contribuye a la capacidad.

Si los pilotes se excavan con lodo bentonitico, se deberá determinar la calidad del fluido (densidad, viscosidad, etc.) y controlarla constantemente para asegurarse de su correcto comportamiento.

El porcentaje de acero de refuerzo y la longitud del tramo que debe reforzarse se determinan con base a las condiciones de carga.

Si se proyecta introducir acero de refuerzo en pilas construidas con ademe, aquel debe llevarse hasta el fondo de la excavación.

El refuerzo se diseñara 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 colocar el concreto.

## CIMENTACIÓN A BASE DE PILOTES DE FRICCIÓN

El acero de refuerzo tiene por supuesto que satisfacer las especificaciones bajo las que se construye la obra referente a calidad y limpieza.

Un detalle crítico 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 colado. El recubrimiento mínimo podrá ser de 4 cm, excepto en pilotes expuestos al agua de mar u otros ambientes muy agresivos, donde será de 7.5 cm como mínimo.

En las ampliaciones de base de pilas en forma de campana como se muestra en la figura 3.29, los costados tendrán una inclinación no mayor a  $30^\circ$  con respecto a la vertical. 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 fuste de la pila.

El diámetro de la cabeza debe ser por lo menos 15 cm mayor que el diámetro del fuste. La altura de la cabeza debe ser suficiente para alojar el desarrollo del refuerzo vertical procedente del fuste, y los pernos de anclaje de la columna.

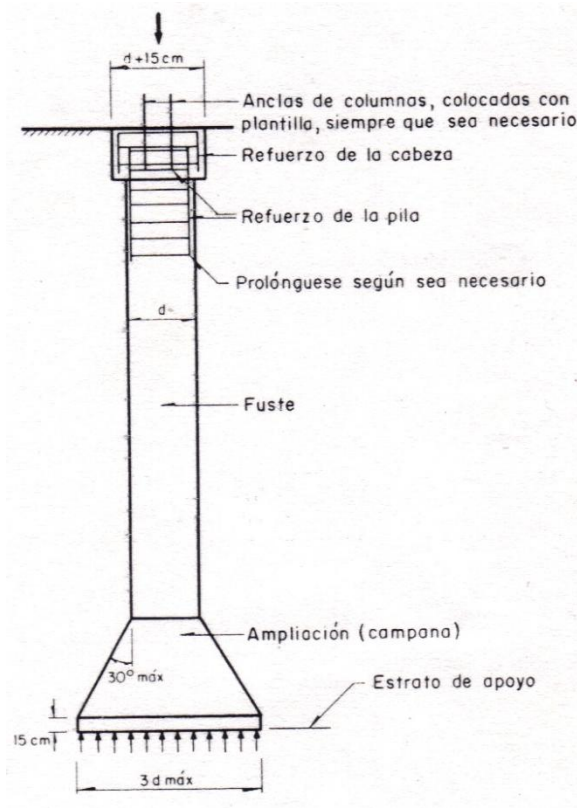


Fig. 3.29. Configuración de una pila.

**CAPITULO IV**  
**“FRICCIÓN NEGATIVA”**

## CAPITULO IV FRICCIÓN NEGATIVA

### 4.1.- FRICCIÓN NEGATIVA EN PILOTES DE PUNTA.

Existe un problema muy común en las cimentaciones piloteadas con pilotes, cuando se presenta una estratigrafía básicamente formada por un cierto espesor compresible, subyacente por el estrato resistente de apoyo y cuando dicho manto compresible tiende a disminuir de espesor por algún proceso de consolidación inducido.

Este es el caso de estribos de puentes en los que el estrato compresible disminuye de espesor y se consolida por el peso de los terraplenes de acceso; también es el caso de algunos valles en los que el bombeo para fines agrícolas induce la consolidación; el caso ya famoso de la Ciudad de México es típico, pues en ella existe un estrato de apoyo a profundidades del orden de los 30 metros arriba del cual las formaciones arcillosas, muy compresibles, se consolidan por efecto del intenso bombeo que se realiza en los estratos acuíferos para obtención de agua potable para fines de consumo.

Los pilotes de punta, apoyados en un estrato no consolidable y resistente permanecen comparativamente fijos, respecto a los suelos blandos que se enjuntan, tendiendo a bajar a lo largo de su fuste. Esta tendencia induce esfuerzos de fricción en el fuste de los pilotes que por ser en sentido descendente, sobrecargan a estos al colgarse materialmente el suelo circunvecino de los pilotes. Si estas cargas no han sido tomadas en cuenta en el diseño, puede llegar a producir el colapso del pilote por penetración en el estrato resistente. Este es el fenómeno de fricción negativa en los pilotes de punta. En el mejor de los casos, es decir, cuando los pilotes aguantan la sobrecarga, la estructura apoyada sobre los pilotes parece emerger sobre la superficie del terreno, con lo que fácilmente producirá daños a estructuras vecinas como se presenta en la figura 4.1.



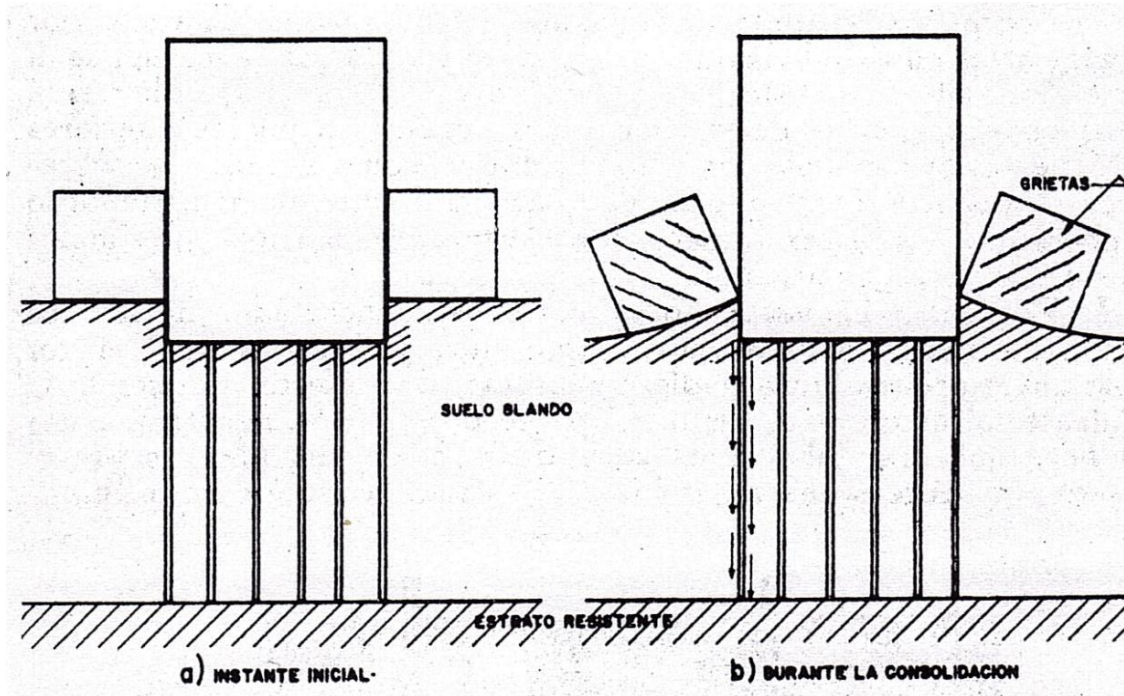


Fig.4.1. Inducción de la fricción negativa a lo largo del fuste de pilotes de punta por consolidación de los estratos blandos.

Aun en el caso en que la fricción negativa no induzca falla y sea resistida, fácil es comprender que su efecto es maléfico, pues ocupa una buena parte de la capacidad de carga del pilote, que esta soportando el suelo circunvecino y no carga útil.

Es fácil ver que en una estructura piloteada con pilotes de punta, en la que se tenga el efecto de fricción negativa, un pilote de una zona interior de la cimentación podrá ser sobrecargado con un peso que sea, como máximo, igual al del volumen de arcilla tributario a dicho pilote. En un pilote de borde, sin embargo, la sobrecarga podrá ser mayor, por razones obvias y este efecto puede acentuarse mas en un pilote de esquina, teniendo como limite únicamente el valor de la adherencia entresuelo y pilote a lo largo de todo el fuste del mismo. Por ello, si el estrato resistente es susceptible de alguna cedencia, el pilote de esquina será el que más asentamientos pueda presentar, seguidos de los de borde, quedando los mínimos hundimientos en las zonas interiores del área piloteada. Esto da lugar a una distribución de asentamientos opuesta a la que se

tendría en una cimentación por superficie, flexible, bajo carga uniforme. Si la cimentación tiene rigidez y los pilotes están sólidamente unidos a ella en su cabeza, el efecto diferencial de fricción negativa en las esquinas y bordes puede llegar a hacer que los pilotes en esas zonas trabajen a tensión en la parte superior.

El valor de la sobrecarga que por fricción negativa puede llegar a tener un pilote de punta tiene, como señal, como cota superior el valor del producto de la adherencia entresuelo y pilote multiplicada por el área lateral de este. En la práctica este valor de la adherencia suele tomarse igual al de la cohesión del suelo. En pilotes interiores el cálculo anterior suele ser conservador y, como se dijo, la sobrecarga no puede exceder el peso de la arcilla de un volumen tributario al pilote que puede ser valuado con cierta aproximación por simples consideraciones geométricas.

La fricción negativa puede ocurrir en los siguientes casos:

- a) Un pilote hincado a través de una arcilla blanda sensible llega a un estrato relativamente incompresible. El remoldeo de la arcilla durante el hincado puede ser suficiente para causar asentamiento. Las arcillas blandas marinas o de estuario pueden ser particularmente susceptibles a desarrollar fricción negativa.
- b) Un pilote hincado a través de una arcilla blanda llega a un estrato relativamente incompresible con sobrecarga en la superficie. Normalmente una arcilla blanda que subyace a una arcilla dura no tiene problemas. Sin embargo, la carga en la superficie producirá asentamiento que puede generar fricción negativa en el pilote. El drenaje de áreas pantanosas puede tener un efecto similar.
- c) Un pilote hincado a través de relleno recientemente colocado llega a un estrato compresible o relativamente incompresible. La fricción negativa resultará de la consolidación del relleno. En rellenos antiguos la fricción negativa disminuye o no existe.

### 4.2.- FRICCIÓN NEGATIVA EN PILOTES DE FRICCIÓN.

La fricción negativa se convierte en un problema de capacidad de carga solo en el caso de un pilote de punta, ya que la carga transmitida al pilote aumenta, a la vez que disminuye el confinamiento del estrato de soporte, reduciéndose su capacidad de carga. En los casos de los pilotes apoyados en suelos compresibles, donde la capacidad de carga esta gobernada por la resistencia por punta y por la fricción o adherencia lateral, el problema de fricción negativa se puede clasificar como un problema de asentamiento. Cabe señalar que algunos constructores intentan disminuir la fricción negativa aplicando recubrimientos bituminosos o de tipo viscoso a la superficie de los pilotes.

El método más común para calcular la fricción negativa  $\tau_n$ , consiste suponer que para suelos cohesivos.

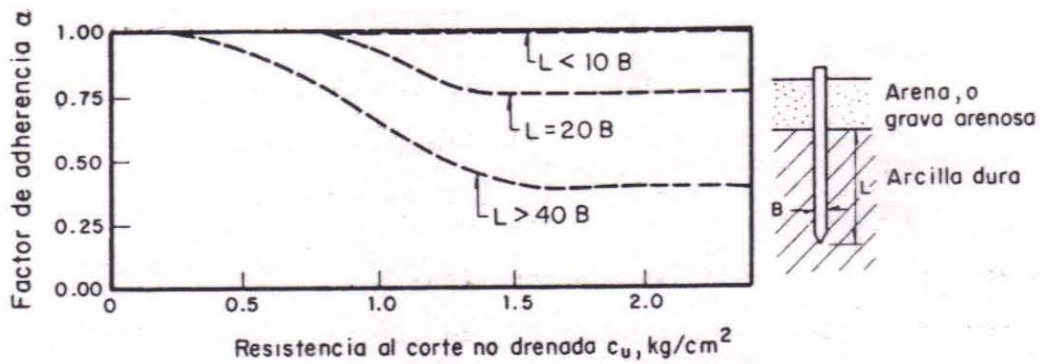
$$\tau_n = \alpha C_u$$

Donde:

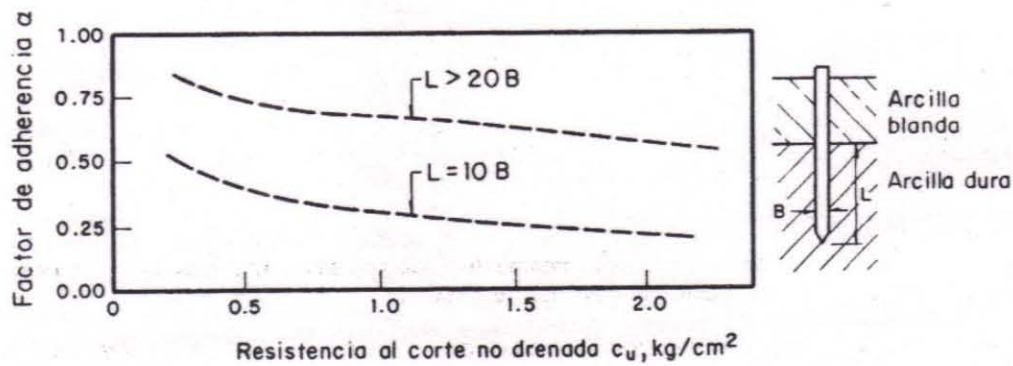
$\alpha$ = factor de adherencia dado en la figura 4.2.

$C_u$ = resistencia al corte no drenada

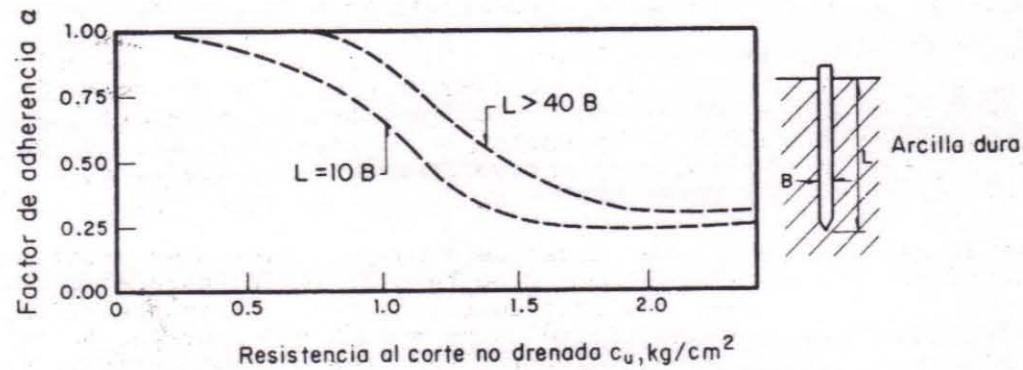
## CIMENTACIÓN A BASE DE PILOTES DE FRICCIÓN



a) Pilotes hincados a través de arenas o gravas arenosas hasta la arcilla dura



b) Pilotes hincados a través de arcilla blanda hasta la arcilla dura



c) Pilotes sin estratos arriba de la arcilla dura

**NOTAS :**

1. Las gráficas no son aplicables a secciones H o en cruz ni a pilotes colados in situ hincados o excavados
2. El factor de seguridad no deberá ser menor de 2.5 excepto para diseños basados en resultados confiables de pruebas de carga

Fig. 4.2. Factor de adherencia vs resistencia al corte para distintas condiciones de hincado de pilotes en arcilla dura.

## CIMENTACIÓN A BASE DE PILOTES DE FRICCIÓN

---

Algunas observaciones en pilotes instrumentados han demostrado que la magnitud de la fricción negativa puede expresarse como una función del esfuerzo efectivo.

$$\tau_n = P'_{o} K \tan \phi'$$

Donde:

$P'_{o}$  = presión efectiva por sobrecarga incluyendo el esfuerzo debido a la parte consolidada del relleno.

$K$  = coeficiente de empuje de tierras

$\phi'$  = ángulo de fricción efectivo de la arcilla.

Para fines prácticos, se puede suponer que:

$$\tau_n = 0.3 P'_{o}$$

Para el caso de suelos granulares la fricción negativa se puede expresar como:

$$\tau_n = \frac{1 - \sin^2 \phi}{1 + \sin^2 \phi} \tan \phi \sigma'_z$$

En la que  $\phi$  es el ángulo de fricción interna del material y  $\sigma'_z$  es el esfuerzo efectivo en el suelo a la profundidad  $z$ .

En pilotes aislados. Para un pilote aislado la fuerza total  $F_n$  debida a la fricción negativa será:

$$F_n = \tau_n A_s$$

Donde:

$A_s$  = es el área del pilote en contacto con la capa de arcilla en proceso de consolidación.

## CIMENTACIÓN A BASE DE PILOTES DE FRICCIÓN

En pilotes de fricción, la fricción negativa lleva a la aparición de dos zonas de fricción de signos opuestos como se muestra en la figura 4.3. El diseño debe entonces considerar que los pilotes penetran en el estrato compresible a la misma velocidad que el llamado nivel neutro que separa ambas zonas y en el que no existe desplazamiento relativo pilote – suelo. La posición del nivel neutro puede determinarse por aproximaciones sucesivas hasta lograr que se cumpla la ecuación siguiente:

$$Q_u + F_p = \Sigma Q + F_n$$

Donde:

$Q_u$ = capacidad de carga por punta sin factor de resistencia  $F_r$

$F_p$ = fuerza total debida a fricción positiva, afectada por  $F_r = 1$

$F_n$ = fuerza total debida a fricción negativa, afectada por  $F_r = 1$

$\Sigma Q$ = combinación de cargas permanentes sin factor de carga  $F_c$

Para evitar la emersión de la cimentación, en el diseño deberá verificarse que el nivel neutro sea suficientemente alto, sin que los asentamientos resulten excesivos.

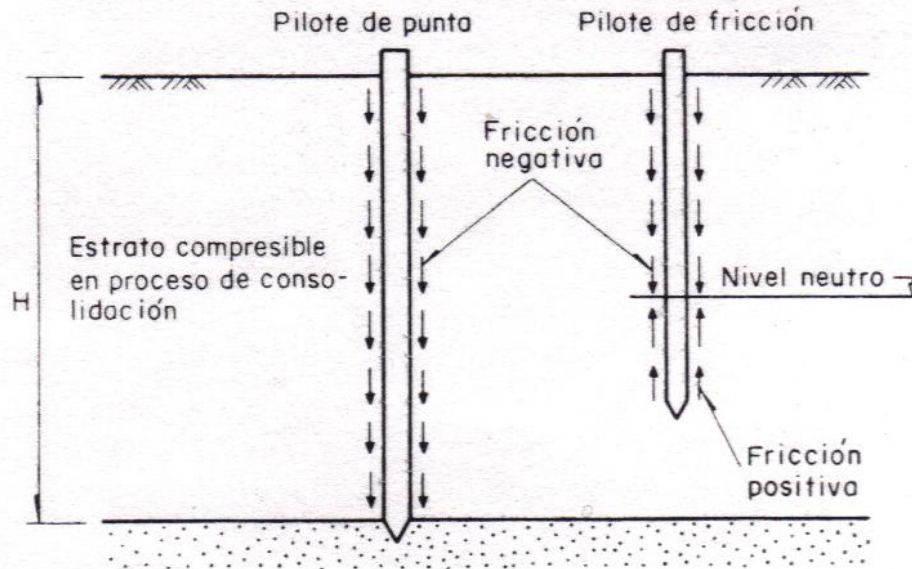


Fig.4.3. Fricción negativa.

### 4.3.- PILOTES DE CONTROL.

L. Zeevaert ha hecho notar una consecuencia adicional de los efectos de fricción negativa cuya importancia práctica es quizá mayor de lo que a primera vista pudiera pensarse. Este efecto consiste en lo siguiente: al colgarse el suelo del pilote por fricción negativa, parte del peso que gravita en la zona de la punta del pilote sobre el estrato resistente se ha aliviado; si el estrato resistente es de naturaleza friccionante, esta disminución de la presión efectiva conlleva una disminución de la resistencia al esfuerzo cortante y de la capacidad de carga y, por lo tanto, propicia la penetración del pilote en el estrato de apoyo.

Los efectos dañinos en las estructuras vecinas, la pérdida de capacidad útil por fricción negativa y los peligros que entraña la penetración diferencial de los pilotes en los estratos firmes, han hecho pensar en soluciones.

La primera solución se ilustra en la figura 4.4. Se trata simplemente de construir la cimentación de forma que los pilotes la atraviesen libremente, de modo que no allá ningún contacto o unión entre ambos elementos. La estructura se carga entonces directamente contra el suelo, el cual comenzara a ceder bajo su peso.

Esta cedencia hace que el suelo accione sobre los pilotes por un mecanismo de fricción negativa, con lo que estos toman por lo menos parcialmente la carga de la estructura, con la correspondiente disminución de las presiones efectivas en el suelo blando; así los pilotes originalmente separados de la cimentación llegan a trabajar con cargas importantes, haciendo además que los asentamientos de la estructura disminuyan grandemente.

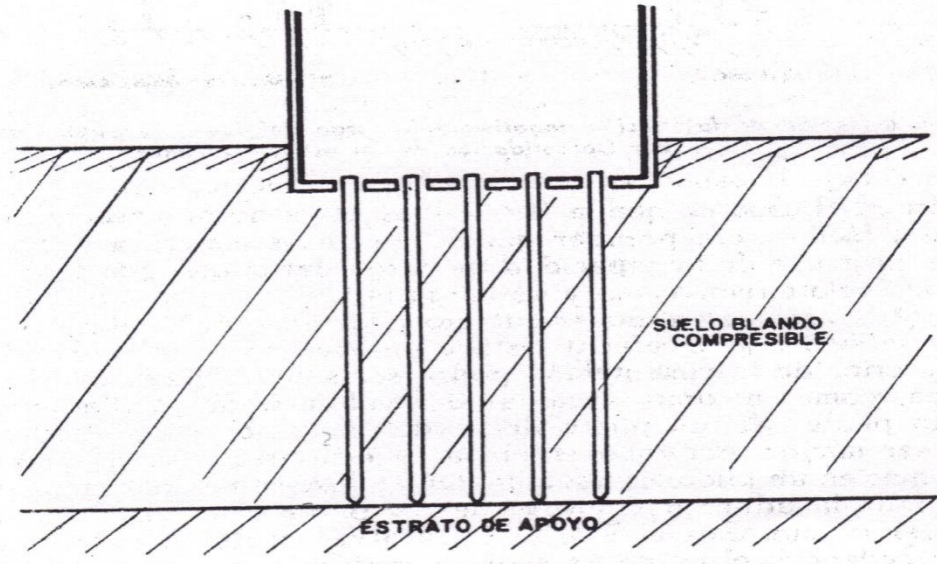


Fig. 4.4. Pilotes atravesando libremente la cimentación.

A un el modo de trabajar de la cimentación anterior puede comprenderse fácilmente, cualitativamente hablando, la cuantificación de las cargas que tome cada pilote o la predicción de los asentamientos diferenciales de la estructura son muy poco seguras, si no imposibles de efectuar. En algunas estructuras con este tipo de cimentación en la Ciudad de México se han observado, de hecho, un comportamiento bastante imprevisible, tanto en lo que se refiere a asentamientos diferenciales, como a penetraciones diferenciales en el estrato resistente.

La necesidad de controlar la carga en los pilotes y los asentamientos diferenciales y totales de la estructura llevaron al investigador M. Gonzales Flores a su difundida idea de los pilotes de control.

Estos son, en esencia, pilotes de punta del tipo que atraviesan libremente la cimentación, sobre cuya cabeza se coloca un puente unido a la losa de cimentación de la estructura; este puente consiste de una vigueta de acero anclada a la losa con tornillos largos de acero. La unión entre la cabeza del pilote y la vigueta del puente se establece con un dispositivo formado por superposiciones sucesivas de placas delgadas de acero y sistemas de cubos pequeños de una madera con características esfuerzo - deformaciones especiales. Como se muestra en la figura 4.5.



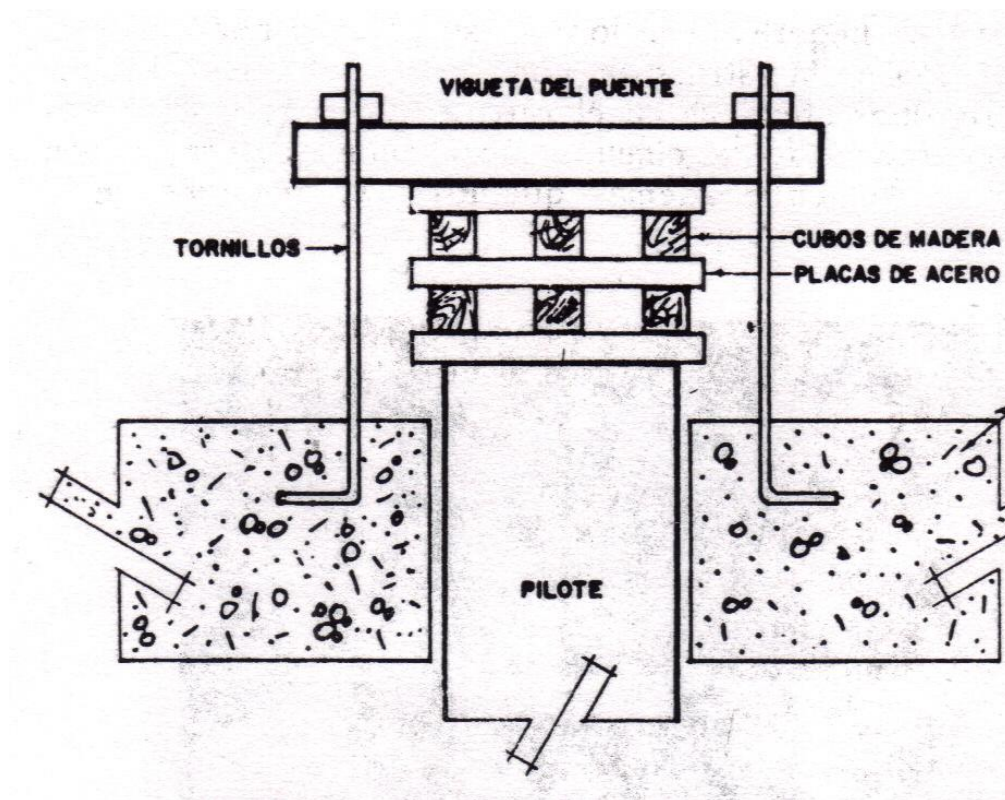


Fig.4.5. Esquema de la cabeza de un pilote de control.

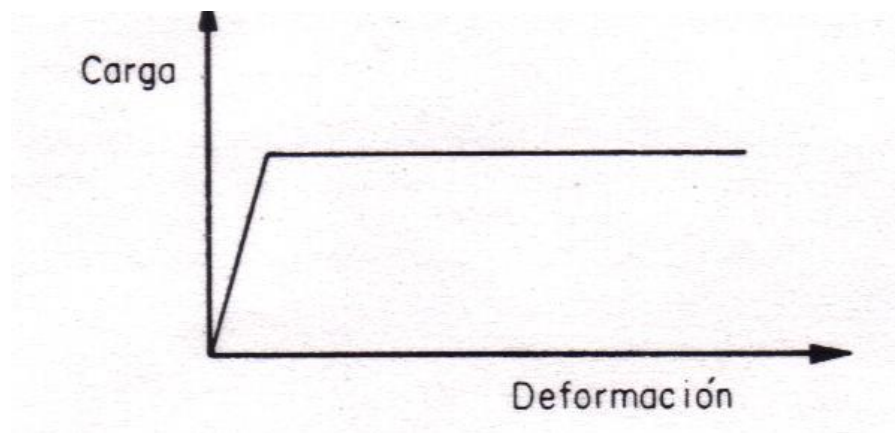


Fig.4.6. Grafica esfuerzo – deformación en compresión simple de un cubo de madera, utilizada en pilotes de control.

## CIMENTACIÓN A BASE DE PILOTES DE FRICCIÓN

---

El mecanismo tiene como finalidad hacer trabajar al pilote a la carga que se desee, claro esta, siempre inferior a la carga de falla. Cada cubo de madera tiene una grafica esfuerzo - -deformación con un rango plástico amplio figura 4.6. Cuando se alcanza su carga de falla plástica previamente determinada, puede garantizarse que el cubo esta transmitiendo una cierta carga fija a la cabeza del pilote, para un amplio rango de deformación en el cubo. Conocida la carga que se desea que tome el pilote, bastara dividir ese valor entre la carga de falla del cubo de madera para determinar el numero de cubos que han de colocarse por capa, entre dos placas de acero, como quiera que el sistema este sujeto a deformación, al cabo de un tiempo los cubos llegan al limite de deformación plástica, momento en que habrá que modificar la posición del puente y cambiar los cubos de madera. El lapso para estas operaciones puede ampliarse si se colocan varias capas de cubos de madera.

El objetivo general de los pilotes de control es lograr que la estructura baje simultáneamente con la superficie del suelo. La carga transmitida por la estructura es tomada por parte del suelo y parte por los pilotes. Si la estructura tiende a bajar mas aprisa de lo que la superficie del suelo, los pilotes se harán trabajar a mayor carga, aumentando el numero de cubos por capa, con lo que se alivia la parte de carga transmitida directamente al suelo y se frena el descenso relativo de la estructura; recíprocamente, si la estructura tiende a emerger respecto al terreno, los pilotes se harán trabajar a menor carga, disminuyendo el numero de cubos de madera por capa, de modo que la estructura transmita mas carga al suelo, con lo que su asentamiento se vera acelerado.

Si la estructura desciende de un modo uniforme, con asentamiento diferencial, las técnicas antes mencionadas podrán aplicarse a diferentes zonas del área de la cimentación, con lo que es posible igualar los asentamientos.

La aplicación de las técnicas exige, desde luego, un numero de pilotes adecuado en la cimentación; con pocos pilotes la estructura se hundirá irremediabilmente, ya que los pilotes no podrán sobrepasar su carga de falla; por otra parte, si el numero de pilotes es excesivo, puede llegar a suceder que la estructura emerja a un cuando en la cabeza de los pilotes no se aplique carga.

**CAPITULO V**  
**“PROTECCIÓN DE LOS PILOTES”**

## CAPITULO V

### 5.1.-PROTECCIÓN DE LOS PILOTES DE MADERA

En este capítulo se tratarán brevemente las causas más comunes que producen el deterioro de los pilotes y los procedimientos que más se han usado para la protección de los mismos. Primeramente se tratará el caso de los pilotes de madera para seguir con los de concreto y terminar con los pilotes de acero.

#### PILOTES DE MADERA

La calidad estructural de los pilotes de madera puede verse afectada por pudrimiento, este es uno de los graves problemas relacionado con el uso de pilotes de madera. El pudrimiento de la madera es causado por el desarrollo de hongos en las zonas expuestas a periodos de humedecimiento y secado alternativo, por ataque efectuado por insectos u organismos marinos, por abrasión mecánica y por acción del fuego.

Hongos: toda la decadencia en pilotes de madera es provocada por el crecimiento de hongos, una forma vegetal de vida que, obteniendo su alimentación de la madera, rompe la estructura celular. Los hongos deben tener humedad, aire, temperatura favorable, y alimento para poder subsistir. Al no proporcionar a los hongos cualesquiera de estos elementos, se puede evitar la decadencia. Por ejemplo si se puede mantener seca la madera, o si se puede mantener continuamente sumergida a bajas temperaturas, o si se envenena y se hace inadecuada como alimento, no se presentarán decadencias. La madera no tratada es útil únicamente si las condiciones no proporcionan o favorecen el desarrollo de los hongos.

La temperatura es otro factor que afecta el desarrollo de hongos, considerándose que temperaturas entre 20°C y 35°C son las óptimas para su crecimiento. El pudrimiento de la madera es prácticamente nulo si el pilote permanece siempre seco, siempre saturado o ha sido tratado químicamente para impedir el crecimiento de los hongos, sin embargo, los tratamientos usuales tienen la desventaja de proteger la madera únicamente superficialmente, por lo que la parte interior esta expuesta al pudrimiento una vez que se produce alguna discontinuidad en su protección superficial.

La regla practica mas segura es la de que el uso de la madera en pilotes debe restringirse a zonas bajo el nivel freático mínimo que se tenga en la zona piloteada.

La protección de los pilotes de madera se logra con dos métodos básicos, sujetos a multitud de variantes: o se envenena la madera con sustancias químicas que le hacen inapropiada a la vida animal o se protege mecánicamente, por ejemplo cubriéndola con metal o concreto.

A continuación se presenta un breve resumen de algunos de los resultados dados por Chellis, relativos a la protección física de los pilotes de madera.

1. Para tener una protección completa hay que tener en cuenta que:
  - a. Son esenciales un buen material y un acabado perfecto de la obra.
  - b. El descortezar es una protección solo temporal.
  - c. El desgaste puede remover o dañar los recubrimientos.
2. Blindaje metálico:
  - a. La superficie del pilote deberá hacerse tan lisa como sea posible.
  - b. Puede fijarse, previamente, al metal una membrana bituminosa mediante clavos.
  - c. El material de recubrimiento y los clavos deben resistir bien la corrosión. El cobre y zinc son muy caros.
  - d. Un claveteado con clavos de cobre de cabeza ancha bien realizada puede servir de defensa.

### 3. Envoltas de concreto

- a. Método presscrete. Se utiliza un molde metálico, se expulsa el agua y se vierte el concreto por aire comprimido, el molde se retira mas tarde.
- b. Método Johnson- western. Se construye, fuera del agua, un tubo de 1.50m de longitud proyectando mortero de cemento sobre una armadura adecuada que lleva un fieltro fijado a unos listones dispuesto a modo de encofrado, se hace descender y sobre este primer tubo se van colando otros a continuación, después se rellena de concreto el espacio entre tubo y pilote.

### 5.2.- PROTECCION DE LOS PILOTES DE CONCRETO.

La principal causa de alteración del concreto en las cimentaciones es el ataque de los sulfatos presentes en el suelo, en el agua del terreno, o en el agua de mar. Otros motivos causantes de la alteración son los restos de productos químicos, los ácidos orgánicos.

#### Ataque de los sulfatos

Los sulfatos en disolución reaccionan con el cemento portland y forman sulfato cálcico insoluble y sulfoaluminato cálcico. Tiene lugar, entonces, un aumento de volumen y esto, unido a la cristalización de los nuevos compuestos, provoca la expansión y desintegración del concreto en la superficie. La desintegración expone al ataque a zonas frescas y si hay alguna corriente de agua que lleve sulfatos disueltos hasta la zona afectada, la velocidad de desintegración puede ser muy rápida. Los sulfatos fácilmente solubles tales como el de magnesio, sodio y amonio, son más agresivos que el sulfato cálcico (yeso).

En el suelo o en el agua del terreno, cuanto mayor es la concentración de sulfato mas severo es el ataque. La desintegración es particularmente seria si la estructura de cimentación esta sometida a la presión del agua por un lado, como, por ejemplo, en el caso de un sótano con agua al exterior. Otros factores que incrementan la severidad del ataque son la porosidad del concreto, la presencia de grietas. El ataque no se producirá si en el terreno no hay agua, y para que continúe la desintegración debe producirse una reposición de sulfatos. Si el agua del terreno se mantiene absolutamente estática el ataque no llegara más allá de la capa superficial del concreto. Por lo tanto, existe un riesgo escaso de un ataque serio en estructuras enterradas en suelos arcillosos suponiendo que no hay ninguna corriente de agua como la que podría formarse a lo largo de una zanja de cimentación con escaso compactación del terreno.

### Ácidos orgánicos

El ataque por ácidos orgánicos puede tener lugar si su concentración es elevada, como, por ejemplo, en aguas pantanosas o en desperdicios orgánicos descargados en ríos o en el mar. Los ácidos orgánicos reaccionan con la cal del cemento formando unos compuestos insolubles, el riesgo de ataque es poco probable en concreto denso, e incluso en concreto poroso no es probable que penetren más de 1.25 cm. Por lo tanto, no es necesario tomar precauciones especiales en el concreto de los cimientos.

### Protección de los pilotes

#### Cementos resistentes a los sulfatos

Los cementos puzolánicos y los resistentes a los sulfatos son satisfactorios para concentraciones moderadas de sulfatos, pero los cementos supersulfatados o altamente aluminosos proporcionan prácticamente una inmunidad absoluta contra el ataque en las condiciones de mayor severidad que pueda darse en el terreno o en el agua de mar.

El cemento altamente aluminoso tiene el inconveniente de que la resistencia a compresión del concreto puede descender a la mitad si la temperatura se eleva por encima de los 80 °F o 27°C. Esta caída de resistencia es irreversible y puede ocurrir en cualquier época sin importar el que la elevación de temperatura tenga lugar durante el fraguado, endurecimiento, o en cualquier otro periodo de la vida de la estructura. Este inconveniente puede evitarse en climas fríos o templados, el cemento altamente aluminoso no es recomendable para climas tropicales

El cemento supersulfatado es adecuado para climas tropicales.



### 5.3.- PROTECCION DE LOS PILOTES DE ACERO

El principal enemigo de los pilotes de acero es la corrosión. Las principales medidas para evitarla son aumentar la sección, pintar los pilotes con pinturas especiales o utilizar recubrimientos, sobre todo de concreto.

Tanto el aire como el agua son indispensables para que se produzca la corrosión. La pérdida general de acero estructural al desnudo en climas secos e incontaminados es prácticamente nula, pero puede llegar a ser casi de un número por año en condiciones húmedas y salinas.

La cuestión de la durabilidad de un pilote metálico no revestido es frecuentemente motivo de discusión e aquí algunos comentarios sobre este asunto:

- A. Los pilotes metálicos completamente embebidos en arcilla densa probablemente serán duraderos. La oxidación requiere la presencia prolongada de una fuente de oxígeno. Cuando el suelo es impermeable, el agua no circulara a través del mismo en una zona apreciable. Tan pronto como se consuma el oxígeno del agua que existe la corrosión quedara detenida.
- B. En suelos porosos, el agua subterránea puede desplazarse lentamente de manera que la fuente oxígeno se va renovando. Entonces se produce la corrosión.
- C. Los suelos y el agua corriente que contienen ácidos u otras sustancias químicas agresivas pueden ocasionar una corrosión importante. Se utilizan revestimientos de productos bituminosos o plásticos siempre que sea posible su ampliación y después no sean lesionados.
- D. Lo probable es que el agua del mar resulte muy agresiva. Casi es imposible predecir con exactitud cuanto durara la vida de servicio de los pilotes y tablestacas metálicas expuestos al aguade mar.
- E. El agua dulce y el aire pueden dar lugar a una oxidación moderada.
- F. Las arenas arrastradas por el agua o impulsadas por el viento pueden lesionar el acero expuesto próximo a la tierra, produciendo efectos parecidos a los de un chorro de arena.

El recubrimiento con concreto es beneficioso cuando el concreto es denso, de buena calidad y va convenientemente armado para que no pueda romperse. Cuando los pilotes han de ir recubiertos de concreto, deben limpiarse cuidadosamente para conseguir una buena adherencia con el acero. Sin embargo, cuando las partes expuestas de los pilotes ya están oxidadas se requieren recubrir con un mastique bituminoso para conseguir su conservación, se recomienda que no se quite la capa de oxido para limpiar el metal, pues esto provoca una nueva corrosión. Solamente deben quitarse mediante un cepillo de alambre o cualquier utensilio parecido; después se extiende o se lanza en forma de polvo la capa protectora del producto bituminoso.

En general, los pilotes metálicos ocupan un lugar muy importante en las obras de ingeniería. Cuando es necesario utilizar pilotes de gran longitud que trabajan por punta y sean resistentes, quizá sea este tipo el más adecuado que pueda encontrarse.

La contaminación es un factor importante en la corrosión atmosférica cuya velocidad es notablemente acelerada por la presencia de polvo, ácidos y cloruro de sodio. La velocidad de corrosión en los suelos es función de su conductividad eléctrica.

La relación de corrosión de los pilotes de acero en el terreno, varía considerablemente con la textura y composición del suelo, profundidad de empotramiento, y contenido de humedad. En suelos de textura gruesa, debido a la circulación del aire, la corrosión puede acercarse a la condición similar a la que ocurre en la atmosfera. En arcilla, la diferencia de oxígeno resulta en condiciones que se asemeja a aquellas de la corrosión sumergida.

**CAPITULO VI**  
**“CONCLUSIONES. “**

### CONCLUSIONES

Con este trabajo he concluido que cuando los estratos del subsuelo no son lo suficientemente resistentes para soportar las cargas que serán aplicadas por la superestructura, como en el caso de las cimentaciones superficiales.

Es necesario buscar estratos más profundos que tengan la capacidad de soportar las cargas adicionales que se aplicaran al subsuelo, lo que nos lleva a la elaboración de cimentaciones profundas.

En este tipo de cimentación los pilotes de fricción son una buena opción ya que transmiten las cargas al suelo principalmente a lo largo de su superficie lateral y de esta manera no será necesario encontrar el manto rocoso para que la carga sea transmitida a este, como en el caso de los pilotes de punta. Los pilotes de fricción en suelos blandos, se usan comúnmente como complemento de un sistema de cimentación parcialmente compensada para reducir asentamientos, transfiriendo parte de la carga a los estratos más profundos.

Además de que en la cimentación con pilotes de fricción se cuenta con una gran variedad de materiales con los cuales pueden ser elaborados, de acuerdo a las necesidades del proyecto estos pueden ser de madera, acero, y concreto. Una vez seleccionado el material de fabricación se tiene que tener cuidado con el proceso constructivo que se va a utilizar ya que este es fundamental para una buena elaboración de la cimentación.

### BIBLIOGRAFIA.

Mecánica de Suelos II: Teoría y aplicaciones/ Eulalio Juárez Badillo

2ª. Ed. México: Limusa, 2007

704 paginas.

Cimentaciones de Estructuras/ Dunham Clarence W.

Traducido y adaptación por Gregorio Escribana Tejedor

2ª. Ed. New York: McGraw- Hill, 1986

774 paginas.

Cimentaciones Profundas/ Chellis, Robert D.

México: Diana, 1971

786 paginas.

Principios de Ingeniería de Cimentaciones/ Braja M. Das;

Traducción, José de la Cera Alonso, Raúl Arrijo Juárez

5ª.Ed. México: Thomson, c 2006

743 paginas.

Ingeniería de Cimentaciones/ Manuel Delgado Vargas

2ª.Ed. México, D,F: Alfaomega; c 1999

531 paginas.

Manual de Cimentaciones Profundas/ Roberto Aguilar Cajiga y otros

México: Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, c 2001

376 paginas.

## CIMENTACIÓN A BASE DE PILOTES DE FRICCIÓN

---

Manual de Diseño y Construcción de Pilas y Pilotes

México, D.F.; Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, 1983

223 paginas.

Diseño y Construcción de Cimientos/ Tomlinson, M, J.

Traducción, José Luis Nieto Martínez

Bilbao: Urmo, 1971

825 paginas.

Pilotes y Cimentación sobre Pilotes/ Dividían, Zaven

Barcelona: Técnicos Asociados, 1972

188 paginas.







